

Zpracování kódových měření GNSS

Tomáš Tichý

18. studentská konference VŠTEZ - Tetřeví boudy

18. 6. 2010

1 Co to je GNSS

- Americký systém NAVSTAR GPS
 - Segmenty GPS
- Ruský systém GLONASS
- Evropský systém Galileo

2 Kódová měření

- Kódová měření
- Výpočet polohy
- Kódový signál

3 Zpracování

- Popis
- Výpočet
- Data
- Výsledky

4 Cíl projektu

Seznámení s GNSS

- GNSS jsou Globální navigační satelitní systémy.
- Jedná se o souhrnné označení systému GPS, Glonass a Galileo.
- Existuje i řada dalších navigačních systémů.

NAVSTAR GPS

- NAVigation Signal Timing And Ranging Global Positioning System
- Jedná se o systém vyvinutý v USA a provozovaný armádou Spojených států.
- Je to nejstarší navigační systém.
- Na obloze má největší počet družic.
- Nutný počet 24, nyní 32.
- Je zaručen minimální počet družic, kdekoli na Zemi.

NAVSTAR GPS

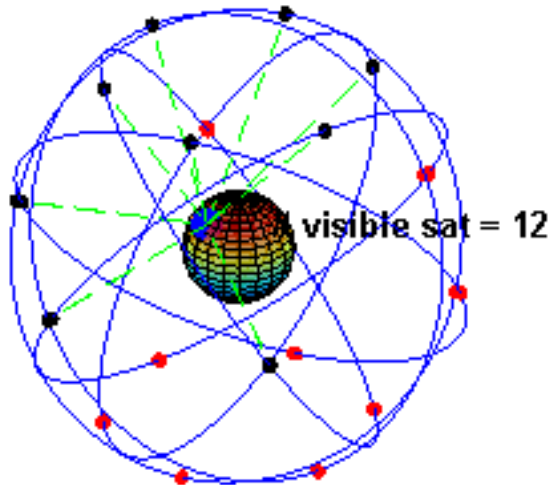
- Družice se pohybují na 6 kruhových drahách.
- Sklon roviny dráhy je 55° .
- Výška je 20200 *km* nad Zemí.
- Oběžná rychlost je $3,8 \frac{km}{s}$ a oběžná doba je 11 hod. a 58 min.

Segmenty

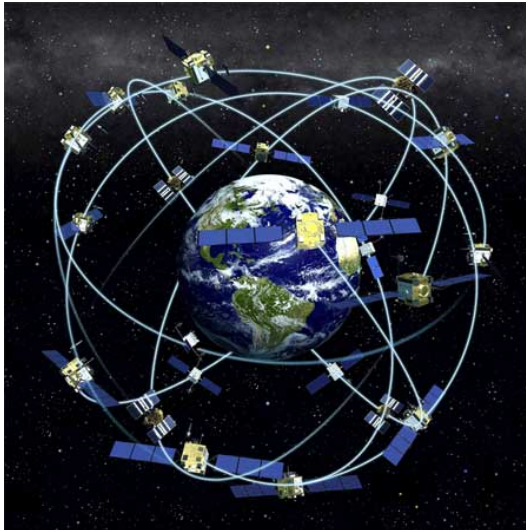
Systém GPS se skládá s několika segmentů a to:

- Kosmický segment.
- Řídící a kontrolní segment.
- Uživatelský segment.

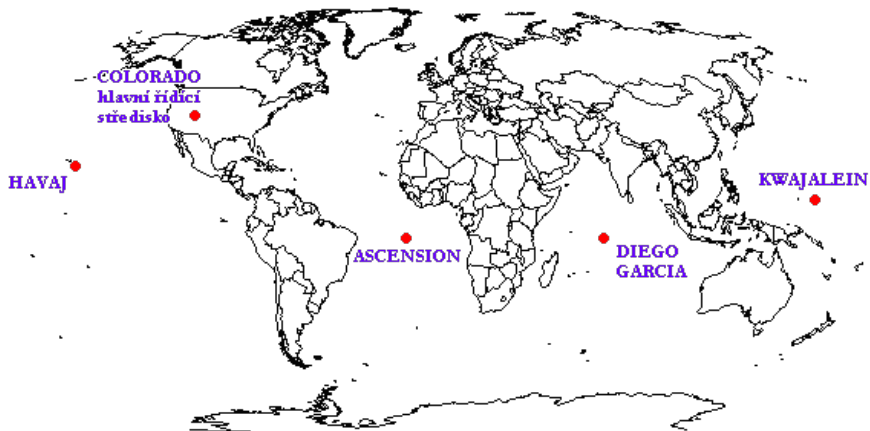
Rozmístění družic nad Zemí



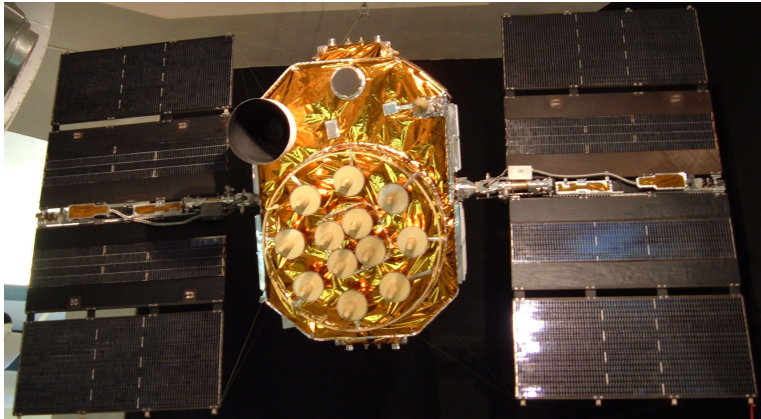
Rozmístění družic nad Zemí



Řídicí a kontrolní segment



Ukázky družic



Ukázky družic



GLONASS

- Jedná se o systém vyvinutý v SSSR a provozovaný ruskou armádou.
- Po dokončení (2012?) bude 24 družic na 3 drahách.
- Sklon bude 64.8° a výška 19100 *km*
- V roce 2007 bylo družic cca 10, dostupnost 51% v Rusku, 40% svět. Dnes 21 (2010/05).

Galileo

- Evropský systém sponzorovaný Evropskou unií.
- Jedná se o ryze civilní systém kompatibilní s GPS.
- Zatím ve výstavbě, rok spuštění 2014?
- Počítá se s 27 družicemi (3 náhradní) se sklonem k rovníku 56° a výškou 23222 *km* nad Zemí.

Měření

Družice vysílá signál na několika nosných vlnách,

- vlna L1, na ní se vysílá C/A kód potřebný pro kódové měření.
- vlna L2, na ní se spolu s L1 vysílá P kód pro fázová měření.
- ostatní L vlny jsou určeny převážně pro vojenské účely.
- vlna L5 pro leteckou dopravu.

Kódové měření

Kódový přijímač je schopen měřit časový posun mezi okamžikem vyslání a okamžikem příjmu signálu, měří rozdíl časů

$$\Delta t = t_R - t^S \quad (1)$$

Zavedeme *opravu hodin přijímače* $\delta_R(T_R)$ v čase T_R a *opravu hodin družice* $\delta^S(T^S)$ v čase T^S

$$\delta_R(T_R) = t_R - T_R \quad (2)$$

$$\delta^S(T^S) = t^S - T^S \quad (3)$$

Rovnici (1) můžeme tedy přepsat do následujícího tvaru:

$$\Delta t = [T_R + \delta_R(T_R)] - [T^S + \delta^S(T^S)] = \Delta T + \delta_R(T_R) - \delta^S(T^S) \quad (4)$$

kde ΔT je *správný tranzitní čas*.

Vztah popisující pseudovzdálenost mezi přijímačem a družicí dostaneme vynásobením rovnice (4) rychlostí světla c .

$$R_R^S = c\Delta t = c\Delta t + c \cdot (\delta_R - \delta^S) = \varrho_R^S(T_R, T^S) + c\delta_R(T_R) - c\delta^S(T^S) \quad (5)$$

kde $\varrho_R^S(T_R, T^S) = c\delta T$ je skutečná vzdálenost přijímače R v okamžiku příjmu signálu (T_R) a družice S v okamžiku vyslání signálu (T^S). R_R^S je pseudovzdálenost s promítnutím chyb hodin přijímače a družice. Rovnici pro pseudovzdálenost přepíšeme do tvaru:

$$R_R^S = \sqrt{(X_R - X^S(T^S))^2 + (Y_R - Y^S(T^S))^2 + (Z_R - Z^S(T^S))^2} + c\delta_R(T_R) - c\delta^S(T^S) \quad (6)$$

S využitím symboliky má rovnice pozorování pro k -tou družici a i -tou epochu v čase T_i tvar:

$$R_p^k(T_i) = \varrho_p^k(T_i) + c \cdot \varrho_p(T_i) - c \cdot \varrho^k(T_i^k) \quad (7)$$

$$R_p^k(T_i) = \sqrt{(X_p - X^k(T_i^k))^2 + (Y_p - Y^k(T_i^k))^2 + (Z_p - Z^k(T_i^k))^2} + c \cdot \varrho_p(T_i) - c \cdot \varrho^k(T_i^k) \quad (8)$$

Pro parciální derivace geometrické vzdálenosti ρ v i -té epoše pro k -tou družici zavedeme následující substitute:

$$\begin{aligned} a_p^k(T_i^k) &= \left. \frac{\partial \varrho_p^k(T_i)}{\partial X} \right|_{(X_{p0}, Y_{p0}, Z_{p0})} = \frac{X_{p0} - X^k(T_i^k)}{\varrho_{p0}^k(T_i)} \\ b_p^k(T_i^k) &= \left. \frac{\partial \varrho_p^k(T_i)}{\partial Y} \right|_{(X_{p0}, Y_{p0}, Z_{p0})} = \frac{Y_{p0} - Y^k(T_i^k)}{\varrho_{p0}^k(T_i)} \\ c_p^k(T_i^k) &= \left. \frac{\partial \varrho_p^k(T_i)}{\partial Z} \right|_{(X_{p0}, Y_{p0}, Z_{p0})} = \frac{Z_{p0} - Z^k(T_i^k)}{\varrho_{p0}^k(T_i)} \end{aligned} \quad (9)$$

kde (X_{p0}, Y_{p0}, Z_{p0}) jsou přibližné souřadnice přijímače.

Vzádelnost

$$\varrho_{p0}^k(T_i) = \sqrt{(X_{p0} - X^k(T_i^k))^2 + Y_{p0} - Y^k(T_i^k))^2 + Z_{p0} - Z^k(T_i^k))^2}$$

Je hodnota geometrické vzdálenosti spočtená z těchto souřadnic.
Potom matice $\mathbb{A}$ má tvar:

$$\mathbb{A} = \begin{pmatrix} a_p^1(T_1^1) & b_p^1(T_1^1) & c_p^1(T_1^1) & 1 & 0 & \dots & 0 \\ a_p^2(T_1^2) & b_p^2(T_1^2) & c_p^2(T_1^2) & 1 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_p^{m1}(T_1^{m1}) & b_p^{m1}(T_1^{m1}) & c_p^{m1}(T_1^{m1}) & 1 & 0 & \dots & 0 \\ \\ a_p^1(T_2^1) & b_p^1(T_2^1) & c_p^1(T_2^1) & 0 & 1 & \dots & 0 \\ a_p^2(T_2^2) & b_p^2(T_2^2) & c_p^2(T_2^2) & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_p^{m2}(T_2^{m2}) & b_p^{m2}(T_2^{m2}) & c_p^{m2}(T_2^{m2}) & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_p^1(T_n^1) & b_p^1(T_n^1) & c_p^1(T_n^1) & 0 & 0 & \dots & 1 \\ a_p^2(T_n^2) & b_p^2(T_n^2) & c_p^2(T_n^2) & 0 & 0 & \dots & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_p^{mn}(T_n^{mn}) & b_p^{mn}(T_n^{mn}) & c_p^{mn}(T_n^{mn}) & 0 & 0 & \dots & 1 \end{pmatrix} \quad (10)$$

a vektor $\mathbb{L}$

$$\mathbb{L} = \begin{pmatrix} \varrho_{p0}^1(T_1) - R_p^1(T_1) - c \cdot \delta^1(T_1^1) \\ \varrho_{p0}^2(T_1) - R_p^2(T_1) - c \cdot \delta^2(T_1^2) \\ \vdots \\ \varrho_{p0}^{m1}(T_1) - R_p^{m1}(T_1) - c \cdot \delta^{m1}(T_1^{m1}) \\ \varrho_{p0}^1(T_2) - R_p^1(T_2) - c \cdot \delta^1(T_2^1) \\ \varrho_{p0}^2(T_2) - R_p^2(T_2) - c \cdot \delta^2(T_2^2) \\ \vdots \\ \varrho_{p0}^{m1}(T_2) - R_p^{m1}(T_2) - c \cdot \delta^{m2}(T_2^{m2}) \\ \vdots \\ \varrho_{p0}^1(T_n) - R_p^1(T_n) - c \cdot \delta^1(T_n^1) \\ \varrho_{p0}^2(T_n) - R_p^2(T_n) - c \cdot \delta^2(T_n^2) \\ \vdots \\ \varrho_{p0}^{m_n}(T_n) - R_p^{m_n}(T_n) - c \cdot \delta^{m_n}(T_n^{m_n}) \end{pmatrix} \quad (11)$$

Schéma signálu GPS

L1 nosná 1575,42 MHz



C/A kód 1,023 MHz



Navigační zpráva 50 Hz



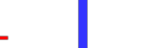
P kód 10,23 MHz



L2 nosná 1227,6 MHz



L1 signál

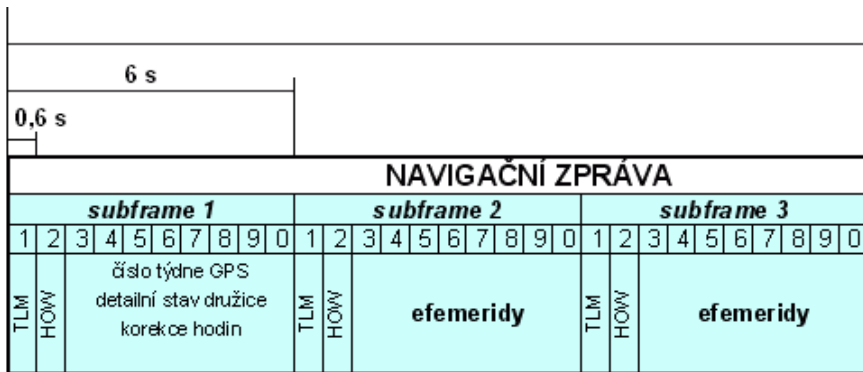


⊗ Směšovač

⊕ Modulo

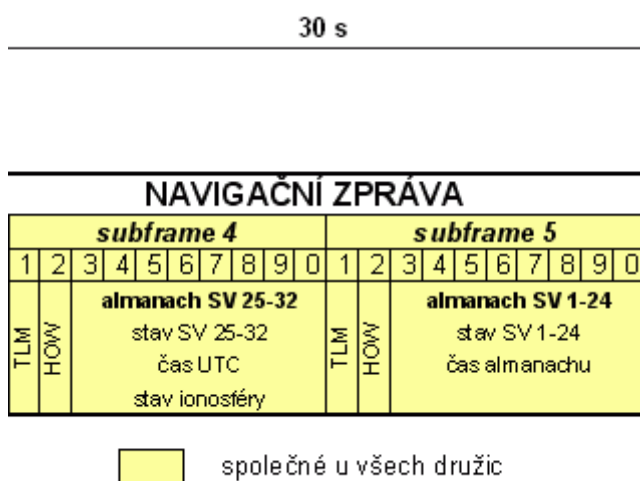
L2 :signál

Schéma signálu GPS



 jedinečné pro každou družici

Schéma signálu GPS



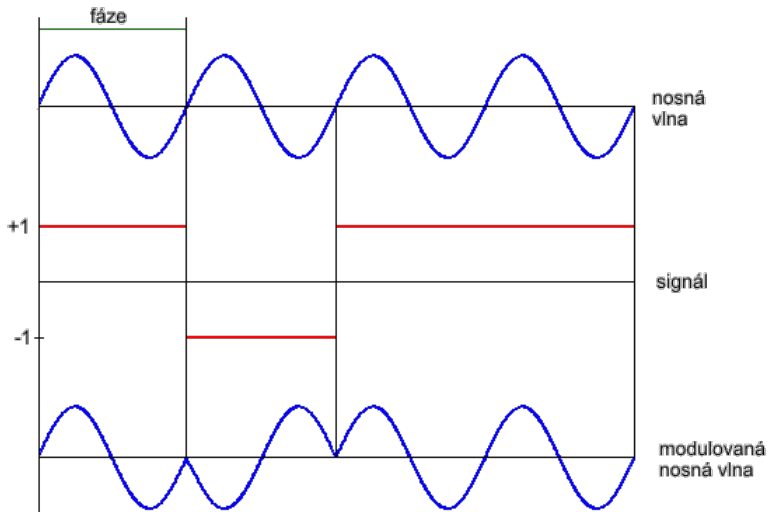
Šíření signálu

10111100011001101001110001110001011110001100110100111000111000

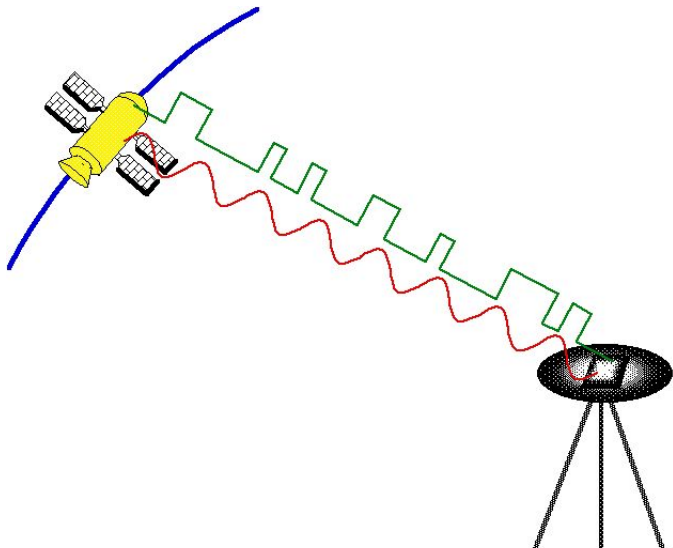


A Short Repeating PRN Code Sample

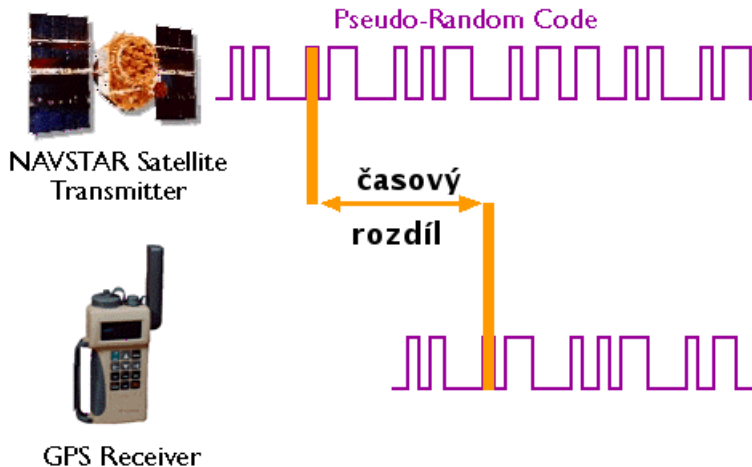
Šíření signálu



Šíření signálu



Šíření signálu



$$\text{vzdálenost} = \text{rychlost světla} \times \text{časový rozdíl}$$

Popis zpracování

Zpracování se provádělo v několika krocích.

- Nejprve bylo třeba stáhnout data ze stránek EUREF.
[<ftp://igs.ensg.ign.fr/pub/igs/data/2009/099>]
- Poté bylo třeba zajistit data pro stanovené časy (12:15 , 12:30, 12:45)
- Dále bylo třeba zajistit data s přesnou polohou družic pro daný den. [<http://igscb.jpl.nasa.gov/products>]
- Poté byla vypočtena matice plánu $\mathbb{A}$ a vektor měření $\mathbb{L}$.

Výpočet rozdílu souřadnic

Výpočet přírůstku souřadnic GPS

$$\mathbb{X} = -(\mathbb{A}^T \mathbb{A})^{-1} \cdot \mathbb{A}^T \mathbb{L}$$

Oprava hodin přijímače

$$\delta_k = \frac{\mathbb{X}}{c}$$

Popis souboru RINEX a SP3

(Receiver INdependend EXchange format) formát pro pozdější zpracování dat.

- Používají se dva druhy:
- Navigační obsahuje data z navigační zprávy.
- Observační obsahuje naměřená data.

Soubor SP3 se používá pro dodatečné určení přesných poloh družic. Data jsou v souboru po 15 min.

Observatoř

V zadání jsou data observatoře americké geologické služby ve městě Pasadena u Los Angeles. Observatoř se nachází v areálu California Institute of Technology.



Výsledky souřadnic

Výsledné posuny

- Přibližné souřadnice z RINEXu:
 $X: -2458218.4736, Y: -4680467.4516, Z: 3556758.4957$
- Vypočítané posuny:
 $\Delta_X: 24.283, \Delta_Y: -38.534, \Delta_Z: 35.036$
- Střední chyby souřadnic:
 $\sigma_X = 3.3286, \sigma_Y = 2.3572, \sigma_Z = 7.8223, \delta_{XYZ} = 8.8218$
- Výsledné souřadnice:
 $X = -2458194.191, Y = -4680505.985, Z = 3556793.532$

Výsledky oprav hodin

Oprava hodin přijímače

$$\Delta T_1 = \frac{16.998}{c} \approx 5.66996 \cdot 10^{-8}$$

$$\Delta T_2 = \frac{27.097}{c} \approx 9.03859 \cdot 10^{-8}$$

$$\Delta T_3 = \frac{20.818}{c} \approx 6.94425 \cdot 10^{-8}$$

$$\sigma_{T_1} = 11.6725, \quad \sigma_{T_2} = 7.8533, \quad \sigma_{T_3} = 7.8377$$

$$\delta_{T_1, T_2, T_3} = 16.1044$$

Cíle projektu

Cíle

- Cílem bylo seznámit studenty s principem GNSS,
- jak se chovají přijímače kódového měření,
- jaké jsou druhy signálu GNSS
- a jak zvýšit přesnost měření.

Děkuji za pozornost

-  MERVART Leoš, LUKEŠ Zdeněk, Adjustemt Calculus, Praha: ČVUT, 2007. 165 s. Fakulta stavební. ISBN 978-80-01-03593-1
-  CIMBÁLNÍK Miloš, ZEMAN Antonín, KOSTELECKÝ Jan, Základy vyšší a fyzikální geodézie, Praha: ČVUT, 2008. 218 s. Fakulta stavební. ISBN 978-80-01-03605-1
-  http://www.aldebaran.cz/bulletin/2005_02_gps.php
dostupný on-line
-  TESAŘ Pavel, Úvod do GNSS, Praha: ČVUT, 2007 19 s. dostupný on-line
-  LUKEŠ Zdeněk, Zpracování kódových měření systému GPS, Praha: ČVUT, 2007 13 s. dostupný on-line
-  LUKEŠ Zdeněk, Pohyb umělých družic v tíhovém poli Země, Praha: ČVUT, 2007 12 s. dostupný on-line