

Globální navigační satelitní systémy (GNSS)

prof. Ing. Martin Štroner, Ph.D.
ČVUT – Fakulta stavební, Praha

1. Úvod

Globální navigační systémy jsou v povědomí veřejnosti spojeny zejména s automobilovou navigací, v dnešní době je běžně dostupná tzv. GPSka jako autonomní navigace včetně mapových podkladů, případně jako součást mobilního telefonu či tabletu. Technologicky se však jedná o systémy vytvořené v sedmdesátých letech minulého století (1973), jejichž princip je zachován a pouze se technicky vylepšuje.

Je vhodné upozornit, že primárně byl první takovýto systém NAVSTAR GPS (viz. dále) vytvořen armádou USA pro vojenské účely jako např. navádění raket, lodí, letadel, chytrých bomb a vojáků na cíl.

Kromě uvedených aplikací se tyto systémy uplatňují při geodetických měřeních, kde zejména v poslední době mění tvář technické a inženýrské geodézie. Jako každá „nová“ a „převratná“ technologie ovšem správně funguje pouze za dodržení konkrétních podmínek, jejich dodržení je nutné zejména pro dosažení předpokládané přesnosti geodetických prací.

Aktuální informace k GNSS jsou snadno dostupné na internetu, webové adresy a další prameny jsou uvedeny v odstavci Literatura.

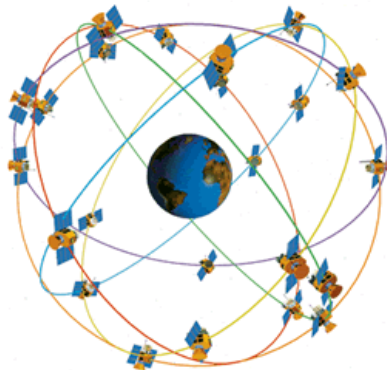
2. Princip fungování GNSS

Princip GNSS je až na technické detaily stejný jako u prvotního návrhu GPS NAVSTAR.

2.1 Základní princip dálkoměrných GNSS

Jedná se o dálkoměrný systém, tj. družice vysílají navigační zprávu, kde uvádějí (kromě jiného) své označení, polohu a čas vyslání. Přijímač, jehož poloha je určována, musí přijmout tyto signály alespoň od čtyř různých družic. Pro každou z družic lze z rozdílu času vyslání signálu družicí a přijetí signálu přijímačem vypočítat jejich vzájemnou vzdálenost, což ve spojení se znalostí polohy družice tvoří kulovou plochu. V průsečíku kulových ploch se nachází přijímač, resp. lze takto určit jeho souřadnice X, Y, Z. V principu by stačily tři družice, ale přijímač nemá ani zdaleka tak přesné hodiny, jak by bylo třeba a proto je nutné počítat čtvrtou neznámou – opravu hodin přijímače. Z hlediska geodetických úloh se jedná o prostorové protínání z délek. Čím více signálů družic je zachyceno, tím je výsledek přesnější.

Důležitou roli hraje z hlediska přesnosti konfigurace družic, např. pokud jsou viditelné družice seřazeny v jedné přímkce (v dlouhé úzké ulici s vysokými domy po obou stranách), v podélném směru bude přesnost odpovídající, v příčném velmi špatná.



Obr. 1 Satelitní systém GPS (<http://hp.ujf.cas.cz/~wagner/popclan/gps/gps.html>)

2.2 Navigační zpracování dat

Pro potřeby navigace se informace přijaté z družic zpracovávají tak, jak bylo uvedeno v předchozím odstavci. Běžná (absolutní) přesnost v poloze je cca 5 m – 10 m, chyby jsou však na menším území z větší části systematické a lze je snížit pomocí diferenciálního měření.

DGPS (diferenciální GPS, lépe by mělo být DGNSS) pracuje tak, že jeden přijímač je umístěn na bodě o známých souřadnicích a stále měří, jím určené rozdíly se jako opravy zavádějí do měření na bodech o neznámých souřadnicích. Existují v některých oblastech radiově vysílané korekce, kde tuto činnost za uživatele provádí poskytovatel (korekce WAAS, EGNOS apod.). Takto lze přesnost zvýšit až na cca 1 m v poloze, využívá se zejména pro potřeby měření v oblasti GIS.

2.3 Geodetické zpracování dat

Zpracování měření pro potřeby geodetické je nepoměrně složitější, využívají se zde mnohé další údaje z radiových signálů. Podstatný rozdíl je, že se současně musí měřit nejméně dvěma speciálními geodetickými přístroji, alespoň jeden musí být umístěn na bodě o známých souřadnicích a vždy se určuje pouze vektor mezi známým a neznámým bodem, tj. rozdíl souřadnic.

V současné době se velmi často využívá tzv. síť referenčních stanic, která se využije místo přijímače na známém bodě, připojení k ní se provádí prostřednictvím internetu, obvykle GSM modemem v reálném čase a lze pak jak měřit, tak vytyčovat. V ČR jsou v provozu tři takové sítě a to CZEPOS (ČUZK), Trimble VRS NOW (Geotronics spol. s r.o.; Trimble) a TOPnet (Geodis Brno, Topcon) a jejich využití je za úplaty. Výhodou je nutnost zakoupit pouze jeden geodetický přijímač.

Podle délky a způsobu měření se rozlišují různé metody, které se také liší přesností:

1. Statická metoda (3 – 5 mm)
2. **Rychlá statická** (5 mm – 10 mm + 1 ppm)
3. Stop and go (10 mm – 20 mm + 1 ppm)
4. Kinematická (20 mm – 30 mm + 3 ppm)
5. **RTK – Real Time Kinematic** (25 mm – 50 mm)

Prakticky výhradně se v praktické geodézii využívá metoda RTK v síti referenčních stanic, případně rychlá statická metoda.

Metody lze rozdělit na postprocesní (během měření se registrují data a posléze se vypočítají výsledky), které lze použít pouze pro měření, nebo real-timeové, které poskytují výsledky okamžitě = v reálném čase; tyto lze využít i pro vytyčování.

2.3.1 Statická metoda

Metoda spočívá v současném kontinuálním měření dvou či více aparatur, doba měření hodiny až dny podle požadované přesnosti, výsledky se získávají zpracováním až po dokončení měření (tzv. postprocessing), dosažitelná přesnost je 3 mm – 5 mm.

2.3.2 Rychlá statická metoda

Jako statická metoda, kratší měření v řádu minut až desítek minut, kratší vzdálenost do maximálně 15 km, dosažitelná přesnost podle vzdálenosti 5 mm až 10 mm + 1 ppm. Metoda postprocesní.

2.3.3 Metoda Stop and Go

Kombinace statické metody a kinematické metody, přijímač měří i při přesunu mezi body a tedy se měření urychluje, na bodě již není nutné měřit dlouho, pouze několik sekund. Během měření nesmí dojít ke ztrátě signálu, jinak je nutná opětovná inicializace. Přesnost 10 mm až 20 mm + 1 ppm. Metoda postprocesní.

2.3.4 Kinematická metoda

Rychlé měření, oba přijímače musí být napojeny na signál stejných družic a měření vždy začíná na bodě o známých souřadnicích. Přesnost 20 mm až 30 mm + 3 ppm. Metoda postprocesní.

2.3.5 Metoda RTK

V základní konfiguraci se měřicí aparatura skládá z přijímače po dobu měření umístěného na bodě o známých souřadnicích, tzv. „base“, a z přijímače, který se pohybuje po určených nebo vytyčovaných bodech, tzv. „rover“. Měření je počítáno v reálném čase, mezi base a rover musí být permanentní datové spojení realizované např. radiomodemy nebo trvalým připojením na internet prostřednictvím GSM.

Base může být nahrazen sítí virtuálních stanic, pak měření probíhá pouze s jedním přijímačem s trvalým připojením na internet k poskytovateli korekcí. Toto řešení je v současné době jednoznačně nejpoužívanější.

2.4 Souřadnicové systémy

Každý GNSS funguje ve „svém“ souřadnicovém systému, např. GPS v geocentrickém WGS-84, a tedy veškeré výsledky zpracování jsou v tomto souřadnicovém systému. Pro běžné použití jsou však potřeba souřadnice v jiném systému, v geodézii obvykle v S-JTSK a Bpv, proto je třeba výsledky měření z GNSS vždy převést z „jeho“ systému do cílového systému transformací, v ČR je Českým úřadem zeměměřickým a katastrálním (ČUZK) dán závazný postup (včetně rovnic a konstant), jak transformaci provést. V současné době programy obsažené v kontroleru přijímače nebo programy pro pracování po měření (pokud jsou zakoupeny v ČR) mívají tuto transformaci vestavěnu.

3. Struktura systému GNSS

Struktura všech systémů GNSS je prakticky totožná, budou zde uvedeny základní informace pro systém GPS NAVSTAR, který je předobrazem všech ostatních. Systém GPS lze rozdělit do 3 segmentů:

- Kosmický.
- Řídící.
- Uživatelský.

3.1 Kosmický segment

Kosmický segment je tvořen družicemi, původně 24, nyní až 32. Družice obíhají ve výšce 20 200 km nad povrchem Země na 6 kruhových drahách se sklonem 55°. Dráhy jsou vzájemně posunuty o 60° a na každé dráze jsou původně 4 pravidelně nyní 5-6 nepravidelně rozmístěné pozice pro družice. Družice váží asi 1,8 tuny a na střední oběžné dráze (MEO, Medium Earth Orbit) se pohybuje rychlostí 3,8 km/s, s dobou oběhu kolem Země 11h 58min (polovina siderického dne).

Družice obsahuje 3 až 4 velmi přesné atomové hodiny, antény pro komunikaci s pozemními kontrolními stanicemi, optické, rentgenové a pulzní-elektromagnetické detektory, senzory pro detekci startů balistických raket a jaderných výbuchů, solární panely a baterie jako zdroj energie. V České republice je nejčtenější viditelnost 8 družic (medián), minimum pak 6, maximum 12 družic, při elevační masce 10° v roce 2008.

Družice jsou několikrát do roka, obvykle plánovaně, odstaveny pro údržbu atomových hodin a korekci dráhy družice. Údržba trvá přibližně 12-24 hodin. Průměrná životnost družice je asi 10 let, obměna kosmického segmentu trvá přibližně 20 let.

3.2 Řídící (a kontrolní) segment

Segment se skládá z několika částí:

- velitelství na letecké základně Los Angeles v Kalifornii v USA.
- řídicí středisko na Schrieverově letecké základně USAF v Colorado Springs.
- 3 povelové stanice, které jsou umístěny na základnách USAF: Kwajalein, Diego Garcia, Ascension Island případně i Cape Canaveral.
- 18 monitorovacích stanic (Monitor Stations).

Řídící a kontrolní segment monitoruje kosmický segment, zasílá povely družicím, provádí jejich manévry a údržbu atomových hodin. Výsledek jejich monitoringu je zveřejňován v navigační zprávě každé družice a jejich platnost je řádově několik hodin

Pokud by došlo k zničení pozemních vojenských stanic řídicího a kontrolního segmentu, přechází družice do režimu AUTONAV (Autonomous Navigation Mode), ve kterém jsou schopny dále pracovat až 6 měsíců. V tomto režimu spolu družice komunikují a porovnávají vzájemně mezi sebou své efemeridy a stav palubních hodin. Výsledky poskytují uživatelskému segmentu v navigační zprávě. Tento režim však nikdy nenastal, nejsou ani známy výsledky jeho případných testů.

3.3 Uživatelský segment

Uživatelé pomocí GPS přijímače přijímají signály z jednotlivých družic, které jsou v danou chvíli nad obzorem. Na základě přijatých dat (časových značek z jednotlivých družic a znalosti jejich polohy) a předem definovaných parametrů přijímač vypočítá polohu antény, nadmořskou výšku a zobrazí přesné datum a čas (GPS čas!). Komunikace probíhá pouze od družic k uživateli, GPS přijímač je tedy pasivní.

Geodetický GNSS přijímač se skládá z antény, přijímače a kontroleru (polní počítač pro nastavení, spuštění a ovládání měření, při měření v reálném čase také k registraci dat) v mnoha variacích a kombinacích uspořádání). V České republice se v současné době využívají přístroje přijímající signál ze systémů GPS a GLONASS (viz kapitola 4). Příklady jsou na dále uvedených obrázcích. Nejedná se o propagaci firem, záměrně nejsou uváděny typy a vlastnosti přístrojů.

4. Vybrané systémy GNSS

Prvním systémem byl GPS NAVSTAR, další systémy se objevují vzhledem k obrovským finančním nárokům pomalu a obvykle se jedná spíše o dosažení strategické nezávislosti nežli o zlepšení kvality měření. Geodetické přístroje a měření s nimi ovšem přesnější je, neboť běžně existují přístroje využívající více systémů najednou (typicky GPS + GLONASS) a zde platí jednoduchá rovnice: Více družic = přesnější výsledek.



Obr. 2 Rover GNSS Trimble na výtyčce (nahore anténa, dole přijímač, uprostřed kontroler)



Obr. 3 Rover GNSS Trimble na výtyčce, uprostřed kontroler s integrovaným přijímačem i anténou, nahore externí anténa.



Obr. 4 Rover GNSS Leica, nahore anténa s integrovaným přijímačem, uprostřed kontroler.



Obr. 5 Základnová stanice Leica (base) na stativu



Obr. 6 Přijímač s anténou Leica pro vytvoření stabilní základnové stanice



Obr. 7 Speciální tvary antén Topcon pro základnové stanice



Obr. 8
Přijímač s anténou Topcon



Obr. 9 Přijímač s anténou
Topcon s kontrolerem na
výtyčce



Obr. 10 Kontroler Topcon

4.1 GPS Navstar

Global Positioning System, zkráceně GPS, je vojenský globální družicový polohový systém provozovaný Ministerstvem obrany Spojených států amerických.

Struktura systému byla již dříve popsána. Původní název systému je NAVSTAR GPS (Navigation Signal Timing and Ranging Global Positioning System), vývoj NAVSTAR GPS byl zahájen v roce 1973 sloučením dvou projektů určených pro určování polohy System 621B (USAF) a pro přesné určování času Timation (US Navy). Mezi léty 1974–1979 byly prováděny testy na pozemních stanicích a byl zkonstruován experimentální přijímač. Od roku 1978–1985 začalo vypouštění 11 vývojových družic bloku I. V roce 1979 byl rozšířen původní návrh z nedostačujících 18 na 24 družic. Od roku 1980 začalo vypouštění družic se senzory pro detekci jaderných výbuchů jako výsledek dohod o zákazu jaderných testů mezi USA a USSR.

V roce 1983 oznámil americký prezident Ronald Reagan, že po dokončení bude GPS k dispozici i pro civilní účely. Počáteční operační dostupnost (IOC) byla vyhlášena 8. prosince 1993, plná operační dostupnost pak 17. ledna 1994, kdy byla na orbitu umístěna kompletní sestava 24 družic.

4.2 Glonass

GLONASS (Globalnaja navigacionnaja sputnikovaja sistema) je globální družicový polohový systém (GNSS) vyvinutý v SSSR a nyní provozovaný ruskou armádou.

Vývoj GLONASS byl zahájen v roce 1970 vytvořením dokumentu Ministerstva obrany SSSR, Sovětské akademie věd a Sovětského námořnictva o vývoji jednotného systému pro navigaci na zemi, na vodě i ve vzduchu, který byl v roce 1976 přijat, a první testovací družice byla vypuštěna v roce 1982. V letech 1996-2001 byla kosmická část systému GLONASS v úpadku. Od roku 2001 (do 2012) je prováděno jeho znovuobnovení do plného operačního stavu. Kosmický segment je projektován na 24 družic, které obíhají ve výšce 19 100 km nad

povrchem Země na 3 kruhových drahách se sklonem 65°. Dráhy jsou vzájemně posunuty o 120° a na každé dráze je 8 symetrických pozic pro družice po 45°. Dnes používané družice Uragan-M váží asi 1,4 tuny a na střední oběžné dráze (MEO, Medium Earth Orbit) se pohybuje rychlostí 3,9 km/s, s dobou oběhu kolem Země 11h 15min.

Řídící a kontrolní segment se skládá z několika částí: řídicí středisko, 3 rozšířené stanice, 5 povelových stanic, 10 monitorovacích stanic.

Řídící a kontrolní segment monitoruje kosmický segment, zasílá povely družicím, provádí jejich manévry a údržbu atomových hodin. Pozemní segment se téměř celý nachází na území Ruské federace. Prezident Ruské federace Vladimir Putin oficiálně podepsal 18. května 2007 výnos o bezplatném uvolnění systému GLONASS pro nevojenské použití.

4.3 Galileo

Navigační systém Galileo je plánovaný evropský autonomní Globální družicový polohový systém (GNSS), který by měl být nezávislou obdobou amerického systému Navstar GPS a ruského systému GLONASS. Jeho výstavbu zajišťují státy Evropské unie prostřednictvím Evropské kosmické agentury (ESA) a dalších institucí.

Původní plány na GNSS Galileo sahají do roku 1999, kdy byl plánován jako veřejný projekt financovaný soukromými investory, od tohoto finančního modelu však investoři odstoupili. Proto Evropská komise přišla s plánem, hradit projekt z rozpočtu EU a posunula spuštění na rok 2012. Dne 28. prosince 2005 byla do vesmíru vyslána první technologická navigační družice pro testování komponent tohoto systému, pojmenovaná Giove-A. Druhá družice, pojmenovaná Giove-B, byla vynesena na oběžnou dráhu 27. dubna 2008. Dne 21. října 2011 byly vyneseny na oběžnou dráhu dva satelity.

Kosmický segment systému má být tvořen 30 operačními družicemi (27+3), obíhajícími ve výšce přibližně 23 tisíc kilometrů nad povrchem Země po drahách se sklonem 56° k zemskému rovníku ve třech rovinách, vzájemně vůči sobě posunutých o 120°. Každá dráha bude mít 9 pozic pro družice a 1 pozici jako zálohu, aby systém mohl být při selhání družice rychle doplněn na plný počet.

4.4 Compass (Beidou-2)

Compass, známý také jako (Beidou-2) je plánovaný globální družicový polohový systém provozovaný vedle GNSS jako GPS a Galileo. Compass má sestávat z celkem 35 družic. 27 z nich je (podobně jako u GPS a Galileo) situováno na středním zemském orbitu, 5 na geostacionární dráze a 3 na geosynchronní dráze. Systém není funkční.

4.5 Další teritoriální systémy

V současné době existují další regionální systémy (např. Indie – Indian Regional Navigational Satellite System; Japonsko - Quasi-Zenith), které jsou však jen plánovaným místním systémem nebo dokonce doplňkem globálního systému, z hlediska geodetických měření v ČR či střední Evropě nemají žádný význam.

5. Závěr

Globální navigační systémy jsou velkým přínosem pro geodetická měření, mají však svá omezení a je nutné je znát a přizpůsobovat jim postupy měření a interpretace výsledků. Na větších prostorách je již v současné době pozice měření s využitím GNSS nezastupitelná, vyžaduje však otevřený výhled na družice a běžně dosažitelná výsledná přesnost v řádu jednotek cm není pro mnoho účelů dostačující. Zároveň se jedná o velmi komplikovanou (a

drahou) technologii, která v žádném případě není neomylná, a zejména zde platí staré geodetické pořekadlo: JEDNO MĚŘENÍ, ŽÁDNÉ MĚŘENÍ. Z hlediska uživatele je přístroj černá krabička (black box), ze které padají kouzelné „přesné“ souřadnice, ale v žádném případě tomu tak není a pro jeho využití platí stejně jako pro jiné technologie v oblasti geodézie nutnost kontroly.

Literatura

- [1] http://cs.wikipedia.org/wiki/Globální_družicové_polohové_systémy .
- [2] http://cs.wikipedia.org/wiki/Global_Positioning_System .
- [3] <http://cs.wikipedia.org/wiki/GLONASS> .
- [4] http://cs.wikipedia.org/wiki/Navigační_systém_Galileo .
- [5] <http://cs.wikipedia.org/wiki/Compass> .
- [6] http://cs.wikipedia.org/wiki/Globální_družicový_polohový_systém .
- [7] Rapant, P.: Družicové polohové systémy. VŠB-TU Ostrava, 2002. 200 str. ISBN 80-248-0124-8.
- [8] He-Chin Chen, Yu-Sheng Huang, Kai-Wei Chiang, Ming Yang, and Ruey-Juin Rau: The performance comparison between GSP and BeiDou-2/COMPASS: A perspective from Asia in Journal of the Chinese Institute of Engineers, Vol. 32, No. 5, pp. 679-689 (2009) 679.