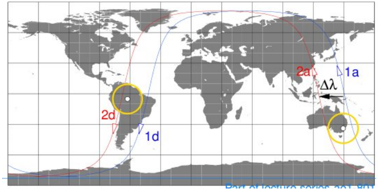
Cvičení 9

Subsatelitní dráha - Ground track



- $\frac{a^3}{T^2} = \frac{GM}{4\pi^2}$, nebo $n^2 a^3 = GM$ a pokud $GM = 398600 \mathrm{km}^3 \mathrm{s}^{-2}$, $n = \frac{2\pi}{T}$ a $r_0 = 6370 \mathrm{km}$, pak

$$T^2 = \frac{a^3}{r_0^3} \frac{4\pi^2}{GM} r_0^3$$

$$T \approx 5060^s (\frac{r}{r_0})^{\frac{3}{2}} \approx 84.3^m (\frac{r}{r_0})^{\frac{3}{2}}$$

a posun subsatelitního bodu na rovníku za jednu otočku

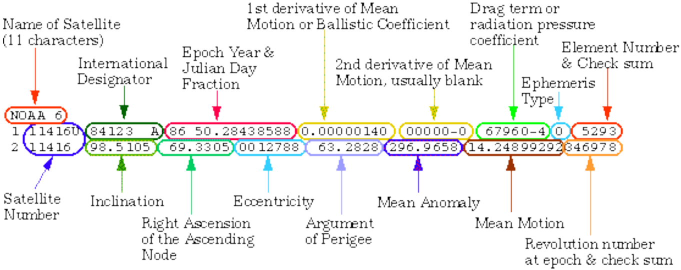
$$\Delta\lambda = \left(\frac{360^\circ}{1436^m}\right) \times T = 0.2507^\circ \, T[min]$$

Cvičení 9

- V jaké výšce musí obíhat UDZ, aby byla stále nad stejným místem na rovníku? (GM=398600km^3 s^2 , Země se otočí o 360° za hvězdný den!) (a=42164.15 km)
- Viditelnost družice:
  - na obzoru: $\cos\alpha = \frac{R}{a}$
  - β° nad obzorem: $\cos\alpha' = \frac{R}{a} + \tan\beta\sin\alpha'$

$$\sin\alpha' = \frac{-\tan\beta\frac{R}{a} \pm \sqrt{1 - \frac{R^2}{a^2} + \tan^2\beta}}{1 + \tan^2\beta}$$

NORAD Two-Line Elements, NLTE



- https://www.celestrak.com/NORAD/elements/
  https://cs.wikipedia.org/wiki/Dvouřádkové_elementy
- n je v obězích za den. Převod na rad/s $n = 2\pi/86400$
- potom $a = \sqrt[3]{\frac{GM}{n^2}}$

Řešení 2. úlohy

- pro zadanou družici naleznete dvouřadkové elementy dráhy pro epochu pro poslední epochu.
- pro čtení elementů použijeme proceduru `readtwoline.m`
- hledáme první topocentrickou trajektorii po obloze na stanici o zeměpisných souřadnicích φ a λ zeměpisných souřadnicích φ a λ.
- polohu družice v rovníkové soustavě pomocí `rvzelementu.m`
  - střední denní pohyb: je zadán, z něho a $n = \sqrt{\frac{GM}{a^3}}$;
  - střední anomálie při průchodu φ $M = M_0 + n(t - t_0)$;
  - $x = \arcsin \frac{\sin\varphi}{\sin i}$
  - $t = (x - \omega - M_0)/n$ a pro sestupný bod $t = (180 - x - ....)/n$

Řešení 2. úlohy, pokr.

- **Transformace:**
  - z rvzelementu máme pravoúhle souřadnice družice rovníkové 2. druhu (vztaženo k jarnímu bodu)
  - otočení do terestrické soustavy a přechod na topocentrum: máme Greenwichský hvězdný čas S z `uttost.m` a otočíme do SR1 (hodinový úhel t bude odpovídat $-\lambda_d$

Řešení 2. úlohy, pokr.

- $x_{S_{r1}}|_{gr,topo} = \mathbf{Z}(S) x_{S_{r2}}|_{jb,geo} - \vec{\rho}$;
- nyní otestujeme viditelnost, pokud není posuneme čas o obežnou dobu a λ o $\Delta\lambda$.
- až bude vzdálenost po rovnoběžce od druzice k pozorovateli menší než α' spočítáme
- přechod z greenwichské soustavy do lokální: $x_{S_{r1}}|_{\lambda,topo} = \mathbf{Z}(\lambda) x_{S_{r1}}|_{gr,topo}$;
- transformace do obzorníkové: $x_{S_o} = \mathbf{Y}(90^\circ - \varphi) x_{S_{r1}}|_{\lambda,topo} \Rightarrow z, a$.

z x_{S_o} je možno určit azimut a výšku, resp. zenitovou vzdálenost.

Princip určení dráhy planetky
z topocentrických pozorování.

- Známe α_j, δ_j a X_j ... v čase T_j, j=1,2,..k
- Přibližný výpočet. Předpoklad kruhové dráhy. Stačí dvě pozorování.
- Problém: neznáme vzdálenost. Ale víme, že se těleso pohybuje podle Keplerových zákonů.
- směrové kosiny $\lambda_j = \cos\delta_j \cos\alpha_j$, $\mu_j = \ldots$, $\nu_j = \ldots$

$$
\begin{aligned}
x_j &= \rho_j\lambda_j - X_j, & & \\
y_j &= \rho_j\mu_j - Y_j, & a^2 &= x_j^2 + y_j^2 + z_j^2 \\
z_j &= \rho_j\nu_j - Z_j, & R^2 &= X_j^2 + Y_j^2 + Z_j^2
\end{aligned}
$$

$$a^2 = \rho_j^2 + R_j^2 - 2\rho_j R_j \cos\psi_j,$$

kde $R_j \cos\psi$ je velikost skalárního součinu $(X_j\lambda_j + \ldots)$

Princip určení dráhy planetky
z topocentrických pozorování. 2

- Máme tedy 2 rovnice pro 3 neznámé ρ_1, ρ_2, a. Potřebujeme ještě jednu nezávislou rovnici.
- Nechť $2f_g = v_2 - v_1$ (rozdíl pravých anomálií, g značí geometrický). Z definice skalárního součinu dostaneme $a^2 \cos(v_2 - v_1) = x_1x_2 + y_1y_2 + z_1z_2$.
- a po úpravách

$$\sin^2 f_g = \frac{1}{2} - \frac{x_1x_2 + y_1y_2 + z_1z_2}{2a^2}.$$

- Pro kruhovou dráhu $M = E = v$ a tedy $2f_d = n(T_2 - T_1)$
- a dosazením do 3.K.z. $n^2a^3 = GM$ dostaneme

$$f_d = \frac{T_2 - T_1}{2}\sqrt{\frac{GM}{a^3}}$$

d značí dynamický.$f_d = f_g$.

Princip určení dráhy planetky
z topocentrických pozorování. 2

- Zvolíme přibližné a a z kvadratické rovnice

$$a^2 = \rho_j^2 + R_j^2 - 2\rho_j R_j \cos\psi_j,$$

  určíme průvodiče

$$\rho_j = R_j \cos\psi_j \pm \sqrt{a^2 - R_j^2 \sin^2\psi_j}$$

- pomocí těchto ρ_j určíme $x_j, \ldots$ Z nich pak f_g a dosazením za f_d dostaneme a po prvním přiblížení. A postup opakujeme. Tím známe dvě 'úplné' polohy a můžeme určit i,Ω...

Cvičení 8

Meteority, radiant dráhy.