



**Lesnická
a dřevařská
fakulta**

**Geodézie
Přednáška**

Globální navigační satelitní systémy (GNSS)

Mendelova
univerzita
v Brně



Historie a vývoj družicových systémů

- ❑ období vlastních družicových systémů není dlouhé, předcházela mu však dlouhá a bohatá historie
- ❑ touha lidstva určit co nejpřesněji prostorové vztahy mezi body
- ❑ navigace zpočátku prováděna úhlově pomocí přírodních těles – hvězdy, Slunce, Měsíc
- ❑ po vynalezení radiového vysílání byla prováděna navigace na základě znalostí fyzikálních zákonitostí (šíření radiových vln – radiomajáky)
- ❑ vypuštění umělých družic = zkoumání možnosti jejich využití jako dříve přírodních těles ► postupný vývoj a zdokonalování družicových systémů
- ❑ TRANSIT (1958 – 1963) – první družicový navigační systém armády USA (předchůdce GPS), v roce 1967 byl systém uvolněn i pro civilní uživatele
- ❑ počátkem 70. let byl zprovozněn další systém pod názvem TIMATION (vysílání přesného časového signálu)
- ❑ v bývalém Sovětském Svazu se stal protiváhou systém CYKLON a obdobné systémy PARUS a CIKADA (pouze dvourozměrné souřadnice, nízká přesnost a špatný časový signál)

- ❑ po zkušenostech s těmito systémy začaly obě tyto supervelmoci počátkem 70. let budovat systémy nové generace, které zpřístupnily družicovou navigaci i letectvu
- ❑ jednalo se o pasivní dálkoměrné systémy, které umožňovaly spolu s přesným časem určování polohy v trojrozměrném systému
- ❑ rozhodnutí o vybudování prvního takového systému padlo v roce 1973 v USA – zahájen projekt NAVSTAR-GPS (Navigation Satellite Timing and Ranging-Global Positioning System), zkráceně GPS
- ❑ v polovině 70. let 20. století zahájilo vývoj podobného systému dnešní Rusko, systém se nazývá GLONASS (Global Navigation Satellite System)
- ❑ od konce 90. let 20. století začalo v Evropě budování systému Galileo, čas jeho zprovoznění se stále posouval, plného operačního stavu bylo dosaženo v roce 2019, kompletní systém bude dokončen v roce 2021
- ❑ další obdobný systém buduje Čína – Beidou-3 (Compass), dříve pouze regionální (Beidou-1,2), po roce 2020 celosvětové pokrytí
- ❑ autonomní systémy s geostacionárními družicemi mají další asijské státy, Japonsko – QZSS (Quasi-Zenith Satellite System), Indie – NAVIC (Navigation Indian Constellation), dříve IRNSS (Indian Regional Navigational Satellite System)

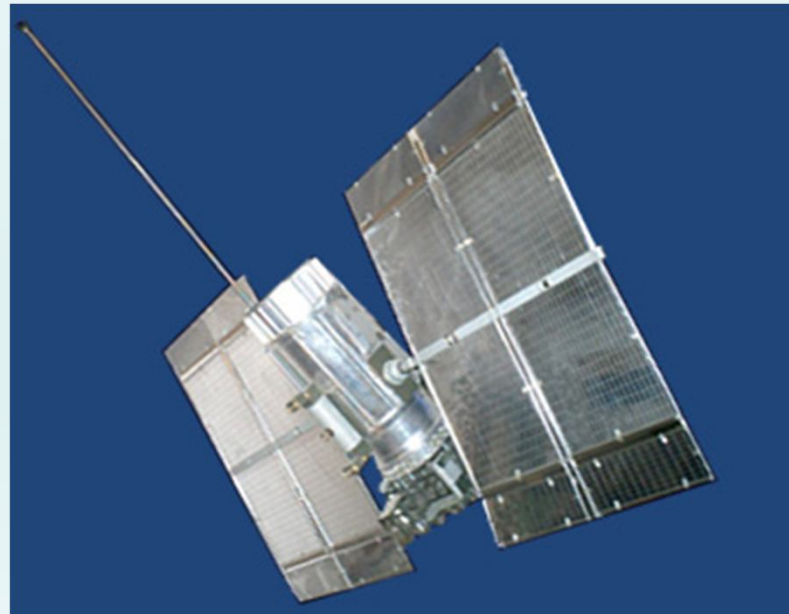
Současné družicové systémy

- ❑ struktura většiny GNSS je obdobná, rozdíly pouze v technických detailech
- ❑ dělíme je na tři základní složky:
 - Kosmický segment – zahrnuje aktivní umělé družice Země, obíhající po téměř kruhových drahách ve výšce cca 20 000 km
 - Řídící segment – vytváří a udržuje systémový čas, monitoruje a koordinuje činnost celého systému, koriguje dráhy satelitů
 - Uživatelský segment – zahrnuje pozemní přijímače schopné přijímat a zpracovávat signály z družic

GLONASS

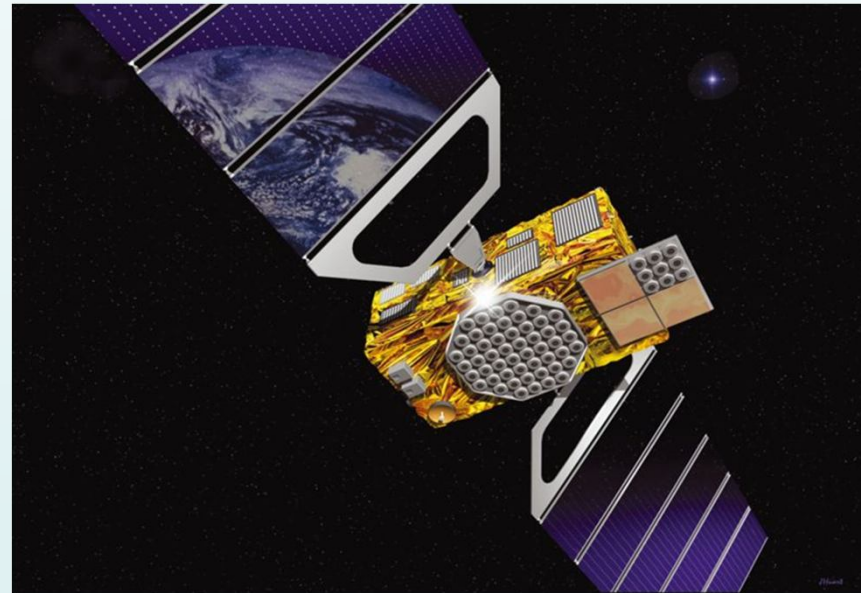
- ❑ GLONASS je plně pod kontrolou a správou vojenských kosmických sil ruského ministerstva obrany
- ❑ byl navržen obdobně jako GPS, tzn. pro poskytování informací o čase a poloze na Zemi a v jejím blízkém okolí po celých 24 hodin
- ❑ systém GLONASS používá dva signály:
 - přesnější je vyhrazen pouze pro ruské vojenské uživatele
 - druhý, méně přesný je určen pro civilní uživatele

- ❑ systém se skládá ze tří částí:
 - sledovací - řídicí segment (Krasnoznamensk)
 - kosmický segment
 - uživatelský segment
- ❑ řídicí centrum je v Moskvě
- ❑ kosmický segment by měl v plném operačním stavu obsahovat 24 družic na třech drahách
- ❑ oběžné dráhy systému jsou ve výšce asi 19 100 km
- ❑ sklon 65° vůči rovníku – dráha družice každých 8 dní (17 oběhů) je stejná



Galileo

- ❑ globální navigační satelitní systém vyvíjený na základě rozhodnutí Evropské komise (EC) Evropskou kosmickou agenturou (ESA)
- ❑ hlavním důvodem pro vznik Galilea byla snaha o získání kontinentálního systému nezávislého na GPS nebo GLONASS
- ❑ je rovněž složen ze tří segmentů:
 - sledovací - řídicí segment
 - kosmický segment
 - uživatelský segment
- ❑ kosmický segment bude tvořen 24 aktivními a 6 záložními družicemi na třech drahách, na každé dráze bude 10 družic (8 aktivních a 2 záložní)
- ❑ oběžné dráhy družic ve výšce 23 222 km mají sklon 56° vůči rovníku
- ❑ oběžná doba družice je stanovena na 14 hodin
- ❑ vyšší přesnost a pokrytí signálem družic (především Skandinávie)

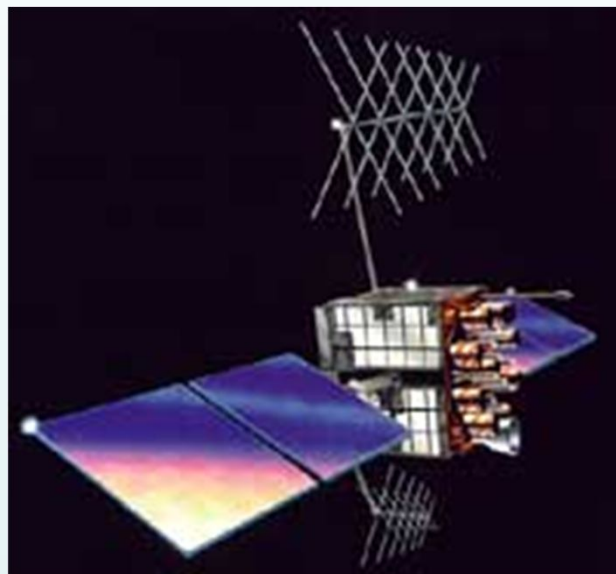


- ❑ administrativní sídlo GSA (Galileo Supervising Authority) je v Praze
- ❑ Galileo bude poskytovat tyto druhy služeb:
 - Základní služba (Open Service - OS): volně dostupná, dvě pásma, horizontální přesnost lepší než 4 m, vertikální přesnost lepší než 8 m
 - Komerční služba (Commercial Service - CS): zpoplatněná šifrovaná služba na další dva signály, vyšší přesnost než OS
 - Veřejně regulovaná služba (Public Regulated Service - PRS): dva šifrované signály s kontrolovaným přístupem pro státem vybrané uživatele (ozbrojené a bezpečnostní složky), přesnost podobná CS, odolnější proti rušení, detekce problémů do 10 sekund
 - Bezpečnostní služba (Safety of Life Service – SOL): kódovaná služba s důrazem na bezpečnost, využití v řízení letového provozu
 - Vyhledávací a záchranná služba (Search And Rescue Service - SAR): služba nouzové lokalizace v rámci celosvětové družicové záchranné služby COSPAS/SARSAT s možností oboustranné komunikace

GPS

- ❑ přímým nástupcem systému TRANSIT
- ❑ družicový rádiový navigační systém pro určování polohy, rychlosti a času, kdykoliv a kdekoliv na povrchu Země a v jeho blízkosti
- ❑ je spravován ministerstvem obrany USA
- ❑ v současnosti se jedná o nejrozšířenějším globální systém na Zemi
- ❑ je rovněž složen ze tří segmentů:
 - kosmický segment
 - řídicí a kontrolní segment (sledovací)
 - uživatelský segment
- ❑ kosmický segment je v současnosti tvořen až 32 satelity na šesti rovnoměrně rozložených drahách
- ❑ sklon 55° vůči rovníku Země, výška 20 200 km
- ❑ dobou oběhu (12 hvězdných hodin = 11hod 58min)
- ❑ z důvodu bezpečnosti USA zavedeno záměrné snížení přesnosti polohy (SA-selective availability) pro civilní uživatele
- ❑ ke zrušení selektivní dostupnosti došlo 1.5.2000 (řádově vyšší přesnost)

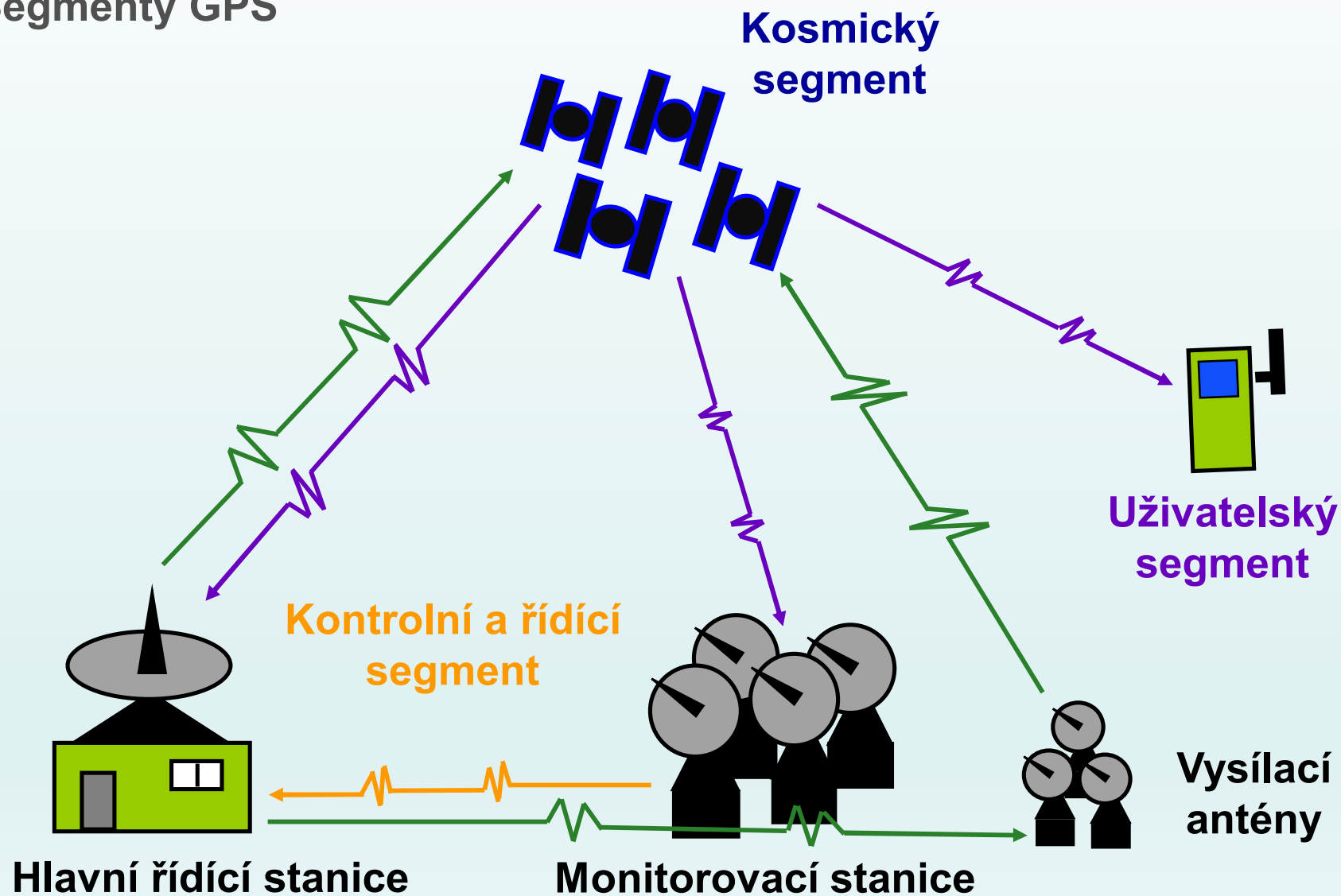
Družice systému GPS



Malé atomové hodiny

v současnosti je u nejlepších atomových hodin nejistota v určení času asi 0,1 ns na 24 hodin (10^{-10} s), tzn. že přibližně za 15 miliónů let by se takové hodiny rozcházely nejvýše o jednu sekundu

Segmenty GPS



Kontrolní segment

- jedná se o zpracovatelská centra, která zpracovávají pozorování ze stanic se známými souřadnicemi
 - tyto souřadnice určují polohu družic v tomto systému
 - hlavní úkoly kontrolního segmentu:
 - sledování družic a jejich palubních hodin, časová synchronizace družic
 - nahrávání palubních efemerid v systému WGS-84 do počítačů družic (přesnost 3m)
 - ukládání přesných efemerid (s jistým zpožděním) na server s internetovým přístupem (přesnost v cm)
- efemerida - vypočtená poloha kosmického tělesa pro určité datum

Řídící segment

- řídí správnou funkčnost celého systému
- může aktivovat a deaktivovat opatření k zabránění plného využití systému GPS neautorizovanými uživateli
- součástmi tohoto segmentu jsou: hlavní řídicí stanice a monitorovací stanice

Hlavní řídicí stanice

- ❑ na letecké základně Falcon ve Skalistých horách v Colorado Springs
- ❑ sbírá data z monitorovacích stanic
- ❑ vypočítává efemeridy, parametry drah družic a chodu palubních hodin jednotlivých družic
- ❑ tyto parametry předává pozemním anténám, které je vyšlou družicím pro navigaci v reálném čase

Monitorovací stanice

- ❑ tři povelové stanice – pro vysílání korekčních dat družicím
- ❑ v současnosti 18 monitorovacích stanic (každý satelit je viditelný nejméně ze tří stanic)
- ❑ nepřetržitě měří pseudovzdálenosti k viditelným družicím a data posílají do hlavní řídicí stanice



Monitorovací stanice Hawaii

Rozšiřující systémy

1.SBAS (Satellite Based Augmentation System)

- globální – komerční produkty
 - Starfix (Fugro)
 - Omnistar
 - StarFire (John Deere)
- regionální – zřizovány vládními organizacemi, volně dostupné
 - EGNOS (EU) - European Geostationary Navigation Overlay Service
 - WAAS (USA) - Wide Area Augmentation System
 - WAGE (Wide Area GPS Enhancement)
 - CWAAS (Kanada) - Canadian WAAS
 - MSAS (Japonsko) - Multi-functional Satellite Augmentation System
 - GAGAN (Indie) - GPS Aided Geo Augmented Navigation
 - SNAS (Čína) - Satellite Navigation Augmentation System
 - SDCM (Rusko) - System for Differential Correction and Monitoring

2.GBAS (Ground Based Augmentation System)

- regionální – systém pozemních referenčních stanic
 - CZEPOS (ČR), EUREF (EU), GRAS (Austrálie), DGPS (USA)
- místní, označovaný jako LAAS (Local Area Augmentation System) – osamělé referenční stanice (letiště, doly, rozsáhlé stavby)

Určování polohy

- ❑ družicové navigační systémy pracují v geocentrických prostorových souřadnicích X, Y, Z
- ❑ k lokalizaci objektů v mapách však používáme zeměpisné souřadnice φ, λ , případně rovinné kartografické souřadnice
- ❑ chceme-li využívat metody těchto systémů, musíme realizovat obě tyto soustavy a zprostředkovat mezi nimi vzájemný vztah

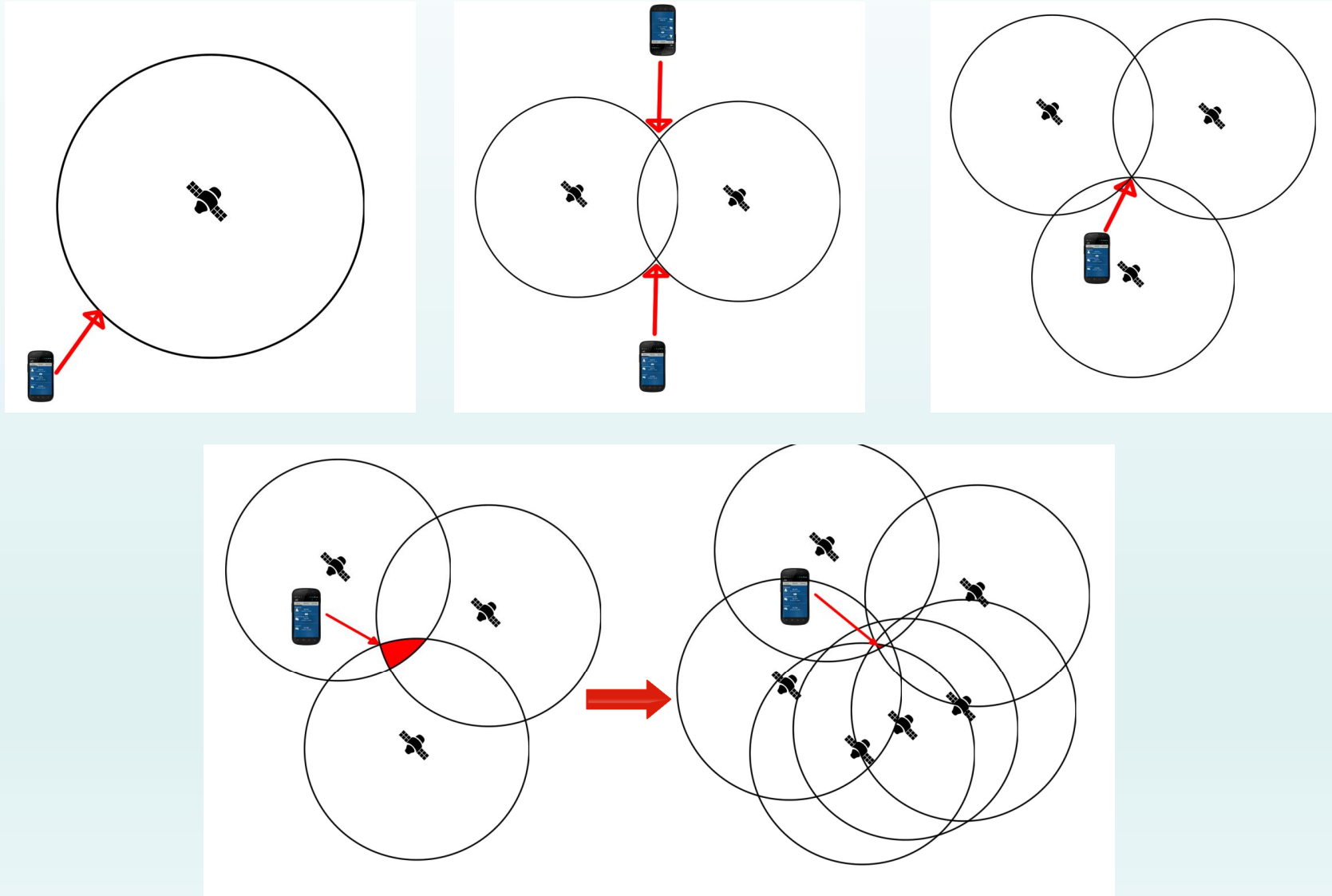


- zjednodušeně lze družicové polohové systémy popsat jako „družicový rádiový dálkoměrný systém“
 - dálkoměrný: poloha objektu se určuje ze vzdáleností od bodů se známou polohou
 - rádiový: pro měření určitého parametru využívá rádiových vln
 - družicový: body se známou polohou jsou družice

Princip

- družice vysílá signál se speciální kódem (časová značka), informaci o své poloze a poloze dalších družic
- přijímač porovnává přijatou časovou značku se svými hodinami, čímž lze změřit zpoždění (nutná korekce a synchronizace času pomocí algoritmů)
 - chyba hodin jedna setina dává chybu polohy asi 3 000 km
- na základě zpoždění a známé rychlosti šíření radiové vlny je vypočtena vzdálenost „přijímač-vysílač“
- pro určení polohy musí být vzdálenost vypočtena minimálně ze 4 družic (3 družice určí 2D polohu, čtvrtá je pro určení třetího rozměru (výšky) a času
- s větším počtem družic dochází ke zpřesňování polohy

Znázornění určení polohy ve 2D



Metody pro odlišení družic v rámci systému GNSS

- kódové – CDMA (Code Division Multiple Access)
 - každá družice vysílá různé kódy na stejné frekvenci, které se svou charakteristikou blíží náhodnému kódu (PRN)
 - přijímač na základě znalosti tohoto kódu pomocí korelace najde signál konkrétní družice
 - signály družic s nekorelovaným signálem se projevují jako šum
 - tuto metodu používají GPS a Galileo
- frekvenční – FDMA (Frequency Division Multiple Access)
 - každá družice vysílá stejné kódy na jiné frekvenci – vyžaduje velký počet volných frekvencí
 - nevýhodou je vznikající interference a obtížná interoperabilita mezi systémy GNSS
 - tento způsob využívá GLONASS
- časové – TDMA (Time Division Multiple Access)
 - každá družice vysílá na stejné frekvenci stejné kódy, ale v jiném čase
 - komplikovaný způsob na realizaci přijímače a nepoužívá se

Metody GNSS

a) podle zpracovávaných veličin

- kódové – využívají kódový způsob měření
- fázové – využívají fázový způsob měření
- kombinované – využívají oba způsoby měření

b) podle doby získání výsledné polohy

- v reálném čase (real-time processing)
- následné zpracování (postprocessing)

c) podle pohybu přijímače

- statické (static)
- kinematické (kinematic)

d) podle počtu použitých přijímačů

- autonomní (absolutní)
- diferenční

Způsoby určování polohy

1.Kódová měření

- jednoduchá, spolehlivá a nejčastěji používaná měření
- družice i přijímač generují současně identickou řadu kódů
- přijetí zprávy přijímačem – porovnání doprovodného kódu s kódem vygenerovaným v přijímači – dekódování časových značek a polohy každé družice
- na základě časového rozdílu signálu (vyslání-příjem) a rychlosti jeho šíření je možné vypočítat vzdálenost mezi přijímačem a družicí

2.Fázová měření

- používají se pro přesná geodetická měření
- vychází z možnosti měřit jednotlivé fáze vln a jejich změny
- je třeba určit počet celých vlnových délek mezi družicí a přijímačem a stanovit fázový posun nosné vlny
- určení celistvého násobku vlnových délek se určuje poměrně obtížně a vyznačuje se velkou nejednoznačností (ambiguity)
- jakmile je celočíselná ambiquita určena, sleduje přijímač změny fázového posunu i změny násobků vlnové délky

Metody měření GNSS

1.Statická

➤ využívá dlouhodobá měření (hodiny až dny), více referenčních přijímačů, postprocesní korekce

2.Rychlá statická

➤ doba měření minuty, nutnost dvou referenčních přijímačů, jeden na bodě o známých souřadnicích, postprocesní korekce

3.Kinematická

➤ jeden přijímač referenční a druhý pohybující se, inicializace na počátečním bodě (vyřešení ambiquity), postprocesně se vyhodnocuje celá trasa přesunu (lze využít pro určování polohy pohybujícího se tělesa)

4.Stop and go

➤ podobná kinematické metodě, data se zaznamenávají pouze na vybraných bodech

5.RTK

➤ kinematická metoda v reálném čase, probíhá inicializace (jiným rychlejším způsobem), využívání korekcí z referenční stanice

Rozšiřující pozemní polohové systémy-ČR

- ❑ v současnosti je komerčně nabízena možnost přijímat korekce z tzv. permanentních referenčních stanic CZEPOS (ZÚ), TopNet (GB-Geodezie), Trimble VRS Now (Trimble) a GEOORBIT (Geoobchod, s.r.o.)
- ❑ odpadá nutnost použití vlastní referenční stanice
- ❑ tímto vzrůstá dosah až na 50 km
- ❑ pro zajištění centimetrové přesnosti by neměla být vzdálenost mezi referenčním a pohyblivým přijímačem větší než 10 km
- ❑ využití metody tzv. pseudoreferenční stanice (PRS)
 - na základě polohy přijímače jsou posílány korekce z virtuální stanice (do 5 km)
 - tyto korekce jsou vygenerovány na základě síťového řešení ze všech stanic CZEPOS, příp. Trimble VRS Now, TopNet, GEOORBIT
- ❑ lze využít i pro měření bodů pro účely katastru nemovitostí

Trimble VRS Now Czech



Přijímače a jejich rozdělení

- ❑ přístroje náleží do uživatelského segmentu GNSS a dělíme je podle různých parametrů:
 - podle frekvencí:
 - jednofrekvenční (L1), dvoufrekvenční (L1, L2), vícefrekvenční (+L5)
 - podle počtu kanálů:
 - jednokanálové (pouzev začátcích GPS) a vícekanálové
 - podle způsobu příjmu signálu:
 - kódové – přijímače s C/A kódem (Coarse Acquisition Code) nebo C/A i P (Y) kódem (Precision Code)
 - fázové
 - podle konstrukce:
 - kompaktní aparatury – jeden kompaktní celek
 - víceprvkové aparatury – anténa, přijímač (receiver), kontroler (PDA)
 - podle způsobu využití:
 - turistické, navigační, sledování zásilek, GIS aparatury, geodetické

Turistické přijímače

- ❑ k navigaci turistů a cykloturistů
- ❑ přijímače jsou vyráběny v několika provedeních
 - nemapové aparatury (nelze nahrát digitální mapu)
 - aparatury umožňující nahrání podkladových digitálních map
- ❑ některé z aparatur je možné propojovat s PDA (Personal Digital Assistant), čímž je umožněno použití mapového podkladu i u nemapových aparatur
- ❑ v současnosti se běžně používají PDA, které mají uvnitř integrované GPS
- ❑ přesnost těchto aparatur je od několika metrů po několik desítek metrů



Navigační systémy

- ❑ využívají podkladovou digitální mapu
- ❑ používány zejména v automobilech a motocyklech
- ❑ nejmodernější systémy umožňují aktivní plánování optimální trasy
- ❑ přesnost je obdobná jako u turistických GPS
- ❑ speciální aplikace navigačních systémů GPS - řízení pohybu stavebních a zemědělských strojů (mnohem vyšší přesnost než běžné navigační systémy)



Využití GNSS pro sledování zásilek zboží a pohybu přepravních zařízení

- ❑ velmi častá aplikace využití GPS
- ❑ sleduje dodržování harmonogramu přepravy:
 - na pozemních komunikacích (automobily, vlaky)
 - na vodních komunikacích (lodě)
- ❑ sledování probíhá v čase a prostoru
- ❑ systém se skládá ze tří segmentů:
 - zařízení pro zjišťování aktuální polohy objektu (GPS aparatura)
 - přenosové cesty informací o poloze (sít' mobilních telefonů GSM)
 - vyhodnocovací a zobrazovací zařízení (monitorovací centrum nebo dispečink - zobrazuje se aktuální poloha objektu)

GIS - aparatury

- ❑ umožňují rychlé a přitom dostatečně přesné pozemní měření
- ❑ vyhovují požadavkům pro tvorbu geografických informačních systémů
- ❑ rychlé doplnění údajů, které nelze získat pomocí dálkového průzkumu Země (DPZ) nebo pomocí fotogrammetrického mapování
- ❑ aparatury určené pro tvorbu GIS využívají kódové nebo fázové měření
- ❑ přesnost aparatur je od několika desítek centimetrů do několika metrů
- ❑ v této kategorii patří k nejznámějším výrobcům: Trimble, Topcon, Leica



Geodetické aparatury

- ❑ v dnešní době se používají pro: tvorbu bodových polí, vytyčovací práce, velkoměřítková mapování (např. pro katastr nemovitostí), sledování deformací stavebních objektů, rektifikaci polohy kolejí vysokorychlostních železnic, vědecké aplikace atd.
- ❑ tyto aparatury používají fázová měření
- ❑ přesnost dosahuje několika milimetrů až centimetrů



Vlivy působící na přesnost měření

- ❑ stejně jako u jiných navigačních systémů, tak i u GNSS je míra přesnosti určení polohy, případně rychlosti ovlivněna působením systematických, náhodných, případně dalších chyb

Systematické chyby

- vznikají při šíření signálu atmosférou
- v této vrstvě není vakuum, a tak zde dochází ke zpoždění signálu (korekce v desítkách metrů)
 - troposférická korekce (vliv počasí) – počítá se z modelu nebo se určuje výpočtem, velikost 2 m až 25 m
 - ionosférická korekce (způsobuje zakřivení dráhy signálu) – chyby se minimalizují matematickým modelováním zpoždění, případně měřením na dvou frekvencích, různé pro kódová a fázová měření, velikost až 10 m
- k těmto chybám dochází při kódovém měření

Nahodilé chyby

- vícenásobné šíření signálu GPS (multipath), až 1 m
 - způsobené odrazem o zemský povrch, střechy budov, vodní plochy nebo jiné předměty (signál nejde přímo na anténu)
 - omezit mnohacestné šíření lze vhodnou anténou, měřením na dvou frekvencích, případně vyšší citlivostí přijímače
- chyba staničních i družicových hodin – určuje se výpočtem nebo se odstraní diferencováním (až 3 m)
- chyba v efemeridách družic (až 3 m)
- nejednoznačné určení celočíselného počtu vlnových délek (ambiquit), určují se výpočtem při zpracování
- lidský faktor (přepoččet souřadnic, špatný elipsoid)

Další chyby

- elevační úhel družic (optimální 10° až 15°)
- rozložení družic nad obzorem
- délka základny u diferenčních metod

Hodnocení výsledků přesnosti

- ❑ přesnost určení polohy ovlivňuje geometrická konfigurace družic během seance (observace)
 - vliv je popsán tzv. DOP parametry (Dilution Of Precision) – zředění (snížení) přesnosti
 - čím lepší konfigurace, tím menší číselné hodnoty DOP a větší přesnost

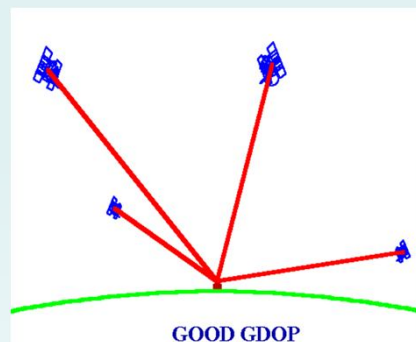
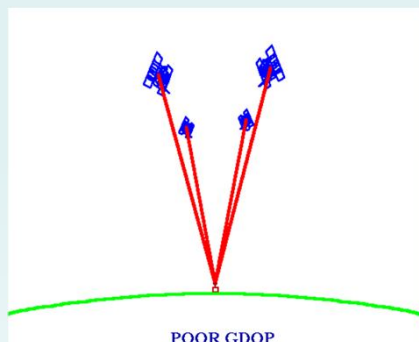
GDOP (Geometric DOP) - charakterizuje vliv na všechny určované veličiny

PDOP (Position DOP) - ovlivňuje prostorové určení polohy

HDOP (Horizontal DOP) - působí na horizontální složku polohy

VDOP (Vertical DOP) - působí na vertikální složku polohy

TDOP (Time DOP) - určuje vliv na určení korekce hodin přijímače



**Děkuji za pozornost
Ing. Miloš Cibulka, Ph.D.**

**Ústav hospodářské úpravy lesů a aplikované geoinformatiky
Lesnická a dřevařská fakulta
uhulag.mendelu.cz
tel.: 545 134 015**