

# HLAVNÍ CHARAKTERISTIKY KÓDOVÝCH A FÁZOVÝCH DAT

	Kódová data	fáze nosné vlny
vlnová délka	P-kód 29,3 m C/A-kód 293 m	L1 19,0 cm L2 24,4 cm
šum	P-kód 0,3-1 m C/A-kód 3-10 m	} 1-3 mm
vývoj	P-kód cm - dm C/A-kód dm - m	} < 0,2 mm
atmosféra	ionosférické zpoždění	ionosférický nástok
neurčitost	žádná	převážení násobek vlnové délky (ambiguita)

- geodézie : měření fáze nosných vln

## VYBRANÉ KOMBINACE FÁZOVÝCH MĚŘENÍ

Signal	$n$	$m$	$\lambda$ (cm)	$\frac{\lambda}{2}$ (cm)	$\epsilon$ (mm)
$L_1$	1	0	19,0	19,0	3,0
$L_2$	0	1	24,4	12,2	3,9
$L_{1,-1}$	1	-1	86,2	43,1	19,4
$L_{1,1}$	1	1	10,7	5,4	2,1

- 'wide lane' kombinace :  $L_{1,-1} = L_1 - L_2$
- 'narrow lane' kombinace :  $L_{1,1} = L_1 + L_2$
- výhody : dlouhá vlnová délka ( $L_{1,-1}$ ), nízký šum ( $L_{1,1}$ )
- nevýhody : vysoký šum ( $L_{1,-1}$ ), řešení ambiguit ( $L_{1,1}$ )

## LINEÁRNÍ KOMBINACE GPS MĚŘENÍ

- kombinovat lze kódová i fázová měření
- účel: eliminace atmosférických poruch (ionosférické zpředeňování)  
řešení ambiguit ve fázových datech
- lineární kombinací měření fáze nosných vln L1 a L2 lze zapsat:

$$\Phi_{n,m}(t) = n \cdot \Phi_1(t) + m \cdot \Phi_2(t), \quad n \in \mathbb{N}, m \in \mathbb{N}$$

- frekvence lineární kombinace: - ambiguita:  
 $f_{n,m} = n f_1 + m \cdot f_2$   
 $N_{n,m} = n N_1 + m \cdot N_2$
- vlnová délka: - hladina šumu:

$$\lambda_{n,m} = \frac{c}{n f_1 + m f_2} \quad \sigma_{\Phi_{n,m}} = \sqrt{n^2 + m^2} \cdot \sigma_{\Phi}$$

- nekonečně mnoho možností - pouze některé jsou zajímavé!

## LINEÁRNÍ KOMBINACE FÁZOVÝCH DAT A IONOSFÉRIKÉ ZPOŘÁDĚNÍ

- efekt ionosféry v kombinacích 'wide lane' a 'narrow lane' je stejný, ale má opačné znaménko
- střední hodnota obou kombinací - signál bez vlivu ionosféry :

$$L_0 = \frac{L_{1,-1} + L_{1,1}}{2} \quad (\text{'ionospheric-free'})$$

- rozdíl obou kombinací - signál s kompletním vlivem ionosféry :

$$L_1 = L_{1,1} - L_{1,-1} \quad (\text{'ionospheric signal'})$$

studium vlivu ionosféry, řešení ambiguit

- signál  $L_0$  není spojen s celočíslnou ambiguitou, existují ale kombinace ( $L_{4,-3}$  ;  $L_{5,-4}$  ;  $L_{9,-7}$ ), které mají celočíslné ambiguity a jsou velmi blízko k 'ionospheric-free'

## KONCEPT PARAMETRIZACE ROVNIC MĚŘENÍ

- kódová a fázová data vedou k určení tzv. pseudovzdálenosti  
hlavní rozdíl mezi oběma měřeními - **ambiguity**
- mimo ambiguity jsou v observačních rovnicích další nechtěné parametry (chod hodin, atmosféra, sluneční záření atd.)
- možné přístupy: a) určení parametrů - nechtěné parametry jsou určeny spolu se souřadnicemi stanice, předpokladem je jejich popsateľná struktura, nediferencovaná fázová data  
b) eliminace parametrů - většina

parametrů je odstraněna diferencováním měřených dat, hlavní relativní pohybování (základny)

obě metody : **výhody i nevýhody**

## URČENÍ VS. ELIMINACE PARAMETRŮ

- určení parametrů : výhody - možnost použití nediferencovaných dat, nezávislé určování polohy stanic, chování různých parametrů lze lépe kontrolovat, další služby (multipath, variace fázového centra) lze rigorózně modelovat; nevýhody - všechny parametry musí být explicitně součástí observační rovnice
- eliminace parametrů : výhody - mnoho chyb lze eliminovat tj. rovnice jsou jednodušší, toto platí pouze pro krátké základny, pro delší vzdálenosti je nutno wařovat opravy; nevýhody - používá diferencovaných dat => vyšší šum, redukce množství měření, nutno wařovat korelace

- většina firemních programů : eliminace parametrů

## PARAMETRY ROVNIC MĚŘENÍ

- kódová měření:  $\rho = \rho + c(dt - \underline{dT}) + d_{\text{ion}} + d_{\text{trop}}$
- fázová měření:  $\Phi = \rho + c(\underline{dt} - \underline{dT}) + \lambda N - \underline{d_{\text{ion}}} + \underline{d_{\text{trop}}}$

$$\text{kde } \rho^2 = [\underline{X(t)} - \underline{x(T)}]^2 + [\underline{Y(t)} - \underline{y(T)}]^2 + [\underline{Z(t)} - \underline{z(T)}]^2$$

- parametry: souřadnice družice ..  $\{x, y, z\}$  ... známé  
souřadnice stanice ..  $\{x, y, z\}$  ... neznámé

$dt - dT$  ... rozdíl chodu hodin na družici a stanici ... neznámé

$N$  ... ambiguita (pouze fázová data) ... neznámé

$d_{\text{ion}}, d_{\text{trop}}$  ... vliv atmosféry (ionosféra, troposféra) ... model

+ další parametry: systematické chyby dráh, tlak slunečního záření, parametry modelující chod hodin atd.

## NÁSTIN ŘEŠENÍ NEZNAMÝCH PARAMETRŮ

- obecný tvar observačních rovnic:  $\underline{l} = f(\underline{x})$

$\underline{l}$  ... vektor měření (číslová a / či fázová data)

$\underline{x}$  ... vektor neznámých parametrů (souřadnice stanice aj.)

• Řešení:

$$\underline{l} = f(\underline{x})$$

$$\underline{l} \doteq f(\underline{x}_0) + \frac{\partial f(\underline{x})}{\partial \underline{x}} \Big|_{\underline{x} = \underline{x}_0} (\underline{x} - \underline{x}_0)$$

linearizace

$$\underline{l} - f(\underline{x}_0) = \underline{A} \cdot \underline{\delta x} \quad \underline{A} \dots \text{matice plánů (design m.)}$$

$$\underline{\delta l} = \underline{A} \underline{\delta x}$$

$$\underline{\delta \hat{x}} = [\underline{A}^T \underline{C}_e^{-1} \underline{A}]^{-1} \underline{A}^T \underline{C}_e^{-1} \underline{\delta l} \Rightarrow \underline{\hat{x}} = \underline{x}_0 + \underline{\delta \hat{x}}$$



## ŠÍŘENÍ CHYB PŘI ŘEŠENÍ ROVNIC MĚŘENÍ

- kovarianční matice :  $\underline{C}_{\hat{x}} = [ \underline{A}^T \underline{C}_e^{-1} \underline{A} ]^{-1}$
- vektor oprav :  $\underline{\hat{r}} = \underline{\hat{S}} \underline{\hat{L}} - \underline{A} \underline{\delta x}$
- varianční faktor :  $\hat{\sigma}_0^2 = \frac{\hat{r}^T \underline{C}_e^{-1} \hat{r}}{n-u}$   $\underline{C}_{\hat{e}} = \underline{C}_{\hat{r}}$
- vrchní kovarianční matice :  $\underline{C}_{\hat{x}} = \hat{\sigma}_0^2 \underline{C}_{\hat{x}}$
- vyrovnaní tvoří jádro každého GPS software
- vrchní vektoru  $\underline{x}_0$  (výchází hodnoty neznámých parametrů)
- nelineární model - iterace
- vrchní (formální) chyby z vyrovnání - nerealisticky malé!

## ELIMINACE PARAMETRŮ - KORELACE DAT

- eliminace nechtěných parametrů diferencováním dat
- měřené veličiny ... vektor  $\underline{l}$  + kovarianční matice  $\underline{C}_l$
- diferencované veličiny ... vektor  $\underline{\Delta l}$  + kovarianční matice  $\underline{C}_{\Delta l}$

$\underline{\Delta l} = \underline{D} \underline{l}$  ...  $\underline{D}$  je diferenciací operátor

$$\underline{C}_{\Delta l} = \underline{D} \cdot \underline{C}_l \cdot \underline{D}^T \dots \text{propagace chyb}$$

- takže jsou určitelné matematické korelace
- horší situace je s tzv. fyzikálními korelacemi, které

souvisí s měřením a vlivem atmosféry na GPS data  $\Rightarrow$

určit kompletní kovarianční matici  $\underline{C}_l$  je velmi obtížné  
(aproximace s vynikajícími výsledky)

## ŘEŠENÍ AMBIGUIT - PŘEHLED METOD

- fázová měření jsou limitována neznámým počtem vlnových délek mezi družici a stanicí ... tzv. ambiguita
- řešení ambiguit je jeden z hlavních problémů při geodetickém využití GPS technologie
- přehled hlavních metod řešení ambiguit:
  - a) geometrická metoda
  - b) kombinace kódových a fázových měření
  - c) metody hledání ambiguit
  - d) kombinované metody.

- v současnosti je metoda c) považována za nejlepší

## ŘEŠENÍ AMBIGUIT GEOMETRICKOU METODOU

- změna vzájemné polohy družice a stanice - Dopplerův efekt
- určení polohy stanice z Dopplerova efektu, napočítání vzdálenosti družice - stanice a porovnáním s fázovými daty se určí ambiguita
- řešená hodnota je reálné číslo, pokud je blízko celému číslu - zaokrouhlení, metoda velmi účinná pro krátké základny
- výhody: jednoduchý model, pracuje s málo družicemi, možno aplikovat na krátké základny ('fixed' řešení) i dlouhé základny ('float' řešení)
- nevýhody: nutnost dlouhých observací, vliv nemodelovatelných efektů (atmosféra, dráhy), ambiguity mají být celá čísla, vliv fázových skoků

# ŘEŠENÍ AMBIGUIT KOMBINACÍ KÓDOVÝCH A FÁZOVÝCH DAT

- kombinace fázových a kódových dat

$$\mu - \Phi = \lambda N + d\varepsilon$$

Eda  $d\varepsilon$  je zbytková chyba (nutno určit)

- problém: kódová data mají mnohem vyšší hladinu šumu  $\Rightarrow$   
 $\Rightarrow$  měření nutno opakovat dočud šum překlesne pod  $\lambda/2$ !
- metoda je dnes často používána: kinematika na trati vzdálenosti
- výhody: nezávislost na geometrii, kinematické aplikace, účinná i na dlouhých základnách
- nevýhody: citlivost na 'multipath', nezbytnost dvoufrekvenčního přijímače, pouze 'wide-lane' kombinace  
 $N_{1,-1} = N_1 - N_2$  je řešitelná

## ŘEŠENÍ AMBIGUIT METODOU HLEDÁNÍ

- nejprve se určí reálná ambiguita (float) a pak se pomocí optimalizačních technik hledá celočíselné řešení (fixed)
  - různé metody (FARA, LAMBDA, FAST, OMEGA aj.)
  - obecně algoritmy hledají řešení v předem definované oblasti
  - problémem je rychle rostoucí počet numerických operací =>  
=> přibližné metody musí být použity
  - výhody: rychlá aplikace, použití v kinematických metodách, využití apriorní informace ambiguita je celočíselná
  - nevýhoda: citlivost na systematické chyby, měření na mnoho družic zlepšuje účinnost
- v současnosti nejlepší metoda!