

# POKROČILÉ METODY LOKALIZACE A NAVIGACE

## 05 PŘEDZPRACOVÁNÍ OBSERVACÍ, ŘEŠENÍ AMBIGUIT

doc. Ing. Michal Kačmařík, Ph.D.



Financováno  
Evropskou unií  
NextGenerationEU



Národní  
plán  
obnovy



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

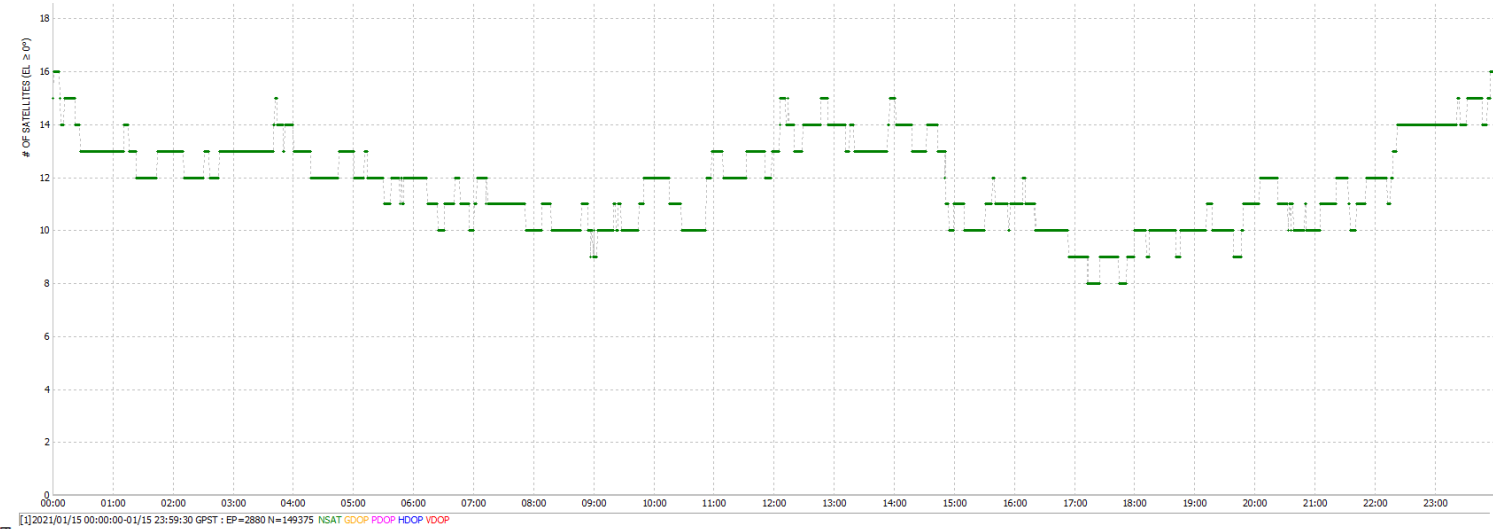
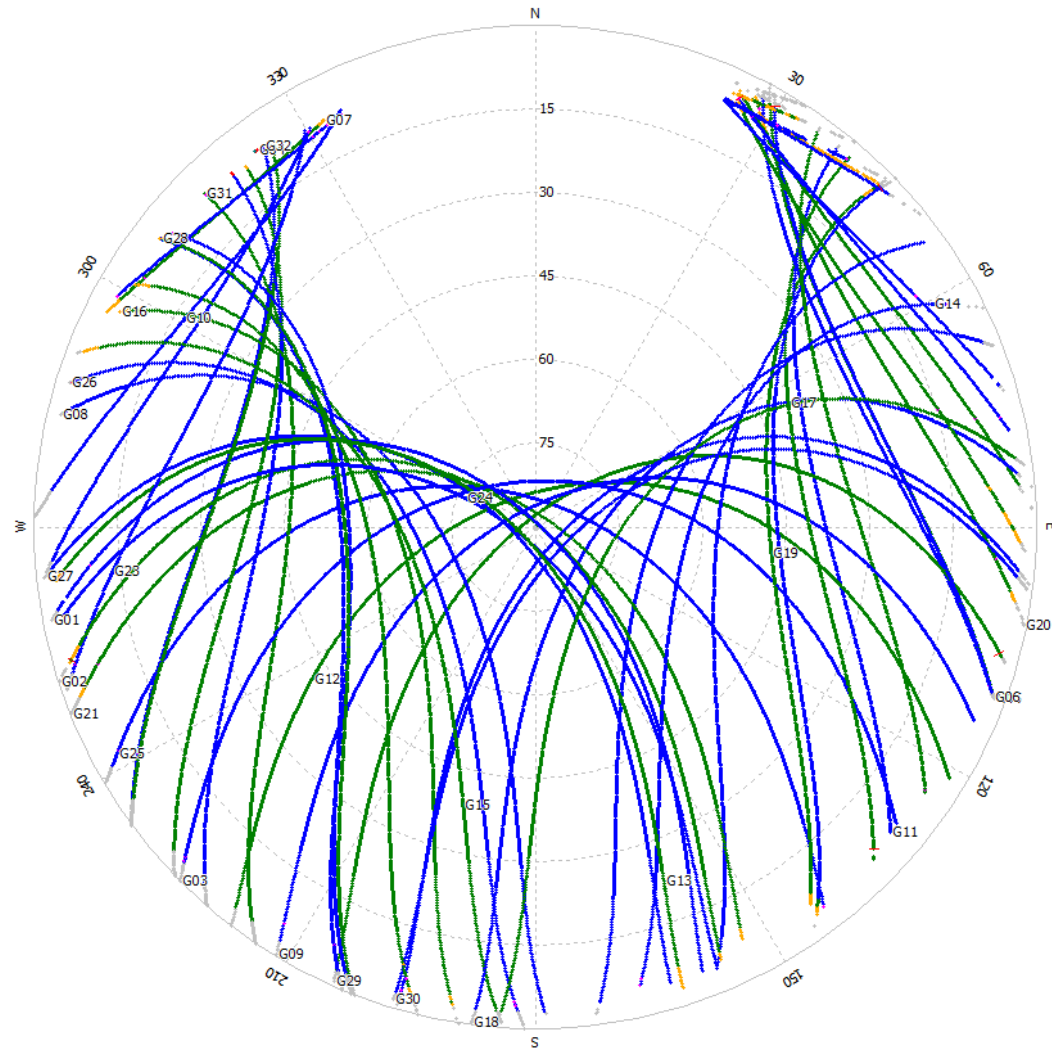
- Předzpracování observací, fázový skok
- Řešení ambiguit

- On-line observace distribuovány v reálném čase (RT) s využitím NTRIP a obvykle RTCM protokolu
- Off-line observace ukládány v nativních formátech výrobců přijímačů nebo ve výměnném formátu RINEX, standardně dostupné skrz https, ftp (viz např. <https://igs.bkg.bund.de/>)
- observační data z řady GNSS referenčních stanic jsou zdarma volně dostupné (sítě EUREF EPN, IGS)

# Import RINEX, statistiky observací

- Některé software pro post-processing GNSS měření vyžadují import observací (z formátu RINEX) do jimi nativně používaného formátu, často binárního
- import obvykle doprovází volba výběru observací, které se mají importovat (frekvence, časový interval, atd.) a kontrola údajů hlavičky RINEX souboru (důležitý je zejména typ přijímače a antény)
- po načtení/importu observací máme většinou možnost zobrazit si tabelizované či grafické statistiky o provedených observacích

# Statistiky observací – RTKLIB (RTKPLOT)



počet observovaných družic

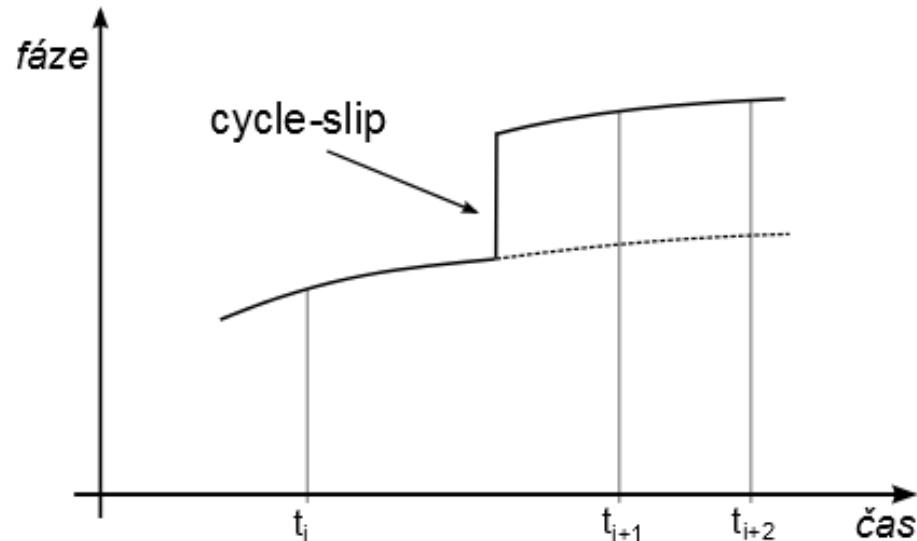
# Identifikace a označení problematických observací

- observace nejsou ze souborů odstraněny, jen označeny a dále případně vynechány ze zpracování
- typicky se jedná o tyto typy observací:
  - odlehlé observace (detekovány na základě výpočtu rozdílu observací mezi po sobě následujícími epochami a stanovené prahové hodnoty rozdílu)
  - observace ke družicím, jejichž signály byly pro určitý časový interval označeny za problematické (Satellite Problem File, CRX)
  - observace pod stanoveným mezním elevačním úhlem
  - nepárové observace na dvou frekvencích (např. pro danou epochu je k dispozici observace na frekvenci L1, ale není na L2 a opačně)
  - observace pokrývající kratší časový interval než je stanovený práh
  - observace mezi 2 ambiguitami pokrývající kratší časový interval než je práh

- angl. cycle-slip
- po zapnutí přijímače GNSS dochází k určení zbytkové části vlnové délky signálu (porovnáním přijaté vlny s replikou signálu generovanou přijímačem) a vynulování počítadla přírůstku počtu celých vln
- vždy když zbytková část vlny přesáhne  $2\pi$ , počítadlo přičte či odečte 1 vlnu a zbytková část přechází na aktuální hodnotu v rozsahu 0 až  $2\pi$
- v určité epoše je tedy geometrická vzdálenost mezi družicí a přijímačem dána součtem počátečního celočíselného počtu vln (ambiguity), stavu počítadla celých vln a aktuální hodnotou zbytkové části vlny

# Fázový skok

- ambiguita zůstává konstantní dokud nedojde k (dočasné) ztrátě kontinuálního příjmu signálu => v tom případě je počítadlo celých vln vynulováno a dochází ke skoku mezi jeho poslední platnou hodnotou a hodnotou platnou pro aktuální observaci po zahájení opětovného příjmu signálu
- cycle-slip se týká pouze fázových měření!





# Co způsobuje fázový skok

- Překážky v přímé viditelnosti mezi anténou přijímače a družicí (zeleň, budova, apod.) – nejčastější důvod, objevuje se zejména u kinematických řešení, kdy se přijímač pohybuje
- nízká síla signálu (poměr síly signálu k šumu) vlivem výrazné aktuální aktivity ionosféry, multipath, nízkého elevačního úhlu družice
- chyba ve zpracovávajícím software přijímače

- v závislosti na typu přijímače, metodě měření, popřípadě metodě post-processingu měření -> různé algoritmy realizované v různých přijímačích/softwarech pro zpracování
- používají se surová fázová měření a hlavně kombinace signálů (kombinace fázových měření, kombinace fázových a kódových měření, kombinace fázových a dopplerovských měření) – existují algoritmy pro jedno i dvou frekvenční měření
- v případě přístupu k měřením z více přijímačů jsou k detekci cycle-slip používány difference observací (jednoduché, dvojité i trojitě)

# Detekování cycle-slip: 1 frekvence

- Algoritmy pro detekci cycle-slip při jedno-frekvenčních měřeních jsou obvykle založené na výpočtu **rozdílu mezi kombinovanými observacemi ze dvou po sobě následujících epoch a výpočtu predikce tohoto rozdílu**
- pokud rozdíl mezi skutečnou a predikovanou dvojicí přesáhne určitou hraniční hodnotu, je druhá observace dvojice observace označena jako zdroj cycle-slip
- predikce může být vypočítávána proložením polynomické funkce z N observací v časově plovoucím okně či na základě průměru rozdílů v obdobném plovoucím okně – cílem je vyhlazení šumu měření
- N = řádově několik málo stovek observací při 1 s intervalu měření
- konkrétní realizace algoritmu mohou dosahovat různé míry komplexnosti

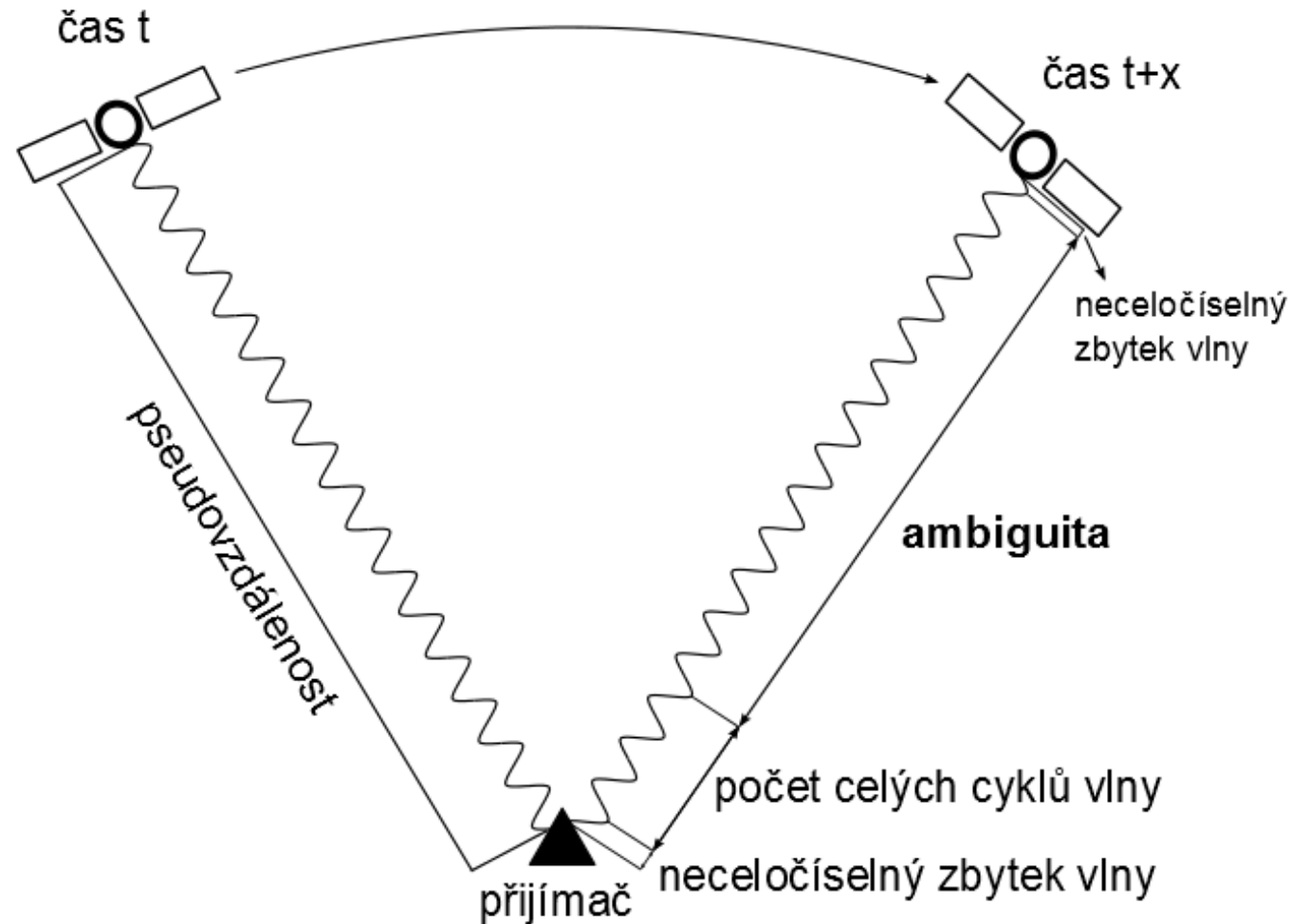
## Detekování cycle-slip: 2 frekvence

- Použití 2 či více frekvencí zvyšuje spolehlivost korektní detekce cycle-slip
- využívají se lineární kombinace signálu, které odstraňují vliv geometrie a další nedisperzivní vlivy (chyby hodin, troposféra, apod.) a případně i vliv ionosféry (ten může být modelován)
- jelikož cycle-slip se může objevit na každé frekvenci zvlášť, je potřeba používat dvě nezávislé lineární kombinace
- typicky se využívá lineární kombinace prostá geometrie (geometry-free) či kombinace fázových a kódových měření v podobě Melbourne-Wübbena lin. kombinace

# Řešení cycle-slip

- oprava cycle-slip = vyžaduje znalost velikosti cycle-slip (počtu celých vln skoku), je možné ji do měření zanést okamžitě
- re-inicializace ambiguity = jistější řešení, vyžaduje však určení nově zavedené ambiguity => časově i výpočetně náročné
- při opravách cycle-slip při měření v reálném čase mohou výrazně pomoci i data z externích zdrojů, například z inerciálního navigačního systému

- Celočíselný násobek počtu nosných vln mezi družicí a přijímačem (typicky označován  $N$ )



# Ambiguity a jejich řešení

- vyřešení ambiguity = fixování ambiguity = určení celočíselného počtu vln je zásadní pro dosažení vysoké přesnosti měření (cm)
- provádí se numerickými metodami
- chyba v určení ambiguity o velikosti 1 cyklu vlny může vyústit v chybu určení polohy přijímače v řádu několika dm (GPS L1 = 19 cm, GPS L2 = 24.5 cm)
- hodnota ambiguity zůstává neměnná dokud je družice kontinuálně observována = dokud nedojde k cycle-slip => posléze je nutné ji znovu určit

# Ambiguity a dvojité difference

- pro vyřešení ambiguit se standardně používají dvojité-diferenciované (DD) observace, jelikož v jejich případě si ambiguity zachovávají svůj celočíselný charakter
- ambiguity nediferenciovaných observací jsou zatíženy nekalibrovanými fázovými zpožděními (UPD) a tudíž nemají celočíselný charakter a bez opravy těchto zpoždění nemohou být fixovány (více prezentace č. 4)
- pokud jsou UPD stanoveny, mohou být ambiguity pro nediferenciované observace vyřešeny stejnými technikami používanými pro vyřešení ambiguit DD observací



# Ambiguity a délka základny

- délka základny (angl. baseline) mezi 2 přijímači pro vytvoření DD observací hraje významnou roli při řešení ambiguit
- v případě krátkých základen ( $< 20$  km) formováním DD observací z měření kromě chyb hodin obvykle výrazně eliminujeme i vliv ionosféry a troposféry, čímž se zjednodušuje observační model a zvyšuje pravděpodobnost korektního určení ambiguit
- se vzrůstající délkou základny je potřeba z měření eliminovat i vlivy ionosféry a troposféry například jejich modelováním => případné chyby v kvantifikování těchto vlivů se přenesou do určení ambiguit a výsledných souřadnic místa měření
- z tohoto důvodu je délka základny hlavním omezením klasických diferenčních technik GNSS (RTK, PPK, atd.)

# Ambiguity a konstelace družic + délka observací

- platí obecné pravidlo = čím vyšší počet viditelných družic, tím nižší hodnoty DOP, tím lepší výchozí situace pro řešení ambiguit
- pro vyřešení ambiguit je potřeba observování po určitou dobu – informace obsažená ve fázových měřeních je funkcí času a je tudíž pevně spjata s pohybem družice
- příklad 2 měření:
  - observace sbírány v 15s intervalu po dobu 1 hod (240 obs.)
  - observace sbírány v 1s intervalu po dobu 4 minut (240 obs.)
- data z prvního příkladu mají vyšší šanci na vyřešení ambiguit

# Ambiguity a délka observací

- Při řešení ambiguit přijímáme jednu družici jako referenční a vůči ní konstruujeme jednu diferencovanou (SD – 1 přijímač, 2 družice) a následně DD observace
- při kratších dobách observace/kratší délce základny jsou k dispozici družice, které byly observovány po celou dobu = jednu z nich využijeme jako referenční
- se vzrůstající dobou observace a délkou základny bude pravděpodobnost výskytu takovéto družice v datech klesat => jako referenční se typicky použije ta, pro níž je k dispozici nejvíce observací
- při velmi dlouhých základnách (tisíce km) se mohou vyskytovat periody, kdy byly na obou přijímačích observovány pouze jedna či dvě společné družice

# Řešení ambiguit

- Samotnému stanovení celočíselných ambiguit předchází určení ambiguit v podobě reálných čísel, které slouží jako výchozí bod pro určení jejich celočíselných hodnot
- toto určení je provedeno při společném odhadu neznámých parametrů z observací (souřadnice, atd.)
- řešení založené na ambiguitách v podobě reálných čísel je označováno pojmem **float** a poskytuje v danou chvíli nej přesněji dosažitelné souřadnice místa měření
- pokud bude délka základny malá (např. 5 km) a doba observace dlouhá (např. 1 h), budou float ambiguities velmi blízké celým číslům a souřadnice místa měření se fixováním ambiguit pravděpodobně příliš nezmění
- se zkracující se dobou observace bude mít vyřešení ambiguit mnohem větší vliv na přesnost určení souřadnic, ale zároveň se bude stávat obtížnějším

- Obecně se sestává ze tří kroků:
  1. vygenerování potencionálních kombinací řešení ambiguit z dostupných observací na základě zvolené velikosti okolí (kombinace = obsahuje ambiguitu pro každou DD observaci)
  2. identifikace korektní kombinace řešení ambiguit
  3. verifikace vybrané kombinace řešení – nejlepší kombinace by měla mít výrazně lepší hodnocení než kombinace následující v pořadí
- toto obecné řešení popisuje jednoduchý způsob řešení ambiguit, který není z mnoha důvodů ideální – řada existujících algoritmů pro řešení ambiguit z něj však vychází a snaží se odstraňovat jeho nedostatky (časová náročnost, potřebná doba observace, validace řešení, atd.)

# 1. Určení potencionálních kombinací

- Stanovujeme vyhledávací oblast
- její velikost je dána nejistotou určení souřadnic místa měření, které máme před řešením ambiguit k dispozici\* => skutečná poloha antény přijímače musí být uvnitř vyhledávací oblasti
- větší vyhledávací oblast znamená větší jistotu pro nalezení skutečně správné kombinace ambiguit, ale také znamená větší počet kombinací vstupujících do řešení a tudíž delší čas potřebný pro celé řešení
- problematické zejména u kinematických měření, kdy potřebujeme rychle vyřešit ambiguity a přitom většinou máme nepřesné vstupní souřadnice

\* souřadnice získané ze známých přesných souřadnic nebo z float ambiguity řešení či pouze na základě kódových měření

# Stanovení vyhledávací oblasti

- Přímočarým postupem pro určení vyhledávací oblasti je použití float ambiguity
- například pokud byla float ambiguity odhadnuta na 87 457 341.88 cyklů se směrodatnou odchylkou SDEV = 0.3 cyklu, můžeme využít statistického pravidla  $\pm 3$  SDEV, což povede k možným integer hodnotám ambiguity v rozsahu 87 457 340 až 87 457 343 cyklů
- tento proces je zopakován pro každou DD observaci a výsledkem je soustava všech potencionálních kombinací
- počet potencionálních kombinací je dán počtem observovaných družic a velikostí oblasti, kterou chceme využít, abychom statisticky zvýšili jistotu, že v ní bude korektní integer ambiguity ( $\pm 3$  SDEV,  $\pm 5$  SDEV, apod.)
- příklad:
  - je observováno 6 družic, musíme při použití DD určit 5 ambiguity
  - pokud bude rozsah pro vyhledávání roven 3 cyklům, bude celkový počet kombinací  $3^5 = 243$
  - pokud bude rozsah pro vyhledávání roven 5 cyklům, bude celkový počet kombinací  $5^5 = 3\,125$

## 2. Identifikace korektní kombinace řešení ambiguit

- Kritériem výběru je u řady technik pro řešení ambiguit minimalizace sumy druhé mocniny post-fit residuí
- post-fit residuum reprezentuje rozdíl mezi observací změřenou (observace např. v RINEXu) a observací adjustovanou (opravenou o vlivy na měření)
- získáváme jej pro všechny observace vstupující do řešení (typicky metodou nejmenších čtverců), které slouží pro stanovení neznámých parametrů z měření (souřadnice, atd.)
- poté, co jsou v 1. kroku řešení ambiguit stanoveny všechny potencionální kombinace, provádíme pro všechny kombinace určení neznámých parametrů z observací, přičemž ambiguity v daných kombinacích fixujeme na jejich odhadnuté hodnoty



## 2. Identifikace korektní kombinace řešení ambiguit

- výsledkem jsou odhadnuté neznámé parametry (v tomto kroku typicky pouze souřadnice) a post-fit residua pro jednotlivé observace
- kombinace řešení s nejnižší sumou druhé mocniny všech post-fit residuí je ta kombinace, která nejvíce odpovídá získaným datům a tudíž je považována za tu správnou
- tato hypotéza je však problematická pokud je k dispozici malý počet družic (DD observace totiž nejsou nezávislé, ale jsou mezi sebou korelované)
- jsou dostupné techniky, které neprovádějí časově náročný odhad neznámých parametrů pro každou kombinaci ambiguit, ale stanovují vliv této kombinace na změnu post-fit residuí oproti residuům z float ambiguity řešení (residua z float ambiguity řešení budou vždy menší než residua z fixovaného řešení)
- dalším potenciálním problémem využití minimalizace sumy druhých mocnin post-fit residuí je, že v procesu stanovení parametrů metodou nejmenších čtverců předpokládáme, že post-residua mají normální rozdělení, což nemusí být reálně splněno

### 3. Verifikace vybrané kombinace řešení ambiguit

- Pro jednotlivé navržené kombinace získáváme sumu mocnin post-fit residuí a řešení s nejnižší sumou považujeme za to korektní
- rozdíl mezi sumou nejlepší kombinace a druhou nejlepší kombinací však musí být statisticky významný, abychom první kombinaci mohli považovat za skutečně správnou
- typicky se využívá tzv. ratio testu = výpočtu poměru mezi výsledkem druhé a první kombinace a stanovení mezní hodnoty pro tento poměr, která určuje, zdali je možno považovat nejlepší kombinaci za tu skutečně správnou
- mezní hodnota bývá v závislosti na korektním algoritmu typicky 2 – 3, suma mocnin residuí nejlepší kombinace tak musí být 2x až 3x menší než suma mocnin residuí druhé nejlepší kombinace
- pokud tato podmínka není splněna, fixování ambiguit nemůže být provedeno a využíváme prvotního float řešení

# 1. příklad řešení ambiguit

- Délka základny = 720 m, 6 družic bylo observováno po 10 minut
- využití DD, družice s PRN kódem 19 určena jako referenční
- s použitím metody nejmenších čtverců byly vypočteny float ambiguity:

| DD - PRN družic | Float ambiguity (cykly) |
|-----------------|-------------------------|
| 2 - 19          | 17 329 426.278          |
| 6 - 19          | 14 178 677.032          |
| 11 - 19         | 11 027 757.713          |
| 16 - 19         | -1 575 518.876          |
| 18 - 19         | -15 754 175.795         |

- se zavedením pravidla  $\mp 2$  cykly pro vyhledávání od nejbližší celé hodnoty získáváme pro každou ambiguitu 5 možností, což celkem vede u 6 družic ke 3 125 možným kombinacím ( $5^5$ )

# 1. příklad řešení ambiguit

- po vyřešení všech kombinací získáváme tři nejlepší řešení s nejnižší sumou mocnin residuí (SMR)

| DD - PRN<br>družic | 1. řešení (SMR =<br>0.044) | 2. řešení (SMR =<br>0.386) | 3. řešení (SMR=<br>0.453) |
|--------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|
| 2 - 19             | 17 329 426                 | 17 329 426                 | 17 329 426                |
| 6 - 19             | 14 178 677                 | 14 178 676                 | 14 178 678                |
| 11 - 19            | 11 027 758                 | 11 027 757                 | 11 027 759                |
| 16 - 19            | -1 575 519                 | -1 575 518                 | -1 575 520                |
| 18 - 19            | -15 754 176                | -15 754 176                | -15 754 176               |

- poměr SMR 1. a 2. řešení =  $0.386/0.044 = 8.77 >$  prahová hodnota 3  $\Rightarrow$  1. řešení považujeme za korektní a přijímáme jej

## 2. příklad řešení ambiguit

- Uvažujeme stejné měření = základna 720 m, 6 družic, ale tentokrát s délkou observace pouze 5 minut (původně 10 minut)
- float ambiguity:

| DD - PRN družic | Float ambiguity (cykly) |
|-----------------|-------------------------|
| 2 - 19          | 17 329 426.455          |
| 6 - 19          | 14 178 677.192          |
| 11 - 19         | 11 027 757.762          |
| 16 - 19         | -1 575 518.471          |
| 18 - 19         | -15 754 175.411         |

- totožné pravidlo  $\mp 2$  cykly  $\Rightarrow$  opět 3 125 možných kombinací ambiguit

## 2. příklad řešení ambiguit

- po vyřešení všech kombinací získáváme opět tři nejlepší řešení s nejnižší sumou mocnin residuí (SMR)

| DD - PRN<br>družic | 1. řešení (SMR =<br>0.137) | 2. řešení (SMR =<br>0.155) | 3. řešení (SMR=<br>0.230) |
|--------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|
| 2 - 19             | 17 329 425                 | 17 329 426                 | 17 329 426                |
| 6 - 19             | 14 178 675                 | 14 178 677                 | 14 178 675                |
| 11 - 19            | 11 027 757                 | 11 027 758                 | 11 027 756                |
| 16 - 19            | -1 575 516                 | -1 575 519                 | -1 575 518                |
| 18 - 19            | -15 754 175                | -15 754 176                | -15 754 175               |

- poměr SMR 1. a 2. řešení  $= 0.155/0.137 = 1.1 < \text{prahová hodnota } 3 \Rightarrow$  1. řešení nemůžeme považovat za správné a nepřijímáme jej
- 2. řešení z tohoto příkladu je totožné jako nejlepší řešení z prvního příkladu, které v něm bylo přijato jako správné  $\Rightarrow$  ukázka toho, že jednoduchá technika založená na poměru dvou nejlepších sum residuí není ideálním řešením

- Nejprůchoďnější postup:
  - observace jsou modelovány, linearizovány a vstupují do procesu odhadu neznámých parametrů
  - při prvním stanovení neznámých parametrů jsou ambiguity ponechány jako reálná čísla (do odhadovaných parametrů se promítnou chyby ze všech nemodelovaných vlivů)
  - ambiguita, jejíž reálné číslo se nejvíce blíží celočíselné hodnotě a jejíž standardizovaná chyba je nejnížší je zaokrouhlena na celé číslo a tím označena za vyřešenou
  - iterativně jsou opět určovány všechny neznámé parametry (tentokrát je již vždy o jeden neznámý parametr méně = určená ambiguita) a ambiguity jsou postupně fixovány
- tato technika poměrně spolehlivě funguje pro krátké základny
- nejkritičtějším faktorem je vliv ionosféry a míra jeho eliminování DD observacemi – může zamezit vyřešení ambiguit pro všechny observace

- Oproti 1 frekvenčním měřením se situace výrazně zlepšuje, jelikož můžeme využívat lineární kombinace signálů
- využití Wide-line a Narrow-Line kombinací
  - v případě L1 a L2 GPS má lineární kombinace Wide-Line vlnovou délku 86 cm, což výrazně napomáhá při práci s vyhledávací oblastí = zmenšením oblasti se snižuje počet potencionálních kombinací
  - nevýhoda Wide-Line = značný nárůst šumu měření (6 x oproti samotné  $L_1$  frekvenci u GPS)
  - lineární kombinace Narrow-line má naopak výrazně kratší vlnovou délku (v případě L1 a L2 GPS 10 cm), po vyřešení ambiguit dokáže poskytnout velmi přesnou polohu
- při řešení ambiguit se uplatní taktéž lineární kombinace Melbourne-Wübbena kombinující dvou-frekvenční fázová a přesná kódová měření



- Označováno jako on-the-fly (OTF) či on-the-run (OTR) řešení = řešení ambiguit pro pohybující se rover přímo během měření
- kódová měření jsou použita pro určení souřadnic a vyhledávací oblasti, jejich kvalita je proto kritická
- příklad (6 observovaných družic, 5 DD observací):
  - souřadnice jsou známy s přesností 2 m, což určuje velikost vyhledávací oblasti na krychli o délce strany 4 m
  - $4 \text{ m} / 20 \text{ cm}$  (přibližná vlnová délka) = 20 cyklů
  - $20^5 = 3.2 \text{ mil. kombinací}$
  - souřadnice jsou známy s přesností 1 m, což určuje velikost vyhledávací oblasti na krychli o délce strany 2 m
  - $2 \text{ m} / 20 \text{ cm}$  (přibližná vlnová délka) = 10 cyklů
  - $10^5 = 100 \text{ 000 kombinací}$

- Z důvodu využívání FDMA je řešení ambiguit oproti jiným systémům složitější
- FDMA = jednotlivé družice využívají mírně odlišnou frekvenci pro  $L_1$  i  $L_2$ , tudíž jejich signály mají mírně odlišné vlnové délky
- díky tomu formováním DD observací vyjádřených v cyklech vlnové délky z observací zcela neodstraníme chyby hodin (formováním DD vyjádřených v metrech ztrácejí ambiguity svůj celočíselný charakter)
- v současnosti existuje několik řešení, například:
  - určení SD ambiguity pro referenční družici na základě kombinace fázových a kódových měření (potřeba znalosti mezifrekvenčních kódových bias pro GLONASS)
  - převedení měření uskutečněné na rozdílných frekvencích na jednu jednotnou frekvenci

- kombinace signálů ze systémů GPS, Galileo a BeiDou (potažmo GLONASS využívajícího CDMA) vede ke zlepšení situace při řešení ambiguit
- kombinace systémů dokáže pomoci s:
  - řešením ambiguit při dlouhých základnách
  - dosažení řešení ambiguit za kratší čas = potřeba menšího množství epoch
  - vyšší spolehlivost řešení ambiguit
  - zvýšení šance na používání RTK v zastavěném území, kde aktuálně může docházet k výpadkům řešení z důvodu stínění signálu překážkami (malý počet dostupných družic)

- Vývoj technik pro řešení ambiguit a jejich optimalizace je dlouhodobou oblastí zájmu kosmické geodézie a družicové navigace
- konkrétních algoritmů pro řešení ambiguit existuje celá řada
- často vychází z metod vyvinutých již během 90. let 20. století:
  - LSAST, FARA, LAMBDA, FASF, OMEGA, apod.
- aktuálně se vývoj zaměřuje na řešení ambiguit pro multi-GNSS řešení, pro nediferencované observace, pro určování polohy kombinující GNSS s jinými technologiemi (inerciální navigační jednotky, odometrie, atd.)

- Dach, R. et al. *Bernese GNSS Software, Version 5.2*, Astronomický institut univerzity v Bernu, Švýcarsko, 2015
- Subinara, J.S. et al. *GNSS Data Processing, Volume 1: Fundamentals and Algorithms*. European Space Agency, ESA TM-23/1, 2013.
- Teunissen, P. J.G., Montenbruck, O. (ed.). *Springer handbook of global navigation satellite systems*. Springer, 2017.
- Verhagen, S. *Carrier Phase Integer Ambiguity Resolution – Recent Results and Open Issues*, Kolloquium Satellitennavigation, Mnichov, Německo, 2010
- <http://gpsworld.com/innovation-cycle-slips/>

## Děkuji za pozornost

Michal Kačmařík,  
e-mail: [michal.kacmarik@vsb.cz](mailto:michal.kacmarik@vsb.cz)  
<https://www.hgf.vsb.cz/548/cs/>

Toto dílo je licencováno pod [CC BY-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)



Financováno  
Evropskou unií  
NextGenerationEU



Národní  
plán  
obnovy

MSMT  
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Transformace formy a obsahu vysokoškolského vzdělávání na VŠB-TUO

NPO\_VŠB-TUO\_MSMT-16605/2022