

# Využití optických a radarových dat DPZ v dopravě



Jan Kolomazník, GISAT s.r.o.

3. České uživatelské fórum COPERNICUS

Praha, 11.6.2014

- **Projekt na vyhodnocení využitelnost dat DPZ v dopravě**
- **Data**
  - Zaměření na optická a **radarová (SAR) data**
- **Metoda PS InSAR**
- **Aplikace v dopravě**
- **Přínosy**

- Geoinformační služby v oblasti GIS a **dálkového průzkumu Země**
  - Zpracování a analýza optických a radarových dat
  - Zapojení do národních a mezinárodních projektů
  - Řadě tematických (aplikačních) domén, vč. dopravy

- **Projekt:**

## **Zhodnocení využitelnosti dat DPZ pro použití v dopravě**

- Veřejná zakázka na služby v **aplikovaném výzkumu**, vývoji a inovacích
- Program: **BETA**
- Zadavatel: **Technologická agentura ČR (TAČR)**

- **Analýza možností využití DPZ v dopravě pro sledování**
  - **Rizikových jevů**
    - **Nežádoucí pohyby a deformace** mostních konstrukcí a dalších dopravních staveb
    - **(Ne)stabilita svahů a podloží v okolí DI, které ji mohou nepříznivě ovlivnit**
  - **Indikátory vlivu/dopadů na ŽP**
- **Výběr pilotního projektu a demonstrace aplikace v podmínkách ČR**
  - **Realizovatelnost (technická a ekonomická), operativnost**
- **Konzultace s uživateli**

## ■ Přehled dat DPZ

- Parametry a vlastnosti podstatné při výběru pro dopravní aplikace
- Primárně družicové senzory
- Rozdělení: radarové (SAR) x optické (multi-, hyper-spektrální)

## ■ Přehled aplikací DPZ pro oblast dopravy

- Rozdělení dle **charakteru** sledovaných jevů
  - Jevy související s nežádoucími pohyby/deformacemi
  - Jevy související s dopady na ŽP (znečištění)
  - Ostatní (krizové sledování, monitoring výstavby)

## ■ Analýza přínosu

- **Parametry systémové**
  - **Prostorové rozlišení** -> velikost objektů
  - **Spektrální rozlišení** -> rozlišitelnost typů objektů a materiálu
  - **Temporální rozlišení (perioda snímání)** -> opakované snímání, monitoring
  - **Šíře záběru (velikost scény)** -> pokryvnost území
  - **SAR: vlnová délka, polarizace, akviziční mód**
- **Kontinuita mise** – dlouhodobé zajištění přístupu k datům a návaznost
- **Dostupnost z technického hlediska**
  - **Přístupová infrastruktura** – způsoby objednání, online přístup do katalogu, možnosti a efektivita vyhledávání
  - Programovatelnost
  - Operační akviziční plán

- Dostupnost z ekonomického hlediska
  - **Cenová a přístupová politika** – komerční/nekomerční, archivní/nová scéna
  - Absolutní cena (za scénu)
  - Relativní cena (za km<sup>2</sup>)
  - Minimální objednatelná plocha
- **Cenové rozpětí**
  - Optická data: 0 - 10ky-100ky Kč / km<sup>2</sup>
  - Radarová data: 0 - 100ky-1000ce Kč / km<sup>2</sup>
  - Specifikum **monitoringu**: nutnost opakovaného snímání
  - Specifikum (některých) dopravních staveb: **liniový charakter**
    - Důsledkem je vysoká pořizovací cena komerčních dat
  - Data zadarmo, konkurence - tlak na snižování cen (hl. optická data): LDCM, konstelace Sentinel

- |   |                          |  | max d (cm) |
|---|--------------------------|--|------------|
| ■ | X-Band (~ 3.1 cm)        |  |            |
| ▪ | TerraSAR-X               | (2007 - (11 dnů, 1 x 1 m)                    | <b>1.6</b> |
| ▪ | TanDEM-X                 | (2010 - (11 dnů, 1 x 1 m)                    |            |
| ▪ | COSMO-SkyMed             | (2008 - (16 dnů, 1 x 1 m)                    |            |
| ▪ | <i>Kompsat-5</i>         | (2014 - (28 dnů, 1 x 1 m)                    |            |
| ▪ | <i>PAZ EOSAR</i>         | (2014 - (11 dnů, 1 x 1 m)                    |            |
| ■ | C-Band (~ 5.6 cm)        |  |            |
| ▪ | ERS1/2                   | (1992-2000) (35 dnů, 5 x 20 m)               | 2.8        |
| ▪ | ENVISAT ASAR             | (2003-2010) (35 dnů, 5 x 20 m)               |            |
| ▪ | Radarsat-2               | (24 dnů, 2.8 x 1.6-3.3 m)                    |            |
| ▪ | <b><i>Sentinel-1</i></b> | <b>(2014 - (12 dnů, 20 x 20 m (5 x 5 m))</b> |            |
| ■ | L-Band (~ 23.4 cm)       |  |            |
| ▪ | ALOS Palsar              | (2006-2011) (46 dnů 7-44 m)                  | 12         |
| ▪ | ALOS Palsar2             | (2014- (14 dnů, 1 x 3 m)                     |            |



# Radarová interferometrie – metoda trvalých odražečů (PS InSAR)

- Princip:
  - porovnání **vzdálenosti mezi radarem a sledovaným objektem** v různých časových okamžicích
  - **Změna polohy (pohyb, deformace) se projeví změnou vzdálenosti**, která se projevuje jako **fázový rozdíl** při porovnání signálu 1 a signálu 2
- (PS = permanent/persistent scatterers)
- Zpracovává velké **sady snímků (10-ky)**
- Vybírány jen některé **body (stabilní, trvalé, permanentní** z hlediska odrazivosti a koherence v čase)
- **Časová řada -> velikost + rychlost pohybů**
  - **Průměrnou rychlost pohybu** (za časový úsek) (v LOS)
  - **Trend pohybu v čase** (v LOS)

# Možnosti a omezení metody PS InSAR

- **Plošné rozlišení (velikost pixelu)**
  - K pohybu by mělo dojít na **oblasti velikostně odpovídající pixelu nebo** na menším bodě s řádově vyšší odrazivostí, než má okolí
- **Směr a velikost (pohybu)**
  - Detekovány jsou **pouze pohyby ve směru pohledu** (LOS = line of sight) – 25 – 40° od svislice a přibližně ve **směru V - Z**
  - Známe-li směr pohybu, můžeme jeho velikost přepočítat z velikosti v LOS a úhlu, v opačném případě musíme využít různých drah družic a výsledný posun přepočítat (vert. + hor. Z-V)
- **Min/Max detekovatelné posuny**
  - Závisí především na vlnové délce
  - MAX: **½ vlnové délky radaru** (cm) (mezi 2ma body, snímky)
  - MIN: V řádu **1-5 mm/rok** (jedná se o průměrnou hodnotu minim v rámci bodů v časové řadě)

# Možnosti a omezení metody PS InSAR

- **Ambiguita**
  - Souvisí s Max detekovatelným posunem
  - **Nejednoznačnost směru a násobku fáze**
- **Dekorelace**
  - Snížení koherence mezi dvěma snímky a tudíž detekovatelnosti změn pomocí fáze (počtu PS), pokud:
    - Pohyb byl jen v části pixelu
    - Došlo ke změně odrazivých vlastností (rozorání, růst vegetace, její pohyb ve větru)
  - Funkce povrchu a času
  - -> **Umělé trvalé odražeče**
- **Výše uvedené omezení je třeba uvažovat při analýze proveditelnosti případné aplikace**

# Možnosti a omezení metody PS InSAR

- Porovnání s konvenčními (pozemními) metodami
  - GPS, nivelace, tachymetrie, geotechnické metody (inklinometrie,..)
- Nedosahuje absolutních (sub-mm) přesností

	Citlivost ve směru		Přesnost (mm)		Měření			Temporální
	<u>vert.</u>	<u>horiz.</u>	ver.	Hor.	<u>densita</u>	rozsah	distribuce	rozlišení
Mechanické přístroje	vysoká (závisí na orientaci umístění)		0.01-0.1		vysoká	nízký	Dobře definované body	možné kontinuální v měření v reálném čase
Nivelace / geod. měření	vysoká	vysoká	0.0	0.05	vysoká	nízký	dobře definované body	dle opakování měření
GPS	střední	vysoká	1	0.1	střední	nízký	dobře definované body	možné kontinuální v měření v reálném čase
PS InSAR	střední (v LOS)	střední (V-Z) nízká (S-J)	1	1000	<u>střední-nízká</u>	velký	náhodná	dny - desítky dnů

- Ale..
  - Vyšší **hustota** měření (/km<sup>2</sup>)
  - **Různá měřítka** (objekt, plocha)
- Možnost **monitoringu**:
  - **Dlouhodobého**
  - **Opakovaného**
  - **Zpětného** (jsou-li historická data)
  - **Plošného** (rozsah zasažené oblasti)

# Charakteristika dopravní infrastruktury

- Z hlediska sledování nežádoucích pohybů:
  - Rozsah: bodový/linový (plošný po okolí)
  - Velikost pohybů (mm-cm-(dm) / rok)
  - Vysoká odrazivost vlastních konstrukcí a přilehlých prvků infrastruktury
  - Obklopení vegetací (zastínění, dekorelace)
  - Variabilní orientace
  - Problematika dvojitého (trojitého odrazu) – příspěvek vozovky, protihlukové stěny
  - Problematická interpretace charakteru a zdroje pohybu
- Požadavky:
  - Velikost (intenzita), Rozsah, Průběh jevu

# Aplikace pro sledování deformací a posunů

- **1. Deformace vlastní infrastruktury**
  - Deformace **tělesa / povrchu vozovky**
  - Deformace **tělesa železniční trati**
  - Deformace **konstrukcí mostů, nadjezdů**
  - Deformace **infrastrukturních prvků v okolí infrastruktury** (protihlukové stěny, zárubně, podpůrné zdi)
- Sledování **projevů**
  - Interpretace příčin, může být problematická (odlišení pohybu žádoucího (dilatace) od nežádoucího, zdroje pohybu)
- Vyžadují spíše **vyšší rozlišení** (tedy vyšší hustotu detekovaných trvalých odražečů) – dopad na vysokou pořizovací cenu dat
- Infrastrukturní prvky jsou spíše izolované bez vzájemné spojitosti
- Plošný monitoring z preventivních důvodů má smysl např. v návaznosti na živelnou událost (povodně)

# Aplikace pro sledování deformací a posunů

- **2. Pohyby okolí, podloží, nadloží**
  - **Svahové pohyby a sesuvy** (dynamické, postupné)
  - **Sedání / pokles podloží** (vlivem poddolování, geologických podmínek)
  - **Sedání / pokles nadloží** (v případě tunelů, výstavby metra atd.)
- **Plošný charakter** – role InSAR: určení nejen magnitudy + rozsahu deformací
- Aplikovatelnost dat **nižšího rozlišení (Sentinel-1)**
- Dobře zdokumentované příklady a v praxi zavedené aplikace na základě dat v různých módech a rozlišeních
- Porovnání a monitoring stavu před – v průběhu – po výstavbě

- **Znečištění**
  - Exhalace (sledování atmosféry, obsah aerosolů, optické hloubky)
    - Optická data
    - Lidar
  - **Kontaminace půdy**
    - Dlouhodobá: splach (přímo: hyper-, nepřímo: zdr. stav veget.)
    - Krátkodobá: havárie
  - **Zdravotní stav vegetace** (= důsledek i indikátor)
    - Biochemické ukazatele (chlorofyl, vodní stres, fPAR, LAI)
    - Vegetační skladba, podíl, hustota, diverzita, fragmentace
- Optická data multi-, super-, **hyperspektrální**
- **Indikátory** – sledování vývoje/trendu monitoringem
- Monitoring **závislostí změn** na postupu výstavby a provozu
- Nutnost kalibrace? (spektroskopie)



- Monitorování **záplav** a jejich dopadů na infrastrukturu
  - Optická i SAR data
    - Okamžitý stav (krizové řízení)
    - Rozsah zasažení a určení potenciálních dopadů
- **Lidar** („pozemní“, letecký)
  - Velká přesnost a hustota bodového pole
    - Tvorba přesného DSM
    - Pasportizace (prvků infrastruktury, zeleně v blízkosti)
    - Kvalita vozovky
- Degradace kvality vozovky
  - Hyperspektrálních data

# SHRNUTÍ: Přínosy dat DPZ pro aplikace

- Je třeba hodnotit jak z hlediska technické (proveditelnost) tak ekonomické aspekty

## Obecné výhody

Bezkontaktní sledování objektů	Kontinuita
Měřitelnost absolutních hodnot	
Relativní srovnatelnost	Operační kapacita
Pokryvnost	Monitorovací kapacita
Poměr ceny na plochu	Historické mapování
Variabilita datových zdrojů	Metodologický základ
<u>Granularita</u>	Komplementarita
Rozvinutá nabídka služeb	Výtěžnost dat

## Obecné nevýhody

Absolutní přesnost
Tematická přesnost
Validace
Předzpracování dat
Nástroje
Atmosférické podmínky

## Aplikovatelnost v dopravě – SAR data

- Metody PS InSAR etablované, postupně zaváděné do operační praxe
- Postupně se rozšiřující nabídka dat
  - **Sentinel-1** klíčovým zdrojem pro operační nasazení **monitoringu**
  - Zásadní aspekt **finanční udržitelnosti** (open and free access)
  - **Rozlišení** limitující využitelnost pro některé aplikace
- **Doplňkový charakter** – ke konvenčním metodám
- **Preventivní charakter** - skryté deformace, rozsah rizikové oblasti
- V kombinaci s konvenčními metodami **možnost úspor**

## Aplikovatelnost v dopravě – Optická data, ŽP

- Dobře prověřené a etablované metody interpretace a extrakce prvků a jejich aplikace
- ŽP: **Pokryvnost, relativní porovnatelnost** > absolutní přesnost
- Díky počtu komerčních i nekomerčních družicových senzorů nejširší možnosti výběru vhodných dat z hlediska
  - Rozlišení, pokryvnosti, ceny
  - Konstelace: RapidEye, LDCM, **Sentinel-2, Sentinel-3**
  - Kontinuita a operační monitoring

# Děkuji za pozornost!

jan.kolomaznik@gisat.cz

*Schematic graphics*