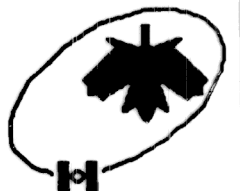


CYCLE SLIPS

FAZOVE SKOKY



## FAZOVÉ SKOKY (CYCLE SLIPS)

- fázový skok se objeví při přerušení příjmu signálu v přijímači
- příčiny mohou být závislé na měření (přetížka, hladina šumu,

nízký elevační úhel) či závislé na přijímači (slabý signál - interference,

sklon antény u kinematických aplikací, zpracování měření)

- fázový skok = náhlý skok ve fázových datech, který musí být buď vyřešen (opraven) či nová ambiguita musí být řešena

- dva aspekty: detekce fázových skoků (dvojnásobná a trojnásobná diference)

a) oprava fázových skoků

- metody (dle použitých dat):

- a) dvojnásobná diference a rychlosti b) ionosférické opravy
- c) kombinace kódových a fázových dat d) kinematické data

## ANALYZOVANÁ DATA PRO DETEKCI FÁZOVÝCH SKOKŮ

- fázové skoky lze nejlépe hledat v časových řadách těchto dat :

a) porovnání dvojných diferencí a napočtených vzdáleností : vzdálenost napočtená ze souřadnic (nutno znát) je porovnána s dvojnými diferencemi ; funguje i v případě jednofrekvenčních přijímačů ; citlivost na šum

b) **analýza ionosférických úprav** : analýza rozdílu mezi signály L1 a L2 , který závisí pouze na ionosféře ; není nutná znalost souřadnic

c) kombinace **kódových a fázových dat** : analýza rozdílu kódových a fázových dat , který závisí pouze na ambiguitě ; použitelné pouze pro přijímače s nízkou hladinou šumu kódových dat

d) kinematické metody : moderní přijímače umožňují určení fázových skoků z redundance měřených dat ( více družic , dvě nosné vlny )  
různé metody dle aplikace a typu přijímače

## DATOVÝ FORMÁT RINEX

- každý přijímač produkuje data v různém binárním formátu =>
- => komplikace pro výměnu a zpracování dat z různých přijímačů
- Řešení: ASCII formát RINEX (Receiver Independent Exchange Format)
- vypracován na univerzitě v Bernu (Gurtner 1989)
- většina výrobců poskytuje program pro převod dat do formátu RINEX
- RINEX definuje 3 základní hodnoty: čas, pseudovzdálenost, fáze
- RINEX se sestává ze 3 ASCII souborů: observační data, meteorologická data, navigační zpráva
- každý soubor obsahuje hlavičku (header) a vlastní data
- mnoho verzí (GLONASS data v roce 1998 aj.)
- hlavní aplikace formátu RINEX: *postprocessing*

## Příklad navigační zprávy ve formátu RINEX

```

-----1|0-----2|0-----3|0-----4|0-----5|0-----6|0-----7|0-----8|
2.10          N: GPS NAV DATA          RINEX VERSION / TYPE
XXRINEXN V2.10      AIUB                  3-SEP-99 15:22      PGM / RUN BY / DATE
EXAMPLE OF VERSION 2.10 FORMAT          COMMENT
.1676D-07 .2235D-07 -.1192D-06 -.1192D-06      ION ALPHA
.1208D+06 .1310D+06 -.1310D+06 -.1966D+06      ION BETA
.133179128170D-06 .107469588780D-12 552960 1025 DELTA-UTC: A0,A1,T,W
13                                          LEAP SECONDS
                                          END OF HEADER
6 99 9 2 17 51 44.0 -.839701388031D-03 -.165982783074D-10 .000000000000D+00
.910000000000D+02 .934062500000D+02 .116040547840D-08 .162092304801D+00
.484101474285D-05 .626740418375D-02 .652112066746D-05 .515365489006D+04
.409904000000D+06 -.242143869400D-07 .329237003460D+00 -.596046447754D-07
.111541663136D+01 .326593750000D+03 .206958726335D+01 -.638312302555D-08
.307155651409D-09 .000000000000D+00 .102500000000D+04 .000000000000D+00
.000000000000D+00 .000000000000D+00 .000000000000D+00 .910000000000D+02
.406800000000D+06 .000000000000D+00
13 99 9 2 19 0 0.0 .490025617182D-03 .204636307899D-11 .000000000000D+00
.133000000000D+03 -.963125000000D+02 .146970407622D-08 .292961152146D+01
-.498816370964D-05 .200239347760D-02 .928156077862D-05 .515328476143D+04
.414000000000D+06 -.279396772385D-07 .243031939942D+01 -.558793544769D-07
.110192796930D+01 .271187500000D+03 -.232757915425D+01 -.619632953057D-08
-.785747015231D-11 .000000000000D+00 .102500000000D+04 .000000000000D+00
.000000000000D+00 .000000000000D+00 .000000000000D+00 .389000000000D+03
.410400000000D+06 .000000000000D+00

```

## Příklad meteorologických dat ve formátu RINEX

```

-----1|0-----2|0-----3|0-----4|0-----5|0-----6|0-----7|0-----8|
2.10          METEOROLOGICAL DATA      RINEX VERSION / TYPE
XXRINEXM V9.9      AIUB                  3-APR-96 00:10      PGM / RUN BY / DATE
EXAMPLE OF A MET DATA FILE          COMMENT
A 9080          MARKER NAME
3      PR      TD      HR              # / TYPES OF OBSERV
PAROSCIENTIFIC      740-16B          0.2      PR SENSOR MOD/TYP/ACC
HAENNI              0.1      TD SENSOR MOD/TYP/ACC
ROTRONIC            I-240W          5.0      HR SENSOR MOD/TYP/ACC
0.0              0.0              0.0      1234.5678 PR SENSOR POS XYZ/H
                                          END OF HEADER
96 4 1 0 0 15 987.1 10.6 89.5
96 4 1 0 0 30 987.2 10.9 90.0
96 4 1 0 0 45 987.1 11.6 89.0

```

# Příklad měřených dat ve formátu RINEX

-----1|0-----2|0-----3|0-----4|0-----5|0-----6|0-----7|0-----8|

2.10 OBSERVATION DATA M (MIXED)  
 BLANK OR G = GPS, R = GLONASS, T = TRANSIT, M = MIXED  
 XXRINEXO V9.9 AIUB 24-MAR-01 14:43  
 EXAMPLE OF A MIXED RINEX FILE  
 A 9080

RINEX VERSION / TYPE  
 COMMENT  
 PGM / RUN BY / DATE  
 COMMENT  
 MARKER NAME  
 MARKER NUMBER  
 OBSERVER / AGENCY  
 REC # / TYPE / VERS  
 ANT # / TYPE  
 APPROX POSITION XYZ  
 ANTENNA: DELTA H/E/N  
 WAVELENGTH FACT L1/2  
 WAVELENGTH FACT L1/2  
 RCV CLOCK OFFS APPL  
 # / TYPES OF OBSERV  
 INTERVAL  
 TIME OF FIRST OBS  
 END OF HEADER

9080.1.34  
 BILL SMITH ABC INSTITUTE  
 X1234A123 XX ZZZ  
 234 YY  
 4375274. 587466. 4589095.  
 .9030 .0000 .0000  
 1 1  
 1 2 6 G14 G15 G16 G17 G18 G19  
 0  
 4 P1 L1 L2 P2  
 18.000  
 2001 3 24 13 10 36.0000000

-.123456789

01 3 24 13 10 36.0000000 0 3G12G 9G 6  
 23629347.915 .300 8 -.353 23629364.158  
 20891534.648 -.120 9 -.358 20891541.292  
 20607600.189 -.430 9 .394 20607605.848  
 01 3 24 13 10 50.0000000 4 4

WAVELENGTH FACT L1/2  
 COMMENT  
 COMMENT  
 COMMENT

\*\*\* WAVELENGTH FACTOR CHANGED FOR 2 SATELLITES \*\*\*  
 NOW 8 SATELLITES HAVE WL FACT 1 AND 2!

01 3 24 13 10 54.0000000 0 5G12G 9G 6R21R22  
 23619095.450 -53875.632 8 -41981.375 23619112.008  
 20886075.667 -28688.027 9 -22354.535 20886082.101  
 20611072.689 18247.789 9 14219.770 20611078.410  
 21345678.576 12345.567 5  
 22123456.789 23456.789 5

-.123456789

01 3 24 13 11 0.0000000 2 1  
 \*\*\* FROM NOW ON KINEMATIC DATA! \*\*\*

COMMENT

01 3 24 13 11 48.0000000 0 4G16G12G 9G 6  
 21110991.756 16119.980 7 12560.510 21110998.441  
 23588424.398 -215050.557 6 -167571.734 23588439.570  
 20869878.790 -113803.187 8 -88677.926 20869884.938  
 20621643.727 73797.462 7 57505.177 20621649.276  
 3 4

-.123456789

A 9080

MARKER NAME  
 MARKER NUMBER  
 ANTENNA: DELTA H/E/N  
 COMMENT

9080.1.34  
 .9030 .0000 .0000  
 --> THIS IS THE START OF A NEW SITE <--  
 01 3 24 13 12 6.0000000 0 4G16G12G 6G 9  
 21112589.384 24515.877 6 19102.763 3 21112596.187  
 23578228.338 -268624.234 7 -209317.284 4 23578244.398  
 20625218.088 92581.207 7 72141.846 4 20625223.795  
 20864539.693 -141858.836 8 -110539.435 5 20864545.943  
 01 3 24 13 13 1.2345678 5 0  
 4 1

-.123456987

(AN EVENT FLAG WITH SIGNIFICANT EPOCH)

COMMENT

01 3 24 13 14 12.0000000 0 4G16G12G 9G 6  
 21124965.133 89551.30216 69779.62654 21124972.2754  
 23507272.372 -212616.150 7 -165674.789 5 23507288.421  
 20828010.354 -333820.093 6 -260119.395 5 20828017.129  
 20650944.902 227775.130 7 177487.651 4 20650950.363  
 4 1

-.123456012

\*\*\* ANTISPOOFING ON G 16 AND LOST LOCK

COMMENT

-----1|0-----2|0-----3|0-----4|0-----5|0-----6|0-----7|0-----8|

## MĚŘENÍ A ZPRACOVÁNÍ GPS DAT

- základní metody :

a) určení polohy jedné stanice (POINT) - nízká přesnost pro geodézii

b) určení vektoru základny (RELATIVE) - měření a zpracování dat

ze dvou přijímačů, výsledkem je  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$  a kovarianční matice, základny možno kombinovat do jednoho vyrovnání řítě bodů

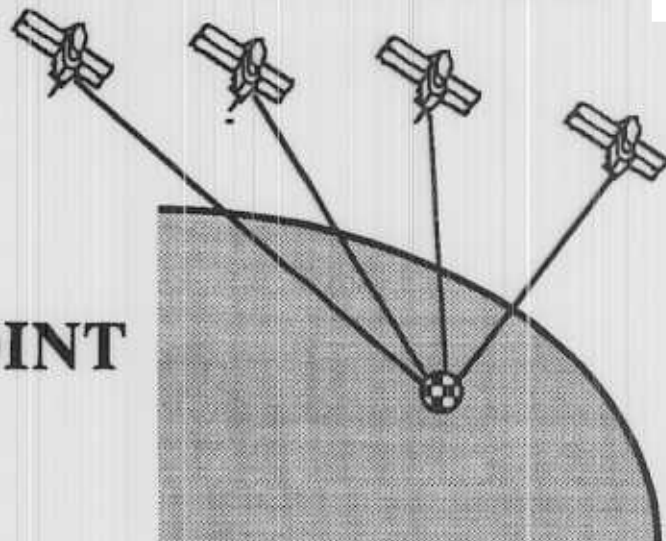
c) určení řítě bodů (NETWORK) - data ze 3 a více stanic jsou

zpracovány současně, výsledkem jsou přímo souřadnice stanic a příslušná kovarianční matice, metoda preferovaná v geodézii,

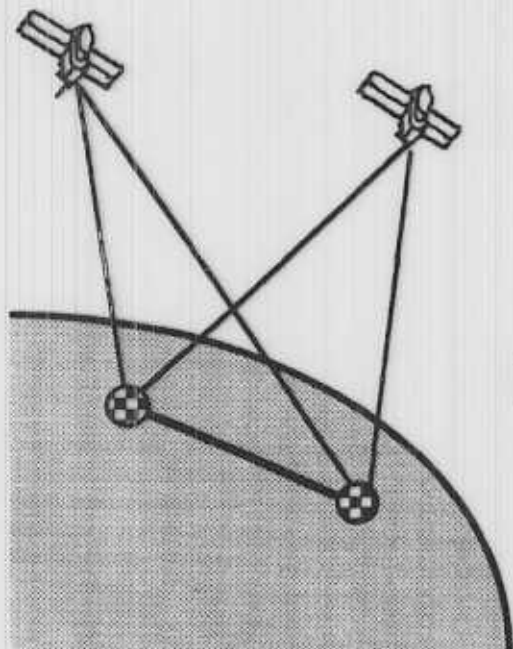
zpracování řítě měření v jedné či více seancích (session) :

kombinace přes společné stanice a kovarianční matice,

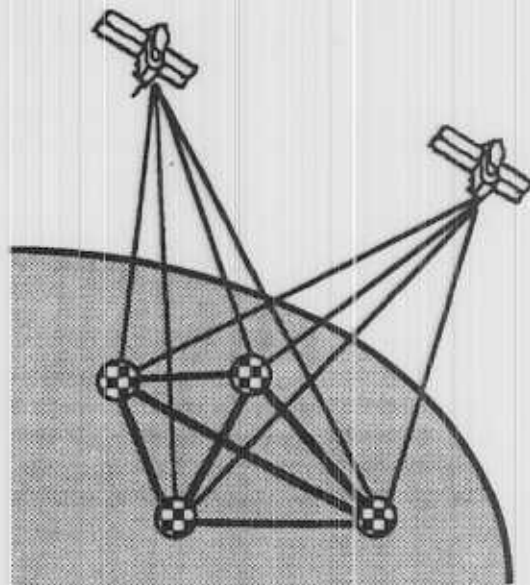
porovnání řešení z jednotlivých seancí - odhady přesnosti



**POINT**



**RELATIVE**

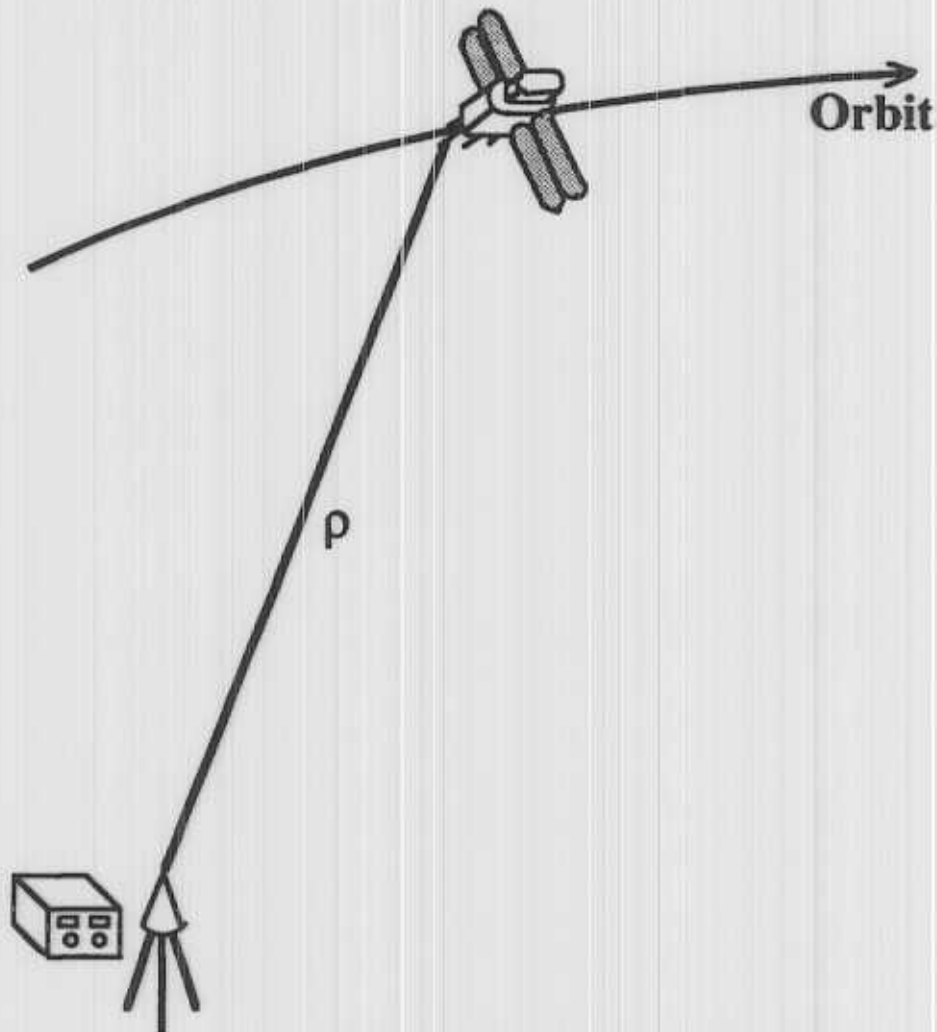


**NETWORK**





## POINT POSITIONING USING PSEUDO-RANGES



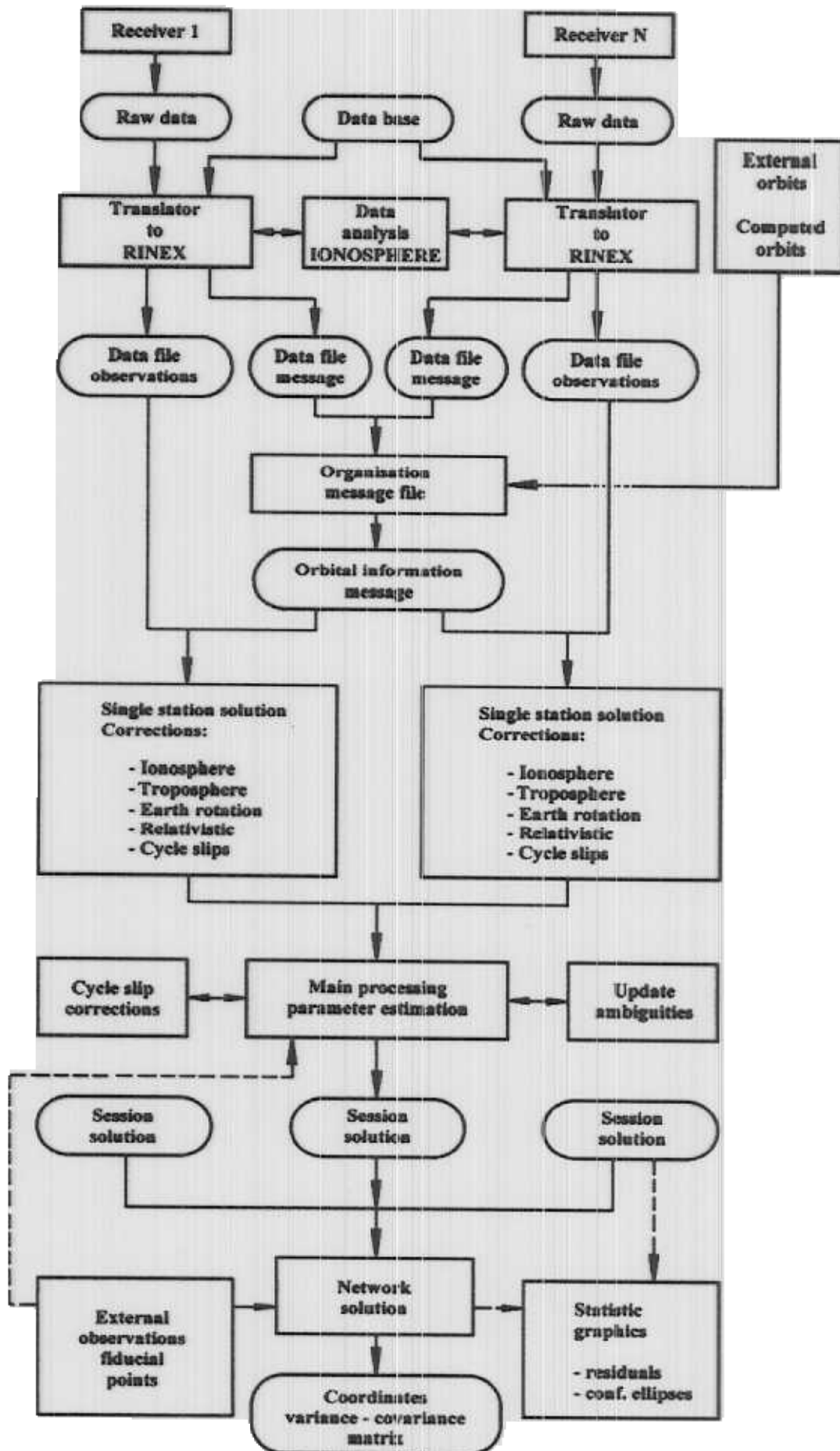
Observation equation for pseudo-range:

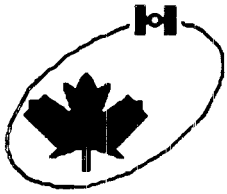
$$p = \rho + c(dt - dT) + d_{\text{ion}} + d_{\text{trop}}$$

Observation equation for carrier phase:

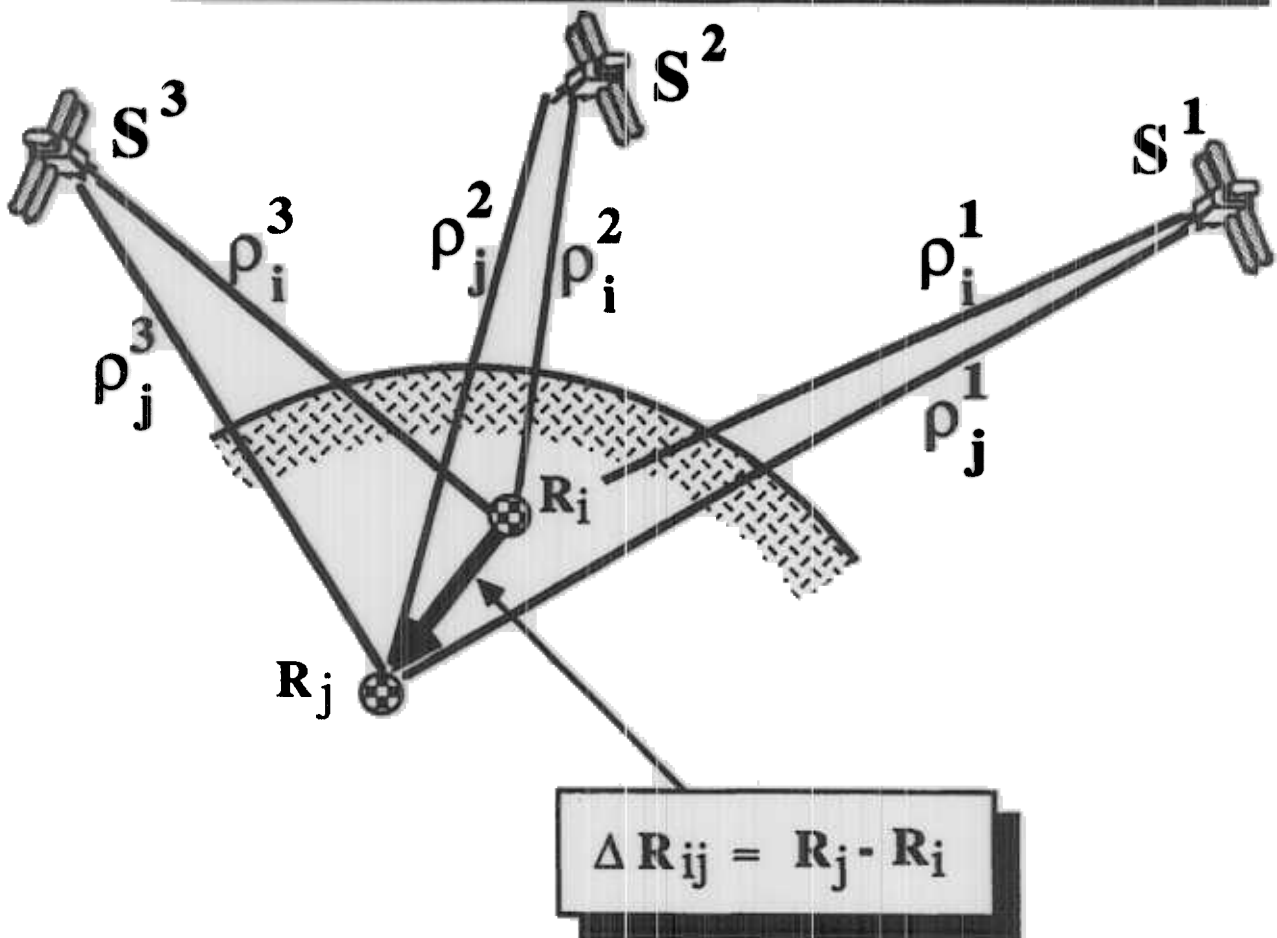
$$\Phi = \rho + c(dt - dT) + \lambda N - d_{\text{ion}} + d_{\text{trop}}$$

# STRUKTURA GPS SOFTWARE





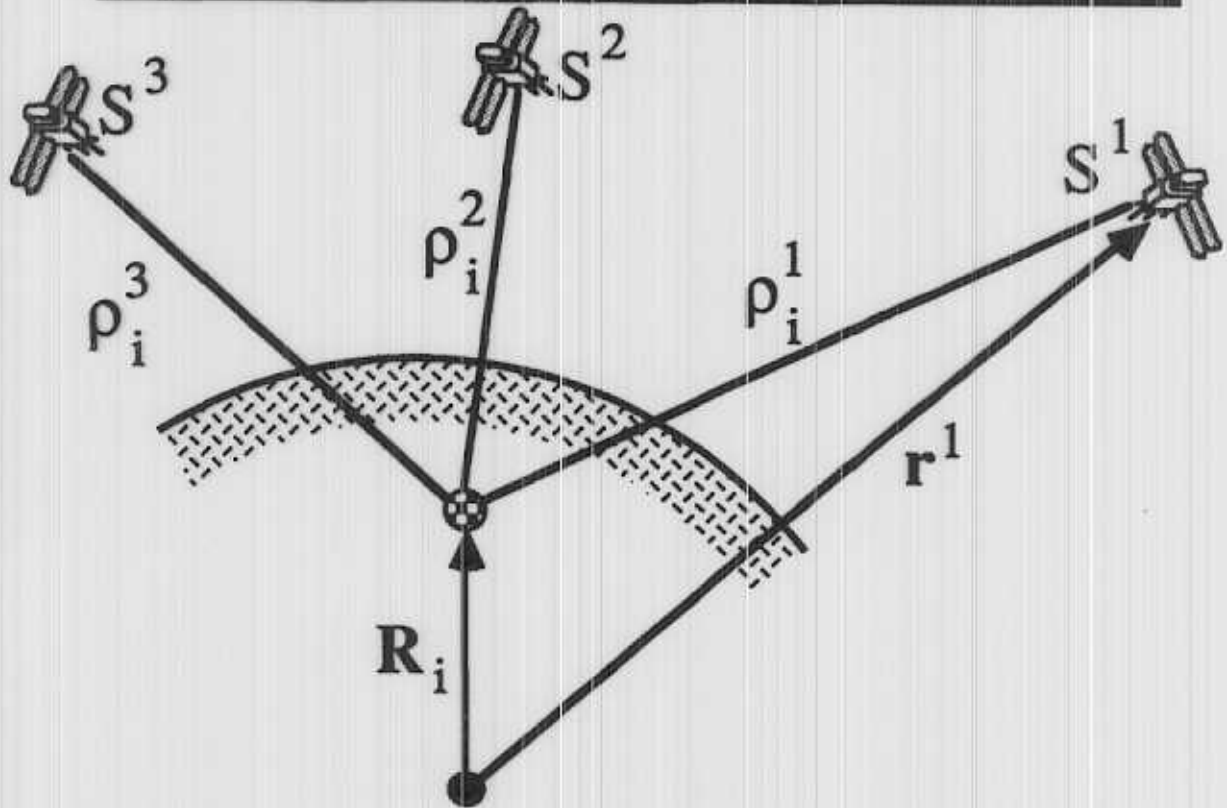
# RELATIVE POSITIONING USING PSEUDO-RANGES



**Relative positions  $\Delta R_{ij}$  are determined more accurately than "absolute" positions  $R_i$  and  $R_j$ , since several sources of error will be common at both receivers, and will cancel.**



# SATELLITE MULTI-RANGING



## SCALAR EQUATION

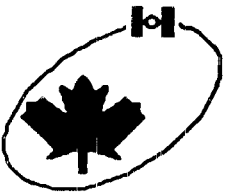
$$\rho_i^j = \| \mathbf{r}^j - \mathbf{R}_i \|$$

Measure LENGTHS  $\rho_i^j$   
to all satellites simultaneously

## LIMITATIONS

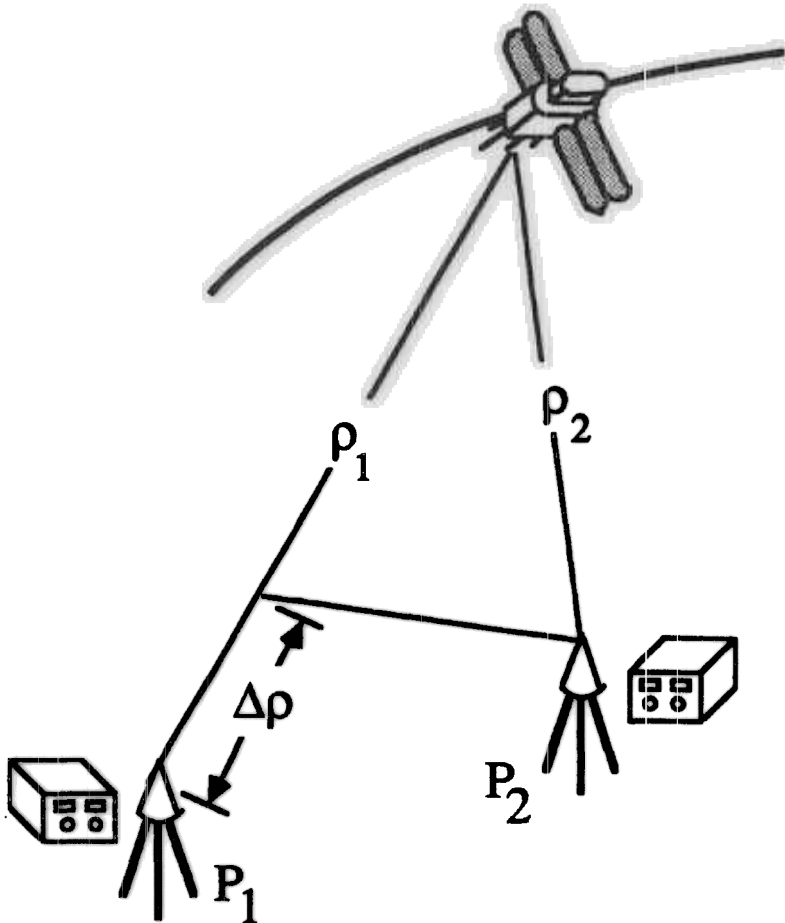
Any error in  $\mathbf{r}^j$  will result in an error in  $\mathbf{R}_i$

Propagation errors will cause errors in  $\rho_i^j$



# RELATIVE POSITIONING USING PHASE MEASUREMENTS

10.08



$$\Delta dt \doteq 0$$

(same satellite  
clock error in both  
observations)

$$\Delta dp \doteq 0$$

(effect of  
ephemerides  
inaccuracies almost  
identical in both  
observations)

Observation equations:

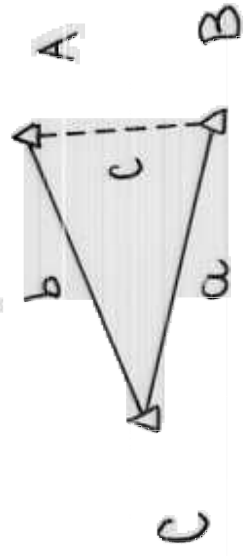
$$\Delta p = \Delta \rho - c \Delta dT + \Delta d_{ion} + \Delta d_{trop} \quad (\text{code})$$

$$\Delta \Phi = \Delta \rho - c \Delta dT - \Delta d_{ion} + \Delta d_{trop} + \Delta N \quad (\text{carrier phase})$$

## VYROVNÁNÍ ZÁKLADEN V SÍTI BODŮ

- v síti  $n$  bodů je  $n(n-1)/2$  možných základem, ale jen  $(n-1)$  je nezávislých
- při vyrovnání sítě bodů pomocí základem je nutné použít pouze nezávislé základny (trivial baselines)
- při jejich výběru lze použít různá kritéria (díla základem, množství dat atd.)

- pokud má být vyrovnání rigorózní, stochastická informace musí být použita (často nemožné - pečlivé váhování a deteklace mohou zlepšit řešení)



$a, b \dots$  nezávislé základny  
 $c \dots$  trivial baseline

(může být odvozena z  $a, b$ )

## GPS SOFTWARE

- obecné dělení :

a) firmitní software : poskytovaný výrobcí přijímačů, pouze 'executables', některé dokonce čist RINEX, vhodný pro praktické měření, jednoduchá obsluha, statické a kinematické aplikace, plánování sezení, příklad: SKI-Pro (Zeica), TGO (Trimble), Pinnacle (Topcon)

b) vědecký software : univerzální použití a nejvyšší přesnost, vyvíjen na univerzitách a vědeckých pracovištích, využití pro nejvyšší možnou přesnost, výzkum a vzdělávání, k dispozici bývalá zdrojový kód, nároky na znalost a zkušenost obsluhy, nepříliš vhodný pro denní měření, příklad : BERNESE, GEONAP, GIPSY - OASIS

ČR : mnoho typů firemního software + BERNESE