

MODELOVANIE TROPOSFÉRY PRE POTREBY GPS ZALOŽENÉ NA NUMERICKÝCH MODELOCH POČASIA

MICHAL ELIAŠ, JAN DOUŠA

VÝZKUMNÝ ÚSTAV GEODETICKÝ, TOPOGRAFICKÝ A KARTOGRAFICKÝ

5. 2. 2015

OBSAH

MOTIVÁCIA

BLIND MODEL

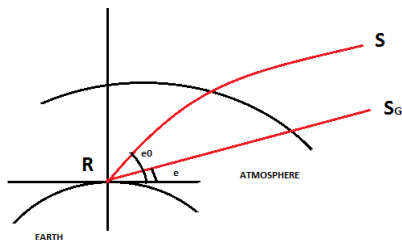
ZÁVER

MOTIVÁCIA

Troposféra: prostredie, ktorým sa elektromagnetická vlna šíri, je:

- nehomogénne \Rightarrow troposféra ma v každom bode rôzne vlastnosti,
- izotropické \Rightarrow rýchlosť šírenia vlny nezávisí na smere šírenia,
- nedisperzné \Rightarrow fázová rýchlosť vlny nezávisí na jej frekvencii,
- lineárne \Rightarrow parametre sú nezávislé na intenzitách polí.

Za následok: Ohyb svetla, oneskorenie



Celkové troposférické oneskorenie

$$D_T = m f_{hyd} \cdot D_{hyd} + m f_{wet} \cdot D_{wet} \cdot (1)$$

TROPOSFÉRICKÉ ONESKORENIE

Platia nasledujúce vzťahy:

$$D_d^z = 10^{-6} \int_{H_0}^{\infty} N_d(z) dz \quad (2)$$

$$D_w^z = 10^{-6} \int_{H_0}^{\infty} N_w(z) dz. \quad (3)$$

kde

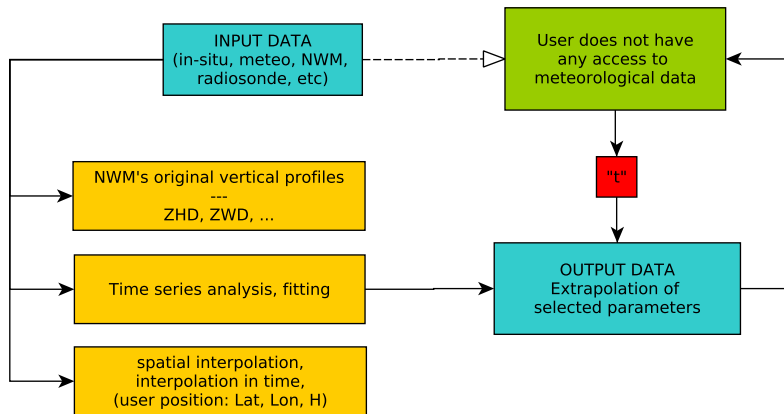
$$N_d = k_1 R_d \rho_m \quad (4)$$

$$N_w = \left(k_2' \frac{e}{T} + k_3 \frac{e}{T^2} \right) \frac{1}{Z_w}. \quad (5)$$

ELGERED, G.: Water Vapour Radiometry with Applications to Radio Interferometry and Meteorology. Chalmers University of Technology, Swe, 1983.

RÜEGER, J., M.: Refractive Index Formulae for Radio Waves. FIG XXII Interational Congress, Washington D.C. USA, 2002.

BLIND MODEL



- Užívateľ nemá žiadny prístup k meteorologickým údajom,
- UNB3, GalTropo, GSTB-v1, GPTw2, ...

BLIND MODEL

MOPS-RTCA MODEL je model založený na odhade piatich meteo parametrov: tlak [hPa], teplota [K], tlak vodných pár [hPa], teplotný gradient [K/m] a gradient vodných pár [-].

Užívateľ: zemepisná šírka, nadmorská výška, DOY.

Dáta: 1996 U.S. Standard Atmosphere

- Meteo parametre sú dané len súčtom priemerných hodnôt a sezónnych variácií (nie denných):

$$\xi(\Phi, DoY) = \xi_0(\Phi) - \Delta\xi(\Phi) \cdot \cos\left(\frac{2\pi(DoY - DoY_{min})}{365.25}\right)$$

- Hodnoty $\xi_0(\Phi) - \Delta\xi(\Phi) \Rightarrow$ tabulované (lineárna inter.) pre každý parameter.
- Rozsah zem. š.: $15[deg] < \Phi < 75[deg]$

BLIND MODEL

$$D_h^z = \left(1 - \frac{\beta H}{T}\right)^{\frac{g}{R_d \beta}} \cdot Z_h \Rightarrow Z_h = \frac{10^{-6} k_1 R_d P}{g_m}$$

$$D_w^z = \left(1 - \frac{\beta H}{T}\right)^{\frac{(\lambda+1)g}{R_d \beta} - 1} \cdot Z_w \Rightarrow Z_w = \frac{10^{-6} k_2 R_d}{g_m(\lambda + 1) - \beta R_d} \frac{e}{T}$$

$$mf = \frac{1.001}{\sqrt{0.002001 + \sin^2(\epsilon)}} \quad \text{NOT}(\epsilon < 4[\text{deg}])$$

$Z_{h,w}$ sú korekcie v nulovej výške,

BLIND MODEL

GalTropo model predpokladá denné variácie v parametroch:

T_{ms}, e_s, λ

$$X_i(D, H_d) = a1_i - a2_i \cos \left[2\pi \frac{(D - a3_i)}{365.25} \right] - b2_i(D) \cos \left[2\pi \frac{(H_d - b3_i)(D)}{24} \right]$$

Parametre $P, \beta \Rightarrow$ len ročné variácie.

Užívateľ: zem. šírka, dĺžka, nadmorská výška, DOY, Hr.

Dáta: ECMWF ERA15 (1.5x1.5 [deg] res.) \Rightarrow 21 digitálnych máp:
počítané vyrovnaním harmonického modelu do mesačných a
hodinových klimatologických hodnôt

BLIND MODEL

Pre prijímač (zem. povrch):

$$D_h^z = 10^{-6} \frac{k_1 R_d}{g_m(\text{lat}, h)} p_s$$

$$D_w^z = 10^{-6} \frac{k_2 R_d}{g_m(\text{lat}, h)(\lambda + 1)} \frac{e_s}{T_{ms}}$$

Niell mapovacie funkcie.

BLIND MODEL

GPT2w model: kombinácia GPT a GMF modelov (blind mod. \Rightarrow stačí DOY) Dáta: ECMWF ERA INTERIM 10y (2001-2010) \Rightarrow reanalýza na určenie A_0, A_1, B_1, A_2, B_2 pre vybrané parametre r_i v priemernej ETOPO5 (earth topography) výške:

$$r_i = A_0 + A_1 \cos\left(\frac{DOY}{365.25} 2\pi\right) + B_1 \sin\left(\frac{DOY}{365.25} 2\pi\right) + A_2 \cos\left(\frac{DOY}{365.25} 4\pi\right) + B_2 \sin\left(\frac{DOY}{365.25} 4\pi\right)$$

- GPT2w je nadstavba GPT určená na presnejšie definovanie mokrej zložky v blind modele.
- $T_m \Rightarrow$ pomocou numerickej integrácie profilov. Problém s $\lambda \Rightarrow$ variabilita vodných pár vo výške ,h,.
- Riešenie $\uparrow D_w$ určené pomocou numerickej integrácie refraktivity pre mokrú časť (rov. 11, sl. 11?) a invertovaním rovnice (Askne-Nordius):

$$D_w = 10^{-6} (k_2' + k_3/T_m) \frac{R_d}{(\lambda + 1)g_m} e_s$$

BLIND MODEL

Trop4Las model (blind model vo vývoji) vyniká v rámci projektu:

Assessment Techniques of Tropospheric Effects for
Local Augmentations Systems

v spolupráci:

- NLR - Dutch National Aerospace Laboratory
- RIGTC
- KNMI - Royal Netherlands Meteorological Institute

Požiadavky:

- Vylepšenie presností troposférických korekcií (= algoritmy),

Charakteristiky pripravovaného blind modelu:

- vstupné dáta s rozlíšením $1 \times 1 [deg]$,
- 60 vertikálnych vrstiev,
- využitie nového prístupu výpočtu ZWD,
- nové parametre: surface ZWD a ZWD vertical decay,
- flexibilita modelu: ZWD ako funkcia tlaku alebo výšky, podpora lokálnych staníc ...

BLIND MODEL

- ZHD = Saastamoinen model,
- ZWD = nový prístup,
- $STD = ZHD \cdot mf_{ZHD} + ZWD \cdot mf_{ZWD}$, $mf = PMF?$
- priestorová interpolácia: bilinéarna metóda
- časová interpolácia: ročné, polročné a denné modelovanie

$$X_a = X_M + X_T t + X_{AA} \cos\left(\frac{DOY - X_{PA}}{365.25} 2\pi\right) + X_{AS} \cos\left(\frac{DOY - X_{PA}}{365.25} 4\pi\right),$$

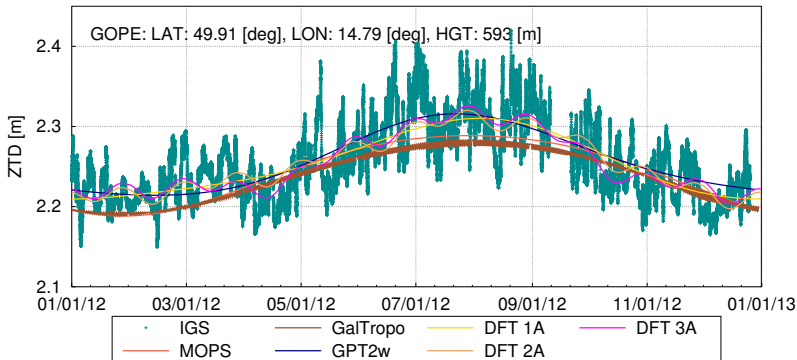
- X_a extrapolovaný parameter,
- X_M priemerná hodnota,
- X_T trendová komponenta,
- X_{AA} ročné amplitúdy parametrov,
- X_{PA} fázové ofsety,
- X_{AS} polročné amplitúdy parametrov,

$$X_{ad} = X_a + X_{AD} \cos\left(\frac{H_D - X_{DP}}{24} 2\pi\right)$$

- X_{AD} denná amplitúda parametrov,
- X_{DP} fázový ofset rešpektujúci začiatok dňa,
- H_D požadovaná hodina dňa.

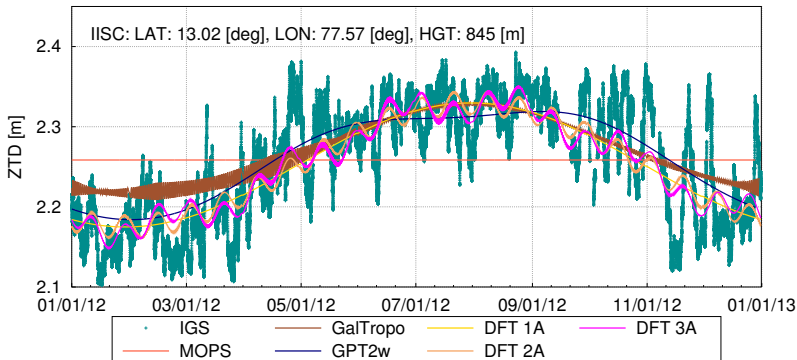
BLIND MODEL: PREDPRÍPRAVA / ANALÝZA

- Prehľad blind modelov,
- + aproximácia založená na analýze výsledkov DFT



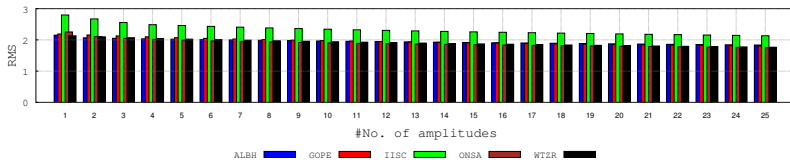
BLIND MODEL: PREDPRÍPRAVA / ANALÝZA

- Porovnanie MOPS - zastaralý, vylepšuje sa priestorová interpretácia modelu, dôraz na časovú aproximáciu dát,

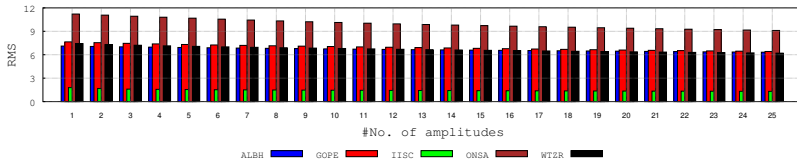


BLIND MODEL: PREDPRÍPRAVA / ANALÝZA

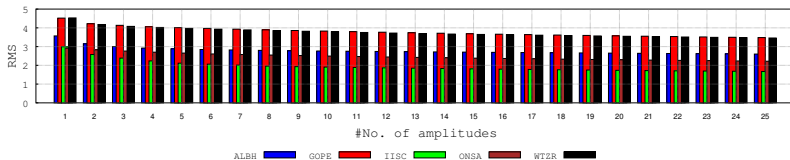
(y:2000-2004) Pressure of Water Vapor [hPa]



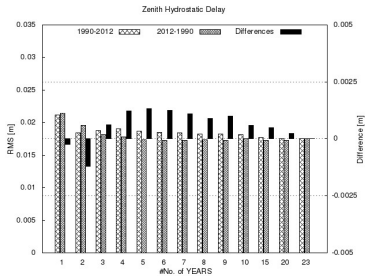
(y:2000-2004) Pressure [hPa]



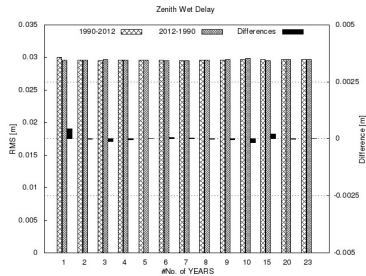
(y:2000-2004) Temperature [K]



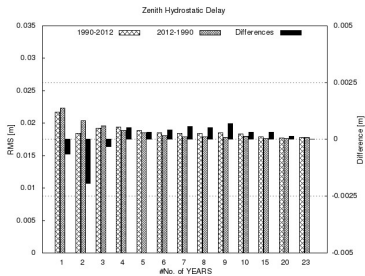
BLIND MODEL: PREDPRÍPRAVA / ANALÝZA



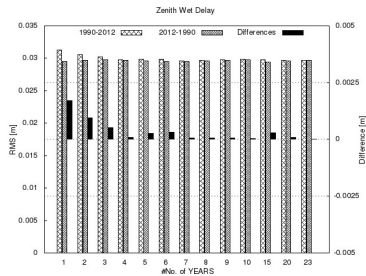
(a) 4c



(b) 4c



(c) 8c



(d) 8c

V prezentácii sme:

- poukázali na problém výpočtu korekcií z troposférického oneskorenia,
- využitie korekcií:
 - GPS,
 - meteorológia,
- predstavili princíp modelovania jednotlivých zložiek (hydrostatická/nehydrostatická komponenta),
- Možnosti vylepšenia Blind Modelu (prehľad do budúcnosti):
 - presnosť \Rightarrow vstup dát s vyšším priestorovým rozdelením (hustota),
 - presnosť \Rightarrow časová aproximácia,
 - citlivá spektrálna analýza (\Rightarrow , aliasing, detekcia skokov, nehomogenít a ich eliminácia),
 - priestorová interpolácia,
 - *GOPE Blind Model*