

# SIMULACE VLIVU INTERFERENCE SIGNÁLŮ GPS PŘIJÍMAČŮ

Husain Yousif

Ústav radioelektroniky, FEKT VUT v Brně

## Abstrakt

Tento příspěvek se zabývá výpočtem interference signálů (PN posloupností) generované GPS družicemi a popisuje její vliv na energetické bilanci sestupné trasy vlny GPS družic. Algoritmus je prezentován pro spoj GPS družice – Země s uvažováním šumů, který je generován rozprostřením navigační zprávy pseudonáhodným kódem ostatních družic systému.

## 1 Úvod

Příspěvek je zaměřen na analýzu spoje družice – Země. Všechny výpočty jsou vypracovány v prostředí nástroje Matlab. Tento výpočet je velmi důležitý pro stanovení celkových parametrů systému od vysílačů, přes transpondéry, až po přijímač uživatele. U globálních navigačních systémů, jako je GPS nebo Galileo, je dosažený poměr signál ku šumu na straně navigačního přijímače rozhodující pro celkovou výslednou přesnost určení polohy. Energetická bilance spoje s přímou viditelností mezi vysílačem s výkonem a přijímačem se vzdáleností  $r$ , zisky antén  $G_T$  (vysílač) a  $G_R$  (přijímač) je popsána komunikační rovnicí (výkon nosné vlny ke spektrální šumové hustotě  $C/N_0$ ) za předpokladu, že spoj je bez interferencí nebo dalších rušivých zdrojů :

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_D = EIRP - L_D + \left(\frac{G_R}{T}\right)_{SL} + 228,6 \quad (1)$$

## 2 Výpočet vzdálenosti $r$

Družice se pohybuje po určité dráze se stabilní výškou nad povrchem země, pro GPS družice je tato výška 20200 km. Vzdálenost  $r$  mezi družicí a přijímací stanicí se mění vzhledem k pozici pozemského pozorovatele vůči družici. K největším ztrátám dochází, je-li družice v poloze s malým elevačním úhlem  $\alpha$ . Úroveň signálu pak roste se zvyšujícím se elevačním úhlem, tedy vzdálenost mezi pozorovatelem a družicí se zmenšuje.

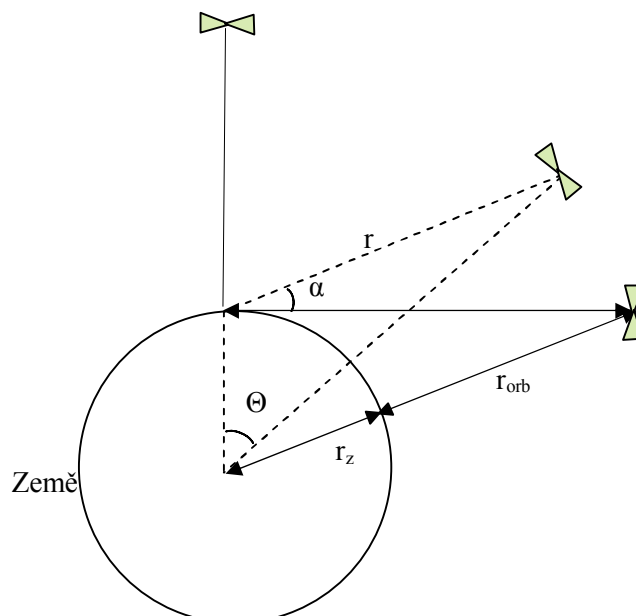
Pohybuje se - li družice po její dráze směrem k přijímací stanici, lze sledovat změny elevačního úhlu  $\alpha$  vůči změnám středního úhlu země  $\Theta$ , svírajícího se družicí (2) [2].

Za předpokladu, že elevační úhel  $\alpha$  se mění v rozmezí od  $0^\circ$ , družice je vůči pozorovateli na horizontu, do  $90^\circ$ , kdy je družice v nadhlavníku, můžeme počítat aktuální elevační úhel pro trasu po oběžné dráze podle vztahu:

$$\cos(\Theta + \alpha) = \frac{\cos \alpha}{1 + \left(\frac{r_{orb}}{r_z}\right)} \quad (2)$$

Situace řešení je nastíněna na obr.1. Známe – li dvě délky stran trojúhelníku, poloměr Země a výšku dráhy družice ( $r_z + r_{orb}$ ) a úhel, jenž svírají ( $\Theta$  - středový úhel), můžeme si počítat třetí stranu  $r$  (vzdálenost družice - pozorovatel) podle vztahu:

$$r = \sqrt{r_z^2 + r_{orb}^2 - 2r_z \cdot r_{orb} \cdot \cos \Theta} \quad (3)$$



Obr. 1 Geometrie určení vzdálenosti družice – pozorovatel

### 3 Výpočet ztrát po sestupné trase $L_D$

Ztráty  $L_D$  způsobené šířením elektromagnetické vlny po sestupné trase mají značný vliv na úroveň signálu na vstupu přijímače, resp. hustotu elektromagnetické energie v prostoru přijímací antény. Celkové ztráty šířením jsou dány složkou  $L_0$  (ztráty při šíření vln ve volném prostoru) a složkou  $L_A$ , která shrnuje přídavné ztráty:

$$L_D = L_0 + L_A \quad (4)$$

Ztráty šíření ve volném prostoru jsou zapříčiněny ředěním elektromagnetické energie postupující kulové vlny při provozním kmitočtu  $f_D$ :

$$L_0 = \left( \frac{4\pi \cdot r \cdot f_D}{c} \right)^2 \quad (5)$$

Program v prostředí Matlabu po zadání parametrů konkrétního navigačního systému, umožňuje počítat a sledovat všechny tyto změny. Výpočty v tomto článku jsou konkretizovány pro GPS družice a kanál L1 C/A [3]. V tabulce 1 jsou uvedeny vypočtené parametry pro různé elevační úhly GPS družice.

### 4 Výpočet interference

Interference signálů v CDMA systémech jsou v přijímací části systému především dány tím, že všechny vysílače pracují na stejném kmitočtu. Jejich oddělení je dáno jen pseudonáhodným rozprostíracím kódem, pomocí jehož repliky v přijímači lze signál z kýženého vysílače separovat, avšak ostatní vysílače systému se ve výsledku projeví jistou úrovní interference. Úroveň potlačení jiného vysílaného signálu je dána vzájemnou korelací mezi rozprostíracími kódy. Protože zvolené Goldovy kódy aplikované u GPS systému mají malou vzájemnou korelaci, má tento interferenční signál charakter blízký bílému šumu. Pro určení úrovně interferencí sečteme úroveň přijatých signálů s uvažováním dané korelace od 2-9 různých družic stejného systému. Výsledný výkon těchto signálů se přičítá na vstup přijímače k výkonu tepelného šumu. Je-li úroveň výkonu užitečného signálu na vstupu přijímače  $P_r$ , potom platí :

$$P_r [dB] = EIRP [dB(W)] - L_D [dB] + G_{R_{max}} [dBi] \quad (6)$$

Protože anténa běžného ručního přijímače GPS je všesměrová, je její zisk  $G_{Rmax} = 0$  [dB]. Výkon signálu na vstupu přijímače je pak dán rozdílem mezi vyzářeným výkonem vysílače a ztrátami způsobenými šířením rádiové vlny v prostoru:

$$P_r [dB] = EIRP [dB(W)] - L_D [dB] \quad (7)$$

Výkon tepelného šumu přijímače se  $B_n$  šířka pásma šumu je:

$$N [dB(W)] = B_n [dB(Hz)] + T_s [dB(K)] - 228 [dB(W(HzK)^{-1})] \quad (8)$$

Výkon tepelného šumu při šířce pásma 2 MHz je  $N = -141,2$  dB(W), resp.  $N = -131,2$  dB(W) pro 20 MHz.

Předpokládáme, že přijímáme signály od 9 družic s různými elevačními úhly a ztrátami trasy podle *tab. 1*, výsledný interferovaný výkon je dán součtem jednotlivých výkonů *tab. 2* :

$$I[W] = P_{r1} + P_{r2} + \dots + P_{r9} \quad (9)$$

Tab.1: Závislost mezi elevačním úhlem, vzdáleností, ztrátami a poměry C/N pro GPS L1 C/A družice-země

$\alpha$	r [km]	$L_D$ [dB]	C/No [dB]	C/N [dB]	C/N+I [dB]
0°	25785	184,91	46.0854	-16.9146	-17.8789
9,72°	24734	184,55	46.4468	-16.5532	-17.5174
19,87°	23714	184,18	46.8126	-16.1874	-17.1517
30,50°	22759	183,83	47.1695	-15.8305	-16.7948
41,61°	21906	183,49	47.5012	-15.4988	-16.4631
53,20°	21192	183,21	47.7890	-15.2110	-16.1752
65,19°	20652	182,98	48.0134	-14.9866	-15.9509
77,51°	20315	182,84	48.1564	-14.8436	-15.8079
90°	20200	182,79	48.2056	-14.7944	-15.7587

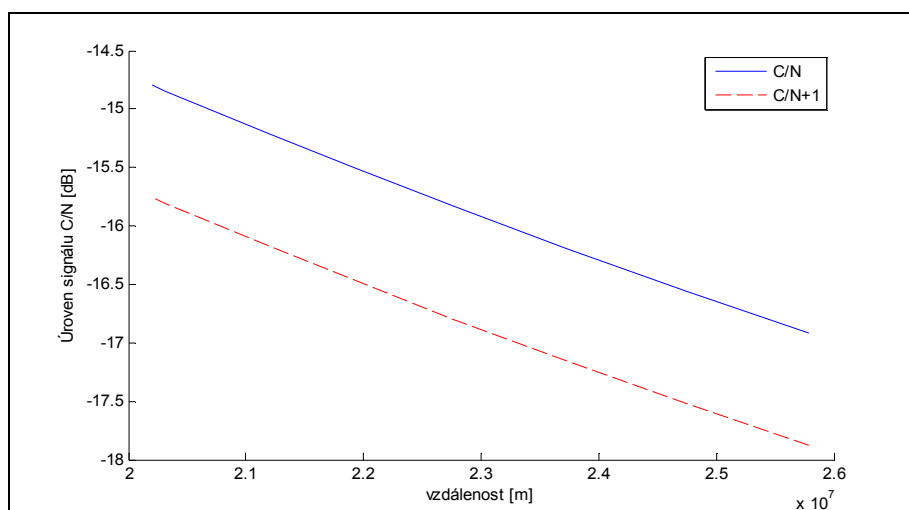
Tab.2 Interferované výkony v dB na vstupu přijímače GPS L1 C/A od 9 satelitů

$P_{r1}$	$P_{r2}$	$P_{r3}$	$P_{r4}$	$P_{r5}$	$P_{r6}$	$P_{r7}$	$P_{r8}$	$P_{r9}$
-158.114	-157.753	-157.387	-157.030	-156.698	-156.411	-156.186	-156.043	-155.994

Hodnoty vypočetných úrovní signálu pro devět interferujících družic jsou uvedeny (viz. *tabulka 3*). Taková situace odpovídá běžnému reálnému příjmu GPS signálu malým uživatelským přijímačem, ve výsledku je patrná úroveň tepelného šumu o 7 dB vyšší než je souhrnná interference. Poměr C/N se působením interference zhorší asi o 1 dB *obr.2*.

Tab. 3 : Úrovně signálu GPS L1 C/A

Frequency	L1 1575	MHz
EIRP	26.8	dB
$G_{rmax}$	0	dBi
$T_s$	24.4	dB(K)
Gr/ $T_s$	-24.4	dB(K <sup>-1</sup> )
$B_n$	63	dB(Hz)
N	-141,2	dB(W)
I	-147,244	dB(W)
N+I	-140,235	dB(W)



Obr. 2: Zavislost mezi vzdáleností  $r$  a úrovní signálu  $C/N$

## 5 Závěr

V článku je prezentován postup výpočtu energetické bilance družicového spoje družice-Země. Většina parametrů pro jednotlivé navigační systémy jsou známé, odvozené v řadě publikací [1], [2]. Vzdálenost mezi družicí a přijímací stanicí má značný vliv na úroveň přijatého signálu a ta se mění s elevačním úhlem. Program v prostředí Matlabu zjednodušuje a umožňuje řešení této problematiky s velkou spolehlivostí.

## Reference

- [1] KASAL, M. Směrové a družicové spoje. Skriptum. Brno: FEKT VUT v Brně, 2003.
- [2] Elliot D. Kaplan, Christopher J. Hegarty GPS principles and applications, Elliot D. Kaplan, Christopher J. Hegarty, 2005.
- [3] ŠEBESTA, J. Radiolokace a radionavigace. Elektronické skriptum. Brno: FEKT VUT v Brně, 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