



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
LETECKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AEROSPACE ENGINEERING

DRUŽICOVÉ NAVIGAČNÍ SYSTÉMY A SMĚRY JEJICH VÝVOJE VE SVĚTĚ

GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEMS (GNSS) - THE ACTUAL STATE AND TRENDS OF
FURTHER DEVELOPMENT OVER THE WORLD

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

JIŘÍ LIBERDA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. SLAVOMÍR VOSECKÝ, CSc.

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Letecký ústav

Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Jiří Liberda

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Družicové navigační systémy a směry jejich vývoje ve světě

v anglickém jazyce:

Global navigation satellite systems (GNSS) - the actual state and trends of further development over the world

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Přehled současných GNSS. Metody měření polohy pomocí GNSS. Popis složení a funkcí hlavních částí GNSS. Rozdíly v konstrukcích jednotlivých realizací GNSS. Funkce GNSS v CNS. Přínos GNSS pro letectví. Další možnosti využití GNSS ve společnosti.

Cíle bakalářské práce:

Vypracovat přehled současných GNSS, principů jejich činností, funkcí jejich hlavních částí, metod měření polohy a přínosů pro letectví, pro CNS i pro další uživatele.

Seznam odborné literatury:

- [1] KAYTON, M., FRIED, R.W.: Avionics Navigation Systems, second edition, John Wiley & Sons, Inc., ISBN 0-471-54795-6, New York, 1996;
- [2] VOSECKÝ, S. a kol.: Základy leteckých navigačních zařízení, učebnice Univerzity obrany v Brně (VAAZ), Brno, 1988;
- [3] PŘIBYL, K., KEVICKÝ, D.: Letecká navigace, Tisk, knižní výroba, Brno, 1980;
- [4] KULČÁK, L. a kol.: Air Traffic Management, Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., ISBN 80-7204-229-7, Brno 2002;
- [5] KULČÁK, L., BLAŠKO, P., DENDIS, T., PALIČKA, L.: Zabezpečovacia letecká technika, Žilinská univerzita v Žiline, ISBN 80-7100-584-3, Žilina, 1999;
- [6] Učebnice pilota, nakladatelství Svět křídel, ISBN 80-85280-89-2, Praha, 2003;
- [7] STAVOVČÍK, B.: Obecná navigace, Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., Brno 2008;
- [8] VOSECKÝ, S.: Radionavigace, Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., ISBN 80-7204-448-6, Brno 2006;
- [9] KULČÁK, L. a kol.: Učebnice pilota vrtulníku PPL(H), část II, Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., ISBN 978-80-7204-638-6, Brno 2009;

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Slavomír Vosecký, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011.

V Brně, dne 20.11.2010

L.S.

prof. Ing. Antonín Pištěk, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Abstrakt

Cílem této práce je podat ucelený přehled všech druhů GNSS ve světě. Jsou popsány z hlediska architektury i funkce. Popsány jsou také přínosy pro civilní letectví a další možnosti využití GNSS ve společnosti.

Klíčová slova

navigace, družicová navigace, družicové navigační systémy, satelitní navigace

Abstract

The goal of this thesis is to provide an overview of the kinds of GNSS in the world. They are described in terms of architecture and function. It also describes an applicability of GNSS in civil aviation and other general serviceability of GNSS.

Key words

navigation, satellite navigation, global navigation satellite systems (GNSS)

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vyřešil samostatně s pomocí literatury a internetových zdrojů, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

V Brně dne 27. 5. 2011

Jiří Liberda

Bibliografická citace mé práce:

LIBERDA, J. *Družicové navigační systémy a směry jejich vývoje ve světě*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 43 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Slavomír Vosecký, CSc..

Poděkování

Děkuji doc. Ing. Slavomíru Voseckému, Csc. za jeho trpělivost. Dále bych chtěl poděkovat mé rodině a přátelům za podporu. V neposlední řadě také Bohu, který doutnající knot nehasí a nalomenou třtinu nedolomí.

Obsah

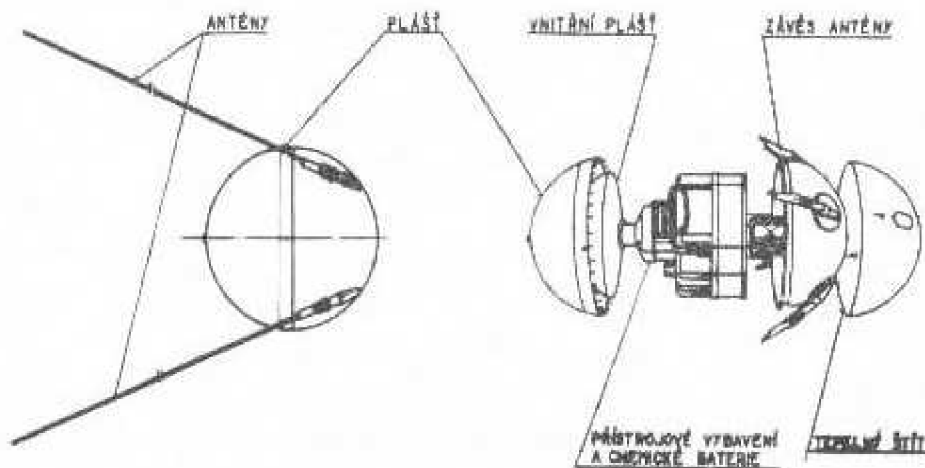
1. Úvod.....	8
1.1 Předchůdci.....	8
2. GNSS.....	9
2.1 Obecná architektura GNSS.....	9
2.2 Metody měření.....	9
2.3. Chyby ovlivňující přesnost.....	11
2.4 GPS.....	12
2.4.1 Architektura.....	13
2.4.2 Služby a signály vysílané družicemi GPS.....	15
2.4.3 Navigační zpráva.....	19
2.5 GLONASS.....	20
2.5.1 Architektura.....	21
2.5.2 Služby a signály.....	22
2.5.3 Navigační zpráva.....	23
2.6 Galileo.....	23
2.6.1 Architektura.....	24
2.6.2 Služby a signály.....	24
2.6.3 Navigační zprávy.....	25
2.7 Compass.....	26
2.7.1 Výstavba.....	26
2.7.2 Služby a frekvence.....	26
3. Regionální systémy.....	27
3.1 IRNSS.....	27
3.2 QZSS.....	27
4. Rozšiřující systémy.....	28
4.1 Diferenční GPS.....	28
4.2 SBAS.....	28
4.3 ABAS.....	29
4.4 GBAS.....	30
5. Využití GNSS.....	31
5.1 Letectví.....	31
5.2 CNS.....	31
5.3 Životní prostředí.....	32
5.4 Zemědělství.....	32
5.5 Geodézie.....	32
5.6 Vesmír.....	32
5.7 Silniční doprava.....	32
5.8 Železniční doprava.....	32
5.9 Veřejná bezpečnost.....	33
5.10 Námořní doprava.....	33
5.11 Časové služby.....	33
6. Závěr.....	34
7. Seznam použitých zdrojů.....	35
8. Seznam zkratk.....	37
9. Seznam příloh.....	40
10. Přílohy.....	41

1. Úvod

Globální družicové navigační systémy (GNSS) jsou jediným řešením, jak určit svou polohu kdykoli a kdekoli na Zemi, případně v jejím blízkém okolí. Jejich výhodou je nezávislost na přírodních podmínkách, které v daném regionu panují a také fakt, že malým počtem vysílačů (družic) pokryjí velká území.

1.1 Předchůdci

Počátky radionavigace se datují do 40. let 20. století. Nejprve byly vysílače umísťovány na zemi, když však v roce 1954 dokázal tehdejší Sovětský svaz dopravit do vesmíru první člověkem vyrobenou družici Sputnik 1. Začaly úvahy, jak využít vlastností, které družice poskytují, ve prospěch navigace. Díky známé pozici na Zemi, bylo možné vypočítat polohu družice. Vědci se snažili přijít na to, jak obrátit tento proces, tedy na základě znalosti přesné trajektorie družice určit polohu na Zemi. K určení dráhy družice se využívají Keplerovy zákony. Tím se družice Sputnik stala prvním krokem k realizaci GNSS.



Obr. 1.1 - Sputnik 1 [1]

Prvním družicovým navigačním systémem byl americký Transit, ten byl využíván pro potřeby námořní dopravy. Spuštěn byl roku 1964. Zprvu pro navigaci letadlových lodí a ponorek, později byl uvolněn také pro civilní využití. K určování polohy využíval Dopplerova posuvu (změna frekvence signálu vysílaného pohybujícím se objektem). Byl tvořen 6 družicemi, které ještě dnes krouží kolem Země, přestože systém již dávno není funkční.

V roce 1967 byl vypuštěn jeho ruský protějšek Parus. Využíval také Dopplerova posuvu a byl tvořen 9 družicemi. Opět se jednalo o vojenský projekt.

Prvním skutečně globálním navigačním systémem se stal NAVSTAR/GPS. Ten byl dlouhou dobu jediným funkčním řešením. Dnes je však situace úplně jiná, Rusko opět začalo budovat systém GLONASS. Evropa a Čína realizují své vlastní systémy.

2. GNSS

2.1 Obecná architektura GNSS

Vesmírný segment

Skládá se z družic. Každá družice nese na své palubě počítač, velmi přesné atomové hodiny a vysílače signálů. Napájení je zajištěno díky solárním panelům. Jsou také schopné, díky raketovým motorům, upravit svou polohu na základě informací, dodaných z hlavního řídicího centra. Obíhají po přesně daných oběžných drahách. Pro každý systém je dána výška, na které družice obíhají, sklon této dráhy vzhledem k rovníku, počet oběžných drah a počet družic, na těchto drahách rozmístěných.

Pozemní segment

Skládá se z hlavního řídicího centra, stanic pro komunikaci s družicemi a ze sítě sledovacích stanic.

Monitorovací stanice přijímají data z družic a posílají je do hlavního řídicího centra. Rozmístění monitorovacích stanic je navrženo tak, aby umožňovalo sledování co největšího počtu družic po co nejdelší dobu.

Hlavní řídicí centrum monitoruje stav družic, vyhodnocuje jejich polohu, aktualizuje parametry družic, zajišťuje synchronizaci hodin na družicích s hodinami určujícími systémový čas, monitoruje vysílané signály. Je zodpovědné za řízení celého systému.

Stanice pro komunikaci s družicemi předávají vypočítané parametry z hlavního řídicího centra družicím.

Uživatelský segment

Konkrétní uživatelské zařízení/přijímač vyhledává vhodnou konstelaci družic. Měří pseudovzdálenosti k družicím. Zpracovává data z družic, pokud jsou k dispozici i korekční data (DGPS, WAAS, LAAS, EGNOS...), zahrnuje je do výsledků. Výsledky mohou být zobrazeny na displeji, nebo mohou být zpracovány v rámci navazujícího systému (př. řízení). Vybaveny jsou přesným oscilátorem (atomové hodiny by byly nepraktické a drahé). Každé uživatelské zařízení je tvořeno anténou, navigačním přijímačem a navigačním počítačem.

2.2 Metody měření

Všechny současné GNSS systémy jsou vybudovány jako pasivní dálkoměrné systémy. Nejprve je vypočítána pseudovzdálenost k družicím a následným protínáním kulových ploch je určena poloha. K určení vzdáleností jsou používány 3 metody (úhломěrná metoda zde není uvedena, protože se v praxi nepoužívá):

- Kódová
- Frekvenční
- Dopplerova

Kódová metoda

Přijímač určuje svou vzdálenost k družicím na základě doby šíření signálu. V ideálním případě platí:

$$d_i = c \cdot \Delta t_i$$

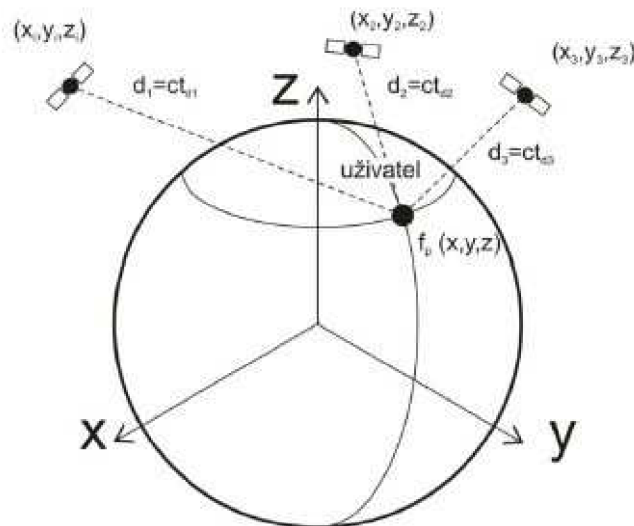
kde c je rychlost šíření světla.

Protože se jedná o pasivní systém, uživatelské zařízení nezná čas vyslání signálu. Řešení spočívá v časové synchronizaci družice a uživatelského zařízení. Synchronizace počátku měření se u GNSS dosahuje tak, že:

- celý systém pracuje v jednotném čase (systémový čas),
- družice ve své navigační zprávě vysílá informaci o času vyslání signálu
- přijímač emituje signál stejného tvaru jako družice (tj. kopie signálu družice) a jeho posouváním v čase přesně synchronizuje opakovací periodu cyklů svého vnitřního času s časem družice tím, že nastavuje emisi „svého“ signálu do času, kdy na anténu uživatelského zařízení přichází signál z družice. Tímto procesem přijímač uživatelského zařízení zjišťuje okamžik příchodu signálu družice na svou anténu. [2]

Protože oscilátory nedosahují takových parametrů, jakých atomové hodiny, vždy bude přítomen časový posun ΔT . Tudíž výpočet není určena skutečná vzdálenost, nýbrž tzv. pseudovzdálenost. K pseudovzdálenosti je potřeba připočítat dráhu, jakou urazí signál za dobu ΔT .

V případě určování 3D polohy přijímače je zapotřebí určit vzdálenost ke čtyřem družicím – je potřeba určit 4 neznámé parametry ($X, Y, Z, \Delta T$).



Obr. 2.1 – Měření pseudovzdáleností [3]

Fázová metoda

Fázová metoda vůbec nepoužívá dálkoměrné signály. Vychází z předpokladu, že pokud známe počet vlnových délek rádiové vlny, které se nacházejí mezi přijímačem a vysílačem v okamžiku měření, jsme schopni určit vzdálenost mezi přijímačem a vysílačem. Tento počet se skládá z celočíselné části a desetinné části. Určení desetinné části je relativně přesné. Komplikace nastávají při určování celočíselné části – označované termínem celočíselná nejednoznačnost. Jsou však vyvinuty metody, kterými lze tuto hodnotu určit. V okamžiku, kdy je určena hodnota číselné nejednoznačnosti, začne systém průběžně sledovat změny fázového posunu a počtu celých vln. Tím určí svou polohu.

Celkově je tato metoda přesnější, nesmí však dojít k přerušení signálu. Při přerušení není možno určit celočíselné násobky nosné vlny a je nutné opakovat měření.

Dopplerovská metoda

U této metody je využit Dopplerův posun. V důsledku pohybu družice vůči přijímači dochází k průběžné změně frekvence. Tato změna je určitou dobu sledována a pak je na základě získaných údajů vypočtena změna radiální vzdálenosti mezi družicí a přijímačem. Poloha přijímače pak může být vypočtena z těchto rozdílů vzdáleností. Využívá se především k určování rychlosti přijímače. [4]

2. 3. Chyby ovlivňující přesnost

Chyby způsobena přijímačem (šumem obvodů)

- závislé na typu přijímače a jeho konstrukci
- chyba 1,5 m

Ionosférické a troposférické refrakce

- jsou ovlivňovány procházející rádiové vlny
- eliminovat se dá dvoufrekvenčním měřením
- korekce jsou obsaženy v navigační zprávě
- chyba 5 m - ionosféra
- chyba 0,5 m - troposféra

Chyby v určení efemerid

- narůstá s časem od poslední opravy
- chyba 2,5 m

Chyby měření času

- omezuje se zvyšováním frekvenční stability hodin přijímače i družice
- chyba 2 m

Multipath (vícecestné šíření signálu)

- způsobeny odrazy signálu družice v blízkosti antény (např. odrazem od povrchu letadla)
- neexistují korekce – je nutné vhodně umístit přijímač
- chyba 1 m

Geometrie rozmístění družic

- používá se ukazatel DOP (Dilution of Precision) – určuje, jak velký bude mít vliv geometrické uspořádání družic vzhledem k přijímači v okamžiku měření. Jeho minimální (tedy ideální) hodnota se rovná jedné.
- rozděluje se na několik typů:

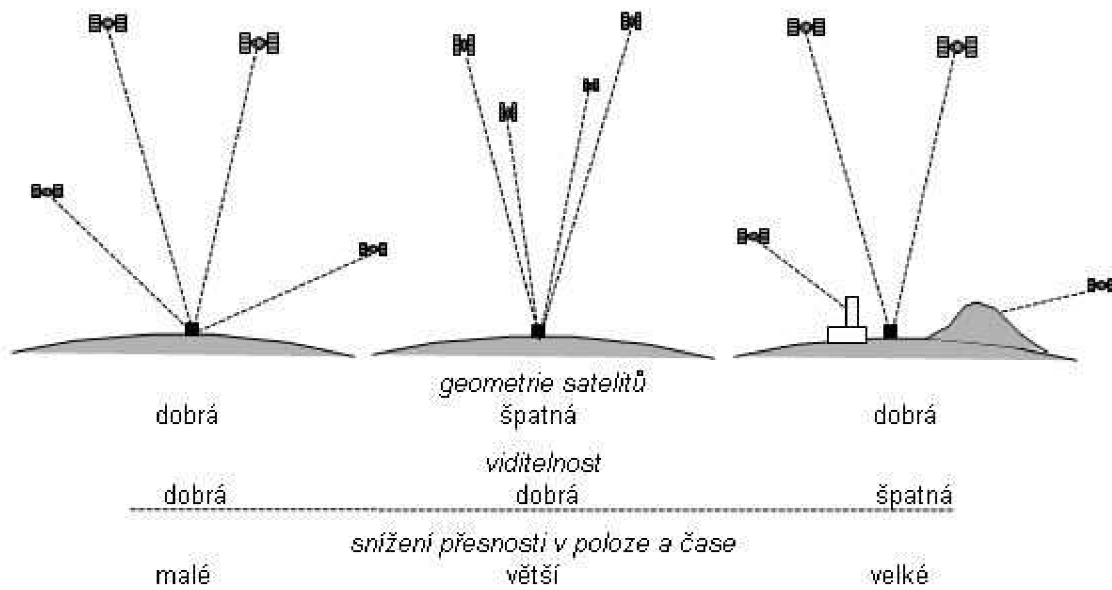
HDOP – chyby v horizontálním směru

VDOP – chyby ve vertikálním směru

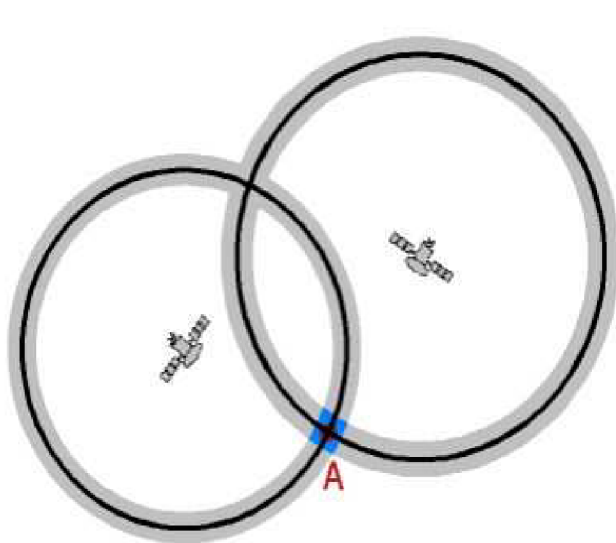
PDOP – chyby v prostorové poloze

GDOP – chyby v poloze a čase

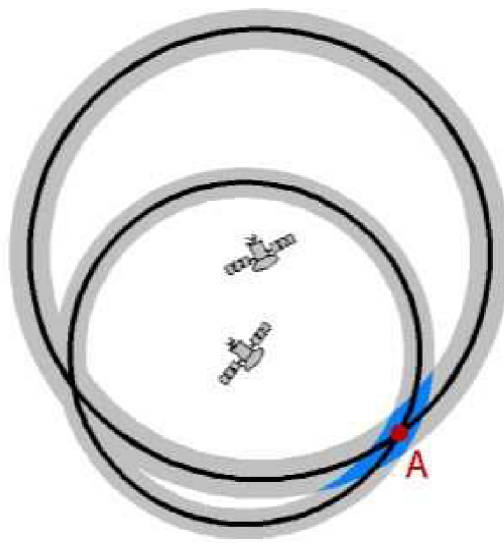
TDOP – chyba polohy vlivem chyb měření času



Obr. 2.2 – Vhodnost konstelace družic [5]



Obr. 2.3 – Malá hodnota DOP [6]



Obr. 2.4 – Velká hodnota DOP [6]

2.4 GPS

NAVSTAR/GPS (NAVigation Satellite Timing And Ranging/Global Positioning System) můžeme bezesporu označit za nejvýznamnější navigační družicový systém dnešní doby. Jedná se o systém dvojího užití, jak pro armádní, tak pro civilní aplikace.

Koncept GPS byl vypracován v roce 1973. První družice byla vypuštěna roku 1978 a plně operační způsobilosti dosáhl dne 17. 7. 1995.

Byl vyvinut Ministerstvem obrany Spojených států amerických.

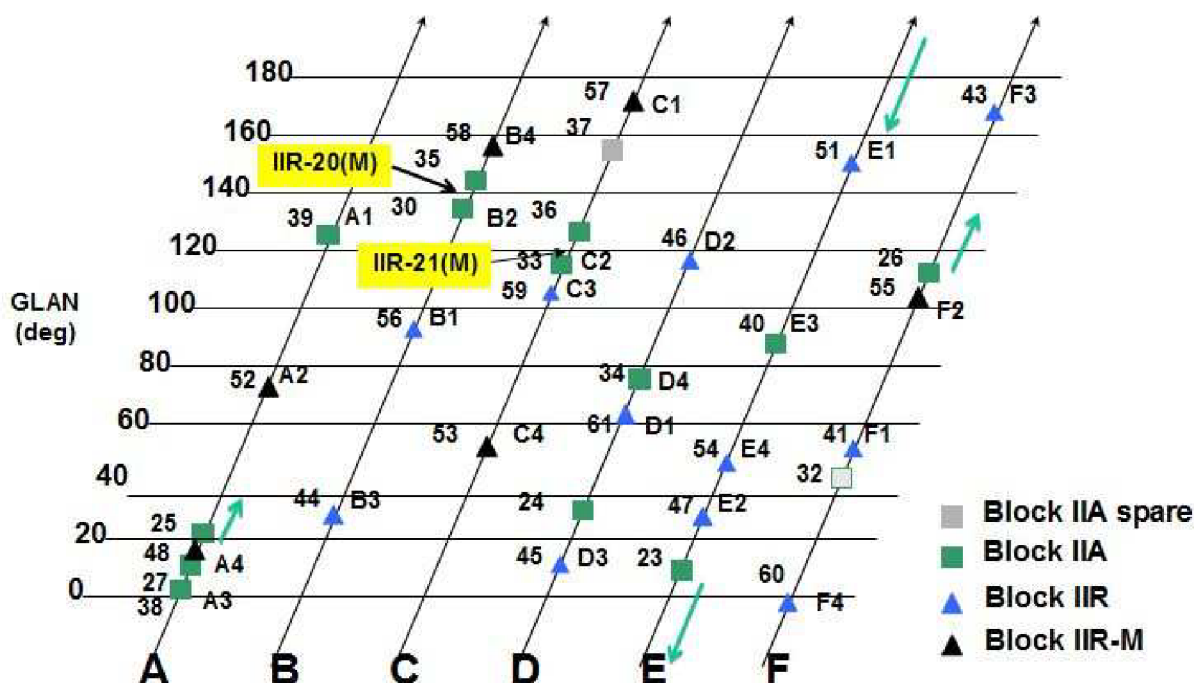
GPS je pasivní dálkoměrný systém. Souřadnice polohy vztahuje ke geocentrickému Světovému Geodetickému Systému z roku 1984 (WGS 84).

Pracuje v systémovém čase označovaném GPST (GPS Time), ten je určován hlavními kontrolními hodinami a od UTC (Universal Time Coordinated) se neliší více než o 1 ms. Čas je udáván v týdnech a sekundách. Protože GPST nepočítá s přestupnými sekundami, zpožďuje se za UTC. Korekce jsou obsaženy v navigační zprávě. Začátek byl stanoven na 00:00 hod. Dne 6. 1. 1980.

2. 4. 1 Architektura

Vesmírný segment

Vesmírný segment je tvořen 24 satelity, které obíhají po téměř kruhových drahách ve výšce 20200 km nad zemským povrchem. Sklon je 55° vzhledem k rovníku, doba oběhu činí 11hodin a 58 minut. Jsou rozmístěny na 6 drahách, přičemž na každé dráze se nacházejí minimálně 4 satelity. Díky této konstelaci je dostupný signál minimálně ze 4 satelitů, je tedy možné určit třídímní svou polohu a to kdykoliv a kdekoliv na Zemi. V ideálním případě může být signál dostupný až ze 12 satelitů.



Obr. 2.4 – Vesmírný segment GPS [7]

Celkově bylo na oběžnou dráhu umístěno 6 generací družic. Dnes již jsou mimo provoz družice Bloku I a Bloku II. Sedmá generace, označovaná jako Blok III, je v současné době ve stádiu vývoje.

Blok I - na těchto družicích nebyla zavedena SA (Selective availability) ani A-S (Anti-Spoof), signál byl tedy volně přístupný. Sloužily především k testům. Předpokládaná životnost byla 3 roky, nicméně některé družice byly v provozu i 10 let (v současnosti jsou již všechny vyřazeny z provozu).

Blok II/IIA - zde již byla zavedena SA a začalo se šifrování, to kvůli ochraně před používáním neautorizovanými uživateli. Navíc u družic Bloku IIA bylo dosaženo jisté míry samostatnosti na řídicím segmentu, po 180 dní jsou družice schopny samostatně pracovat bez

povelů, udílených řídicím střediskem. Byly navrženy a postaveny firmou Rockwell International, stejně jako Blok I.

Blok IIR - k možnosti pracovat 180 dní bez zásahu řídicího střediska se přidala také schopnost komunikace mezi jednotlivými satelity a schopnost určování vzájemné vzdálenosti. To vede k možnosti rychle detekovat anomálie a informovat o těchto anomáliích uživatele, aniž by bylo do procesu zapojeno řídicí středisko.

Blok II R-M - zaveden nový vojenský kód tzv. M – Code a to na obou frekvencích (L1, L2). Dále pak byl zaveden další civilní signál L2C na frekvenci L2.

Blok II F - zavedení dalšího (třetího) civilního signálu na frekvenci L5. Smlouva byla podepsána s firmou Boeing, zakázka počítá s 12 satelity s životností 12 let.

Blok III - družice této generace jsou nyní ve fázi vývoje. Je plánováno zavedení dalšího civilního signálu L1C, tento signál by již měl být kompatibilní s evropským systémem Galileo a japonským systémem QZSS. Navíc už zde není začleněna funkce SA. Plánované vypuštění družic je stanoveno na rok 2014, předpokládaná životnost 15 let.



Obr. 2.5 – GPS IIF [8]



Obr. 2.6 – GPS III [9]

Pozemní segment

Dlouhou dobu byl modernizován pouze vesmírný segment, ale v posledních letech došlo ke změně a začala také modernizace pozemního segmentu. Byly postaveny nové pozorovací stanice, byla modernizována výpočetní technika. Program modernizace pozemního segmentu je označován zkratkou OCX (Advanced Control Segment).

Je vybudováno 21 monitorovacích stanic, které jsou rozmístěny po celém světě. Tyto stanice vybudovaly a spravují 3 organizace:

- USAF (U.S. Air Force) – 6 stanic

- NGA (National Geospatial – Intelligence Agency) – 12 stanic
- IGS (International GNSS Service) – 3 stanice

Hlavní řídicí středisko je umístěno na letecké základně Schriever v Colorado Springs. Záložní je na Mysu Canaveral (Gaithersburg). Vysílají v pásmu S (2000 – 4000 MHz)



Obr. 2.7 – Časový plán modernizace GPS [10]

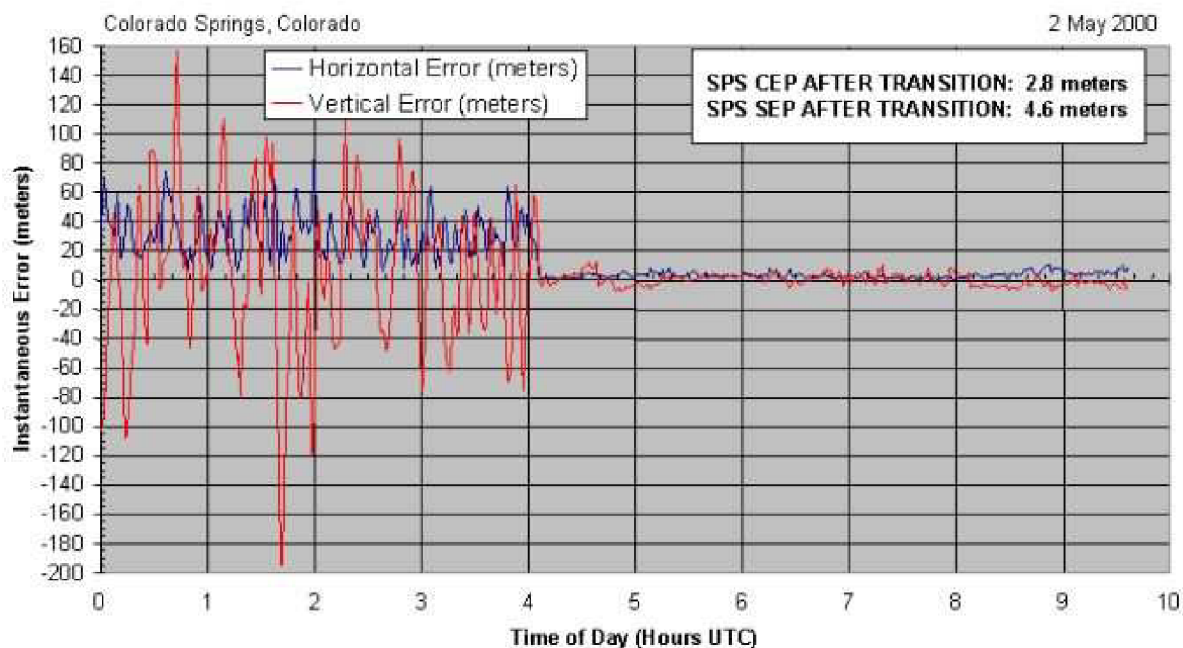
2. 4. 2 Služby a signály vysílané družicemi GPS

Jsou poskytovány dvě základní služby:

- **SPS** (Standard Positioning Service) – signály této služby mají nosnou frekvenci L1, která je modulována kódem C/A. Je volně přístupná všem uživatelům. Celková chyba polohy je 100 m/95% horizontálně, 156 m/95% vertikálně a chyba měření času je 340 ns/95% .
- **PPS** (Precise Positioning Service) – signály jsou vysílány na dvou frekvencích (L1, L2). Díky tomu je možno určit zpoždění signálů při průchodu ionosférou, tudíž je přesnější. Je poskytována pouze autorizovaným uživatelům.

Když byla provedena měření, která by ověřila předpokládané vzájemné odchylky služeb SPS a PPS, bylo zjištěno, že rozdíl není tak velký, jak se předpokládalo. Bylo tedy rozhodnuto zavést do služby SPS umělou chybu. Tato technologie je označována jako SA. Ta byla vypnuta 2. 5. 2000.

Jaký vliv měla technologie SA je patrné z obr.xy. Vertikální a horizontální chyby vnášené SA, prudce poklesly při vypnutí této technologie.



Obr. 2.8 – Graf znázorňující změnu chyb po vypnutí SA [11]

Družice vysílají na dvou nosných frekvencích L1 (1575,42 MHz) a L2 (1227,60 MHz). Třetí frekvenci, která zatím ještě není využívána je frekvence L5 (1176,45 MHz). Ty jsou odvozeny ze základní frekvence $f_0=10,23\text{MHz}$ a modulovány pak jsou kódy C/A, P – kódem a M – kódem. K oddělení signálů je použita metoda CDMA (Code Division Multiple Access).

C/A kód (Coarse/Acquisition) je základním kódem standardní polohové služby (SPS). Moduluje nosnou frekvenci L1. Jedná se o tzv. PRN (PseudoRandom Noise) kód. Je to posloupnost 1023 nul a jedniček. Přičemž každá družice má svůj vlastní C/A kód. Ten pak odlišuje družici od ostatních – tzv. PRN číslo. Jeho frekvence je 1,023 MHz a posloupnost se opakuje se každou milisekundu. Není šifrován, je volně přístupný civilním uživatelům.

P – kód (Precision code) je základním kódem přesné polohové služby (PPS). Moduluje obě nosné frekvence. Jeho frekvence je 10,23 MHz a posloupnost se opakuje každých sedm dní. Opět se jedná o PRN kód. P – kód, je dále šifrován a vzniká tzv. kód P(Y). Přístupný je pouze autorizovaným uživatelům. Tato technologie je označována jako A – S (Anti - Spoofing) a znemožňuje, aby do systému pronikl cizí vysílač, který by ovlivňoval výsledky služby PPS. P-kód umožňuje měřit zdánlivou vzdálenost mezi přijímačem a družicemi s vyšší přesností díky použití rychlejšího a delšího kódu a díky možnosti měřit na dvou frekvencích

M – kód (Military code) je vojenský kód. Moduluje obě nosné frekvence. Nese novou navigační zprávu MNAV (Military Navigation), která je obdobou CNAV (viz níže).

V rámci modernizace je plánováno zavedení dalších civilních signálů. Plánované signály jsou následující:

L2C (1227,60 MHz)

Družice schopné vysílat tento signál začaly být vysílány na orbit v roce 2005. Předpokládaná dostupnost na 24 satelitech je v roce 2016. Při využití signálu L1 C/A a použití

dvou-fázového přijímače bude možno, určovat ionosférické korekce, čímž se zvýší hodnota přesnosti až na úroveň vojenských kódů. Jedná se však o kód určený pro civilní aplikace, mimo aplikace SoL (Safety of Life).

Další výhody oproti L1 C/A jsou především:

- robustnost signálu (odolnost vůči šumu a interferencím)
- rychlejší detekce signálu (delší a rychlejší kód)
- větší vysílací výkon

L5 (1176,45 MHz)

Vypouštění družic započalo v roce 2010, v roce 2019 by již mělo být schopno vysílat signál všech 24 satelitů. Tento signál je především určen pro tzv. SoL služby, tedy i letectví. Využívá vysoce chráněné ARNS rádiové pásmo. Je odolnější proti rušení, díky širšímu pásmu.

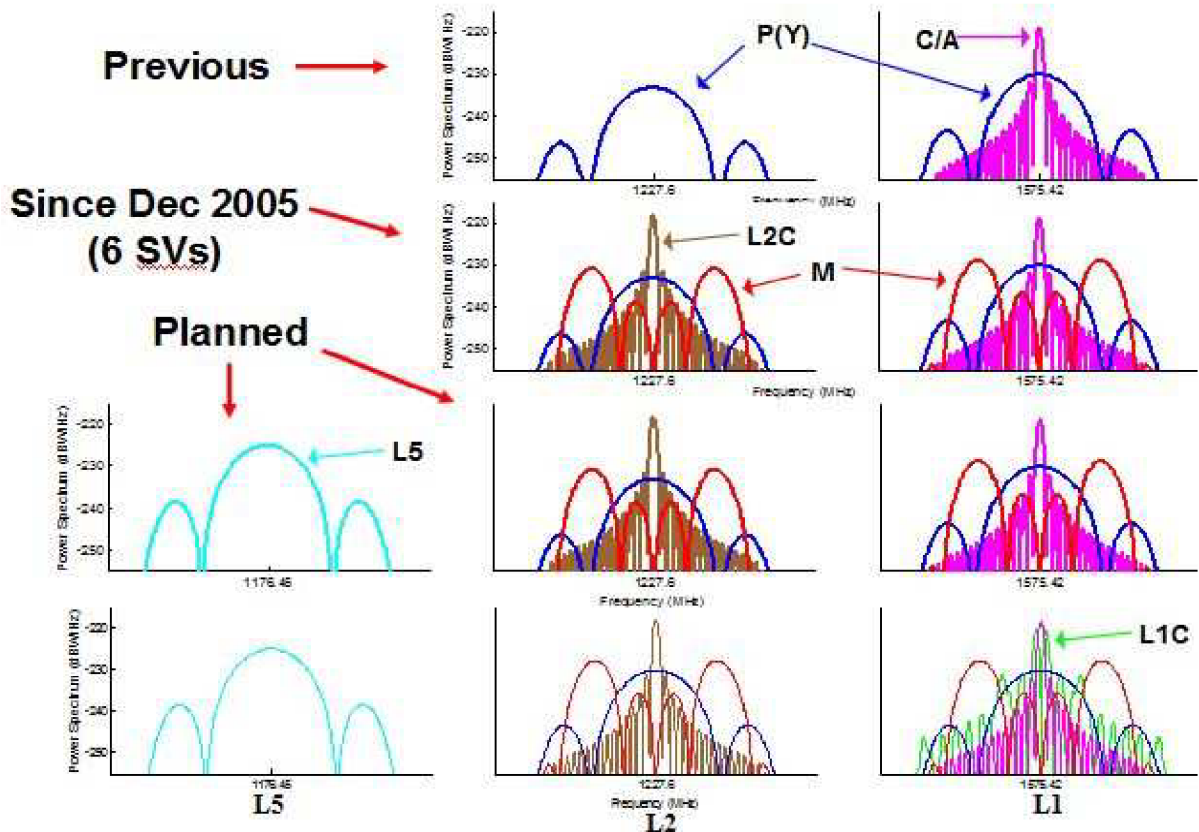
Signál se skládá ze dvou komponent:

- I5 (In - Phase) - Data signal – spolu s CNAV
- Q5 (Quadrature) - Pilot signal

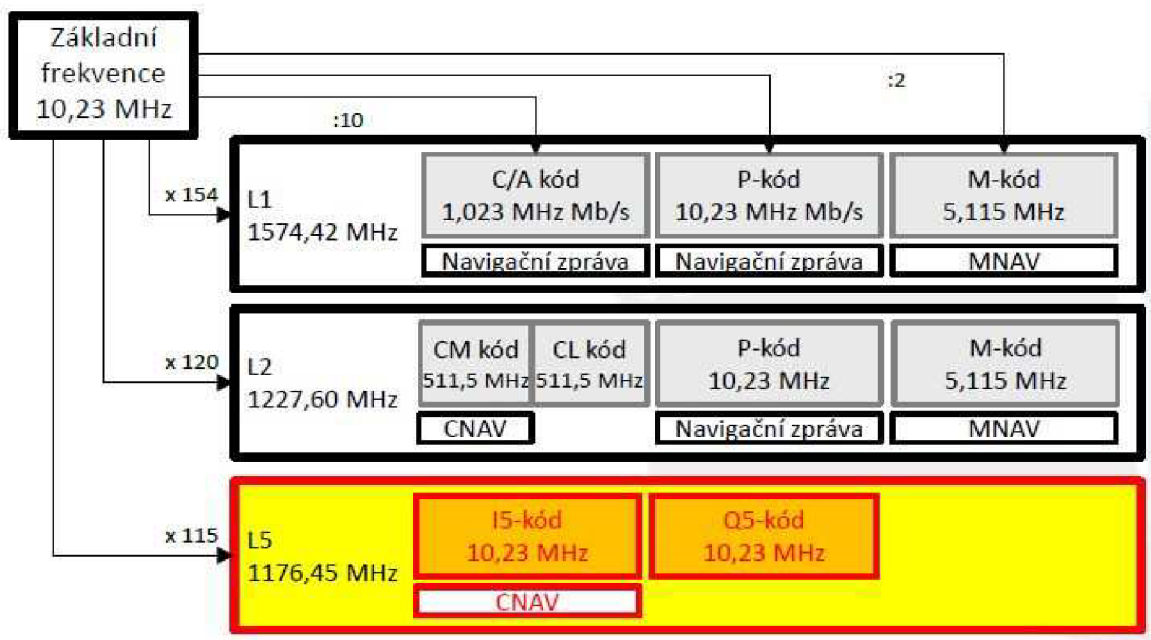
Tento signál nebude přenášet zprávy, dokud nebude funkční OCX

L1C (1575,42 MHz)

Vypuštění družic schopných vysílat tento signál je naplánováno na rok 2014, přičemž v roce 2021 by již mělo být schopno vysílat signál všech 24 satelitů. Tento signál je navrhnut tak, aby umožnil vzájemnou spolupráci GPS a dalších družicových navigačních systémů. Bude přijat jako mezinárodní standard pro další poskytovatele.



Obr. 2.9 – I. Přehled signálů GPS [12]



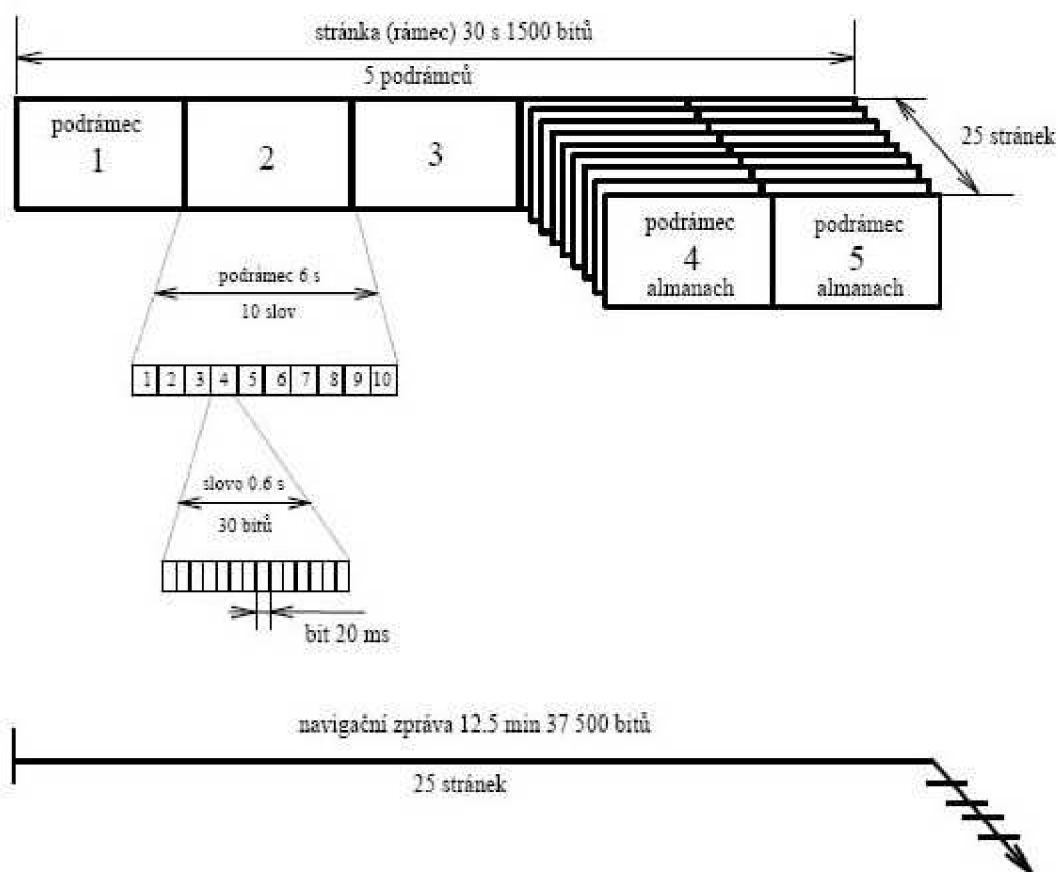
Obr. 2.10 – II. Přehled signálů GPS[13]

2. 4. 3 Navigační zpráva

Každá navigační zpráva obsahuje [4]:

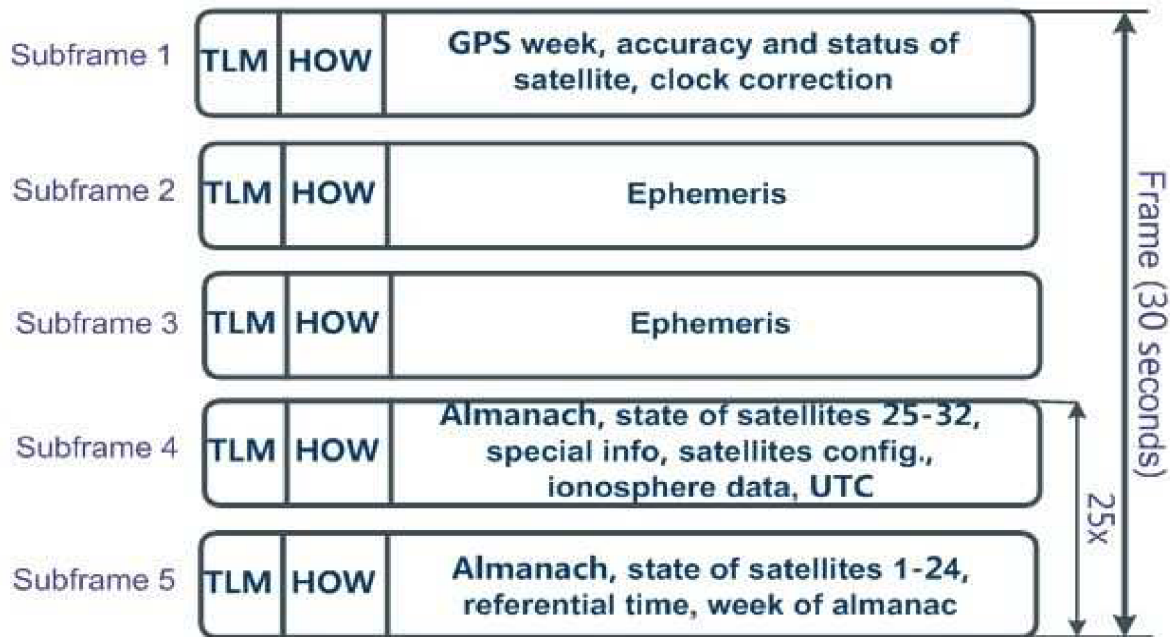
- čas vysílání počátku zprávy
- přesné keplerovské efemeridy družice
- údaje umožňující přesně korigovat čas vysílání družice
- almanach
- koeficienty ionosférického modelu
- stav družice (angl. health) atd.

Navigační zpráva obsahuje 25 stránek a její odvysílání zabere 12,5 minuty. Každá stránka je tvořena pěti podrámeči o délce 6 sekund a obsahu 300 bitů. Odvysílání jednoho bitu zabere 20 ms.



Obr. 2.11 – Struktura navigační zprávy [14]

Obsah jednotlivých podrámečů je patrný z Obr. 2.12:



Obr. 2.12 – Obsah navigační zprávy [15]

Nově zavedené signály (L2C, L5, L1C) již nebudou vysílat výše popsanou zprávu, ale modernizovanou, tzv. CNAV (Civil Navigation) zprávu. Ta se od původní zprávy neliší svým obsahem, ale uspořádáním. Místo současných rámců a podrámců, jsou využity pakety o obsahu 300 bitů a délce 12 sekund. CNAV struktura má vlastní zprávy, které mohou být vysílány ve flexibilním pořadí s různými cykly opakování [http://www.insidegnss.com/node/1445]. Dále také umožňuje nést 63 různých zpráv. Díky takto flexibilní zprávě je možné další rozšíření.

2.5 GLONASS

GLONASS (Globalnaja navigacionnaja sputnikovaja sistema) je dálkoměrný pasivní systém. Předcházela mu systém Cikada. Správu a rozvoj řídí Úřad ruských vojenských vesmírných sil.

První družice byla vypuštěna roku 1982 a plné operační způsobilosti dosáhl v roce 1996. Vlivem nedostatečného financování ze strany ruské vlády, došlo k jeho postupné degradaci (v provozu zůstalo jen 6 družic). Až v roce 2001 začaly snahy o jeho znovuoobnovení. V současnosti již dosáhl plné operační způsobilosti a stává se tak plnohodnotným konkurentem/partnerem amerického GPS.

Své souřadnice vztahuje ke geocentrickému referenčnímu systému PZ 90 (Parametri Zemli 1990), respektive od 20. 9. 2007 k jeho modifikované verzi PZ 90.02. Transformace mezi PZ 90.02 a ITRF 2000 zahrnuje pouze posun počátku podél X, Y, Z o -36 cm, +8 cm a +18 cm [16]

Pracuje v systémovém čase označovaném GLONASST (GLONASS Time). Jeho vztah k UTC (SU) je:

$$\text{GLONASST} = \text{UTC (SU)} + 3\text{hod.}$$

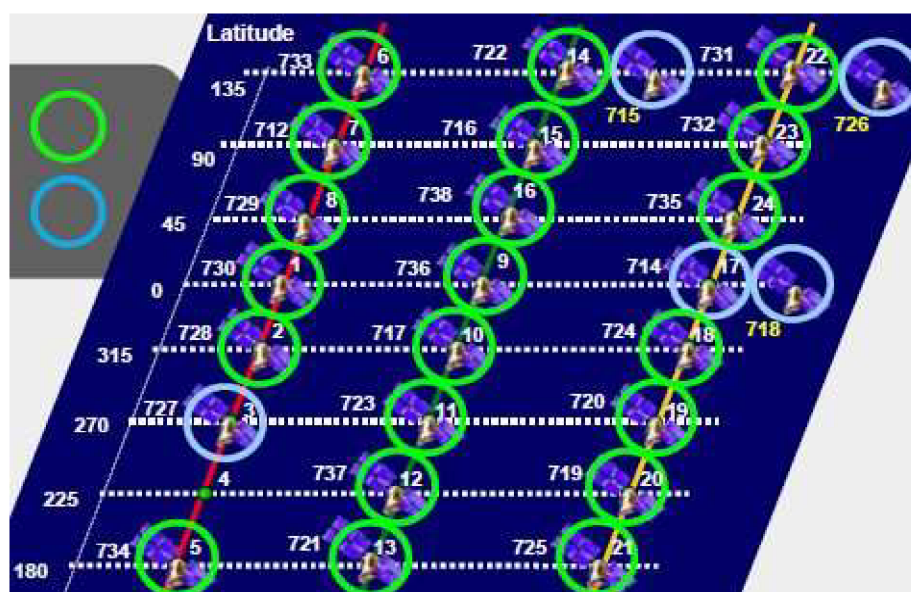
Mezi GLONASST a UTC (SU), mimo již od začátku zavedeného posunu, není větší rozdíl než 1ms. Počítá s přestupnými sekundami. Korekce probíhá jednou ročně a to v noci z 31.

prosince na 1. ledna. Rozdíl mezi GPST a GLONASST by neměl být větší než 30 ns.

2. 5. 1 Architektura

Vesmírný segment

Stejně, jako GPS, má i GLONASS 24 družic, které jsou rozmístěny ve třech dráhových rovinách se sklonem $64,8^\circ$ vzhledem k rovníku. Obíhají ve výšce 19100 km a oběžná doba je 11 hodin 15 minut. Přičemž 21 družic je aktivních a 3 jsou záložní. Díky tomuto uspořádání je vždy viditelných minimálně 5 satelitů (99%), maximálně pak 12 satelitů. V současnosti se ve vesmíru nachází 27 družic. Jednou z příčin, proč došlo k úpadku celého systému, byla krátká životnost družic (3 roky) a s tím spojené náklady na obměnu nefunkčních satelitů. Proto je předpokládaná životnost u nových družic zvýšena na 7 až 12 let.



Obr. 2.13 Konstelace družic GLONASS [17]

Od roku 1982, kdy byla vypuštěna první družice, byly vypuštěny 3 generace družic. V rámci modernizace budou vypuštěny další 2 generace družic.

GLONASS (Uragan) – tato generace satelitů již není v provozu. Celkem jich bylo vypuštěno 81. Životnost byla pouze 3 roky.

GLONASS – M (Uragan - M) – první družice této generace byla vypuštěna v roce 2001. Životnost je 7 let. Začne vysílat druhý civilní signál L3. Na palubě jsou cesiové atomové hodiny. Také byla zavedena schopnost komunikace mezi satelity a schopnost autonomní činnosti po dobu 60 – ti dní (oproti GPS je tato hodnota třetinová).

GLONASS – K1 (Uragan – K1) – první družice vypuštěna v únoru 2011. Začne vysílat nový signál CDMA na frekvenci L3, nyní je ve fázi testování. Předpokládaná životnost je 10 let, hmotnost byla, oproti generaci GLONASS – M, zredukována na polovinu. To povede ke snížení nákladů spojených s dopravou družice do vesmíru.

GLONASS – K2 (Uragan – K2) – začnou být vypouštěny v roce 2013. Budou vysílat CDMA signály na frekvencích L1 a L2.

GLONASS – KM (Uragan - KM) – ve fázi vývoje. Start je naplánován na rok 2015. Plánováno zavedení dalšího civilního signálu L5, který bude primárně určen pro SoL aplikace.

Pozemní segment

Hlavní řídicí centrum je umístěno v blízkosti Moskvy – plánuje a koordinuje všechny funkce systému GLONASS. Dvakrát denně nahrává navigační data. Zahrnuje 3 rozšířené stanice, 5 povelových stanic a 10 monitorovacích stanic.

2. 5. 2 Služby a signály

Stejně jako GPS poskytuje GLONASS dvě služby:

- **SP** (standardní přesnost) – navigační kód standardní přesnosti je posloupnost 511 nul a jedniček opakující se co 1 ms. Jeho frekvence je 0,511 MHz. Jedná se o PRN kód. Volně přístupný civilním uživatelům. Vysílán je na frekvenci L1 a L2. Celková chyba polohy je 100m/95% horizontálně, 150 m/95% vertikálně, rychlost do 15 cm/s/95%, čas do 5ms/95% oproti UTC (SU)
- **HP** (vysoká přesnost) – navigační kód vysoké přesnosti. Posloupnost 33554432 nul a jedniček opakující se co 1 s. Vysílána je na frekvenci 5,11 MHz. Využíván pro vojenské účely.

GLONASS vysílá ve dvou pásmech:

$$L1 = 10602 \text{ MHz} + n \times 0,5625 \text{ MHz}$$

$$L2 = 1246 \text{ MHz} + n \times 0,4375 \text{ MHz}$$

kde n je číslo frekvenčního kanálu přiřazeného družici. Jeho rozsah se postupem času měnil.

$$n \in \langle 0; 24 \rangle - \text{v minulosti}$$

$$n \in \langle -7; +6 \rangle - \text{od roku 2005}$$

Modulační sekvence používaná pro modulaci nosného frekvenčního pásma (když jsou vytvářeny signály standardní přesnosti) v L1 pro GLONASS družice, a L1, L2 pro GLONASS – M družice, je vytvořen Modulo – 2 sčítáním následujících tří binárních signálů [17]:

- Dálkoměrný kód vysílaný rychlostí 511 kbps;
- Navigační zprávy vysílané rychlostí 50 bps;
- pomocné sekvence s frekvencí 100Hz

Zatímco GPS používá kódovou identifikaci družic (CDMA), GLONASS využívá frekvenční identifikaci družic (FDMA). Výhoda FDMA spočívá především v odolnosti vůči rušení signálu, nevýhoda pak v dražším přijímači. V rámci modernizace, systém GLONASS začne využívat CDMA.

Signály vysílané družicemi jsou následující:

L1 FDMA	Jak pro vojenské, tak pro civilní využití
L2 FDMA	Jak pro vojenské, tak pro civilní využití
L3 CDMA	Testovací fáze, zatím jen civilní použití, do budoucna na družicích GLONASS – K2 a GLONASS - KM
L1 CDMA	Signál bude možné vysílat z družic generace GLONASS – K2 a GLONASS - KM
L5 CDMA	Pro aplikace SoL, obdoba signálu L5 (GPS) a E5a (Galileo)

Tab. 2.1 – Přehled signálů GLONASS

2. 5. 3 Navigační zpráva

Navigační zpráva obsahuje [4]:

- efemeridy družice dané ve formě:
 - přesné polohy družice v daném čase
 - složek vektoru rychlosti družice
 - složek vektoru zrychlení družice
- posun hodin družice vzhledem k systémovému času GLONASST a k UTC (SU)
- korekce družicového času na čas GLONASST
- kalendářní číslování v rámci čtyřleté periody, s počátkem v přestupném roce
- číslo družice v systému
- příznak stavu družice
- almanach GLONASS

Navigační zpráva je tvořena tzv. super – rámcem. Ten se skládá z 5 – ti rámců. Každý rámeček obsahuje 15 vláken. Odvysílání jednoho vlákna trvá 2 s, takže odvysílání celého super – rámečku zabere 2,5 minuty. Každé vlákno je zakončeno časovou značkou.

Data obsažená ve vláknech 1 až 4 každého rámečku se týkají družic, které vysílají navigační zprávu (okamžitá data). Okamžitá data jsou stejná v rámci jednoho super – rámečku. Vlákna 6 až 15 každého rámečku obsahují almanach pro 24 družic. Rámeček 1 až 4 obsahuje almanach pro 20 družic (5 družic na rámeček). Pátý rámeček obsahuje almanach pro zbývajících 4 družice. Almanach pro jednu družici zabírá 2 vlákna. Data obsažená v pátém vláknu každého rámečku jsou stejná jako v rámci celého super – rámečku a týkají se almanachu [18].

2. 6 Galileo

Hlavním důvodem výstavby systému Galileo, je snaha Evropy vybudovat vlastní navigační systém a tím se zbavit závislosti na vojenských projektech GPS a GLONASS. Na rozdíl, od těchto dvou systémů, je Galileo již od počátku projektován jako civilní systém. Je tedy

vyloučena možnost vypnutí či ovlivnění přesnosti provozovatelem, například v době války. V kombinaci s družicemi GPS a GLONASS, s nimiž bude plně kompatibilní, zvýší dostupnost signálu a přesnost určení polohy.

Na výstavbě se podílí EC (Evropská komise) a ESA (Evropská vesmírná agentura). V budoucnu by provoz měly převzít soukromé společnosti, které se nyní podílejí na vývoji.

Pracuje v systémovém čase označovaném GST (Galileo System Time). Čas je udáván v týdnech a sekundách, stejně jako je tomu u GPS. Začátek byl stanoven na 00:00 hod. 22. 8. 1999. GST předbíhá UTC o 14 sekund.

2. 6. 1 Architektura

Vesmírný segment

Vesmírný segment bude tvořen 30 družicemi (27 funkční + 3 záložní). Ke spuštění systému však stačí již 18 družic. Ty budou rozmístěny ve třech dráhových rovinách se sklonem k rovníku 56° ve výšce 23222 km. Oběžná doba bude 14 hodin a 5 minut.

První družice (GIOVE - A) byla vypuštěna v roce 2005. Vybavena je dvojicí rubidiových atomových hodin. Druhá družice vypuštěná v roce 2009 (GIOVE - B) byla navíc vybavena jedním PHM (Passive Hydrogen Maser). Obě družice slouží k ověřování funkčnosti jednotlivých komponent družice, funkčnosti pozemního segmentu a zajištění přidělených frekvencí. V rámci této fáze budou vypuštěny ještě další 4 družice. Tato řada družic je označována jako IOV (In Orbit Validation).

Dále je ve výrobě také 14 družic FOC (Full Operational Capability). Ty již budou poskytovat plný rozsah služeb. Start je naplánován na rok 2013. Životnost je odhadována na 12 let. Plné konstelace by mělo být dosaženo v roce 2015.

Pozemní segment

Zahrnuje 30 monitorovacích stanic (GSS), které budou rozmístěny ve světě a budou zajišťovat nepřetržité monitorování navigačních signálů.

V rámci systému budou pracovat 2 operační centra (GCC). Jedno umístěné ve Francii a druhé v Británii. Dále pak také bude vybudováno administrativní a provozní centrum v Praze.

Výměnu dat mezi družicemi a pozemním segmentem bude zajišťovat globální síť 5 komunikačních stanic vysílajících v pásmu 2 GHz. Zpracované data budou k družicím rozesílány pomocí 5 stanic ULS (Up - Link Stations). Ty budou vysílat na frekvenci 5 GHz. Mimo globálních stanic budou vybudovány také lokální stanice, které budou kontrolovat integritu signálu v určité oblasti (letišť, přístavy, apod.).

2. 6. 2 Služby a signály

Galileo bude poskytovat čtyři služby:

- **Open Service (OS)** – volně přístupná, dvoufrekvenční. Poskytne obdobnou přesnost, jako je tomu u GPS či u systému GLONASS.
- **Commercial Service (CS)** – šifrovaná služba. Používá vyhrazené signály v pásmu E6. Umožňuje vyšší datovou prostupnost a rychlost, tím dojde ke zvýšení přesnosti až na centimetry. Určená pro komerční a profesionální aplikace (např. geodézie, výzkum).
- **Safety of Life service (SoL)** – vysílá rozšířený signál obsahující funkci, která během několika sekund varuje uživatele o chybě v systému. Určena pro aplikace, kde mohou být ohroženy lidské životy (především v dopravě).

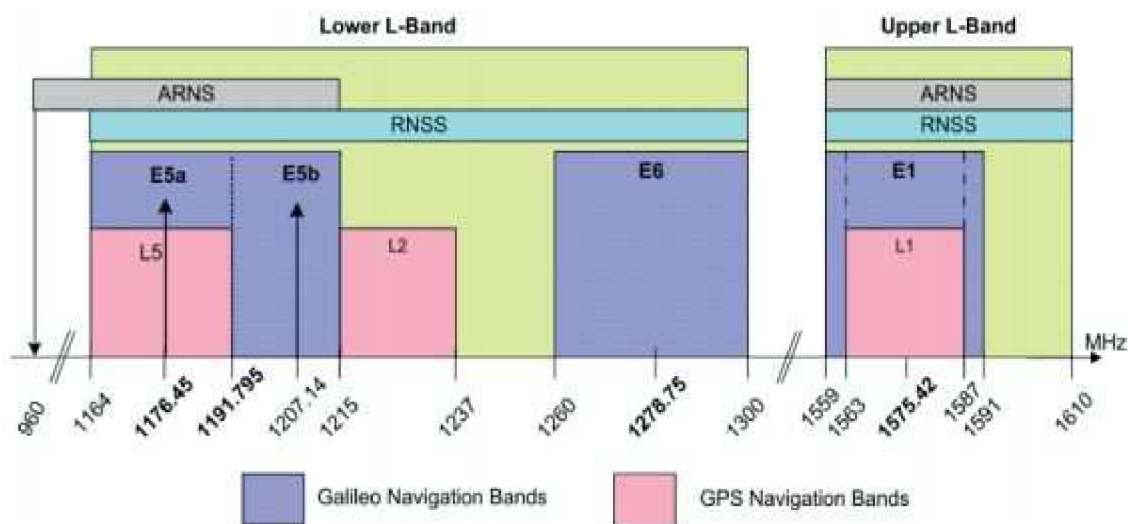
- **Public Regulated Service (PRS)** – další šifrovaná služba. K dispozici budou dva signály této služby. Určena pro vládní uživatele. Použita bude pro bezpečnostní složky a také pro strategicky důležité infrastruktury.
- **SAR service** (Search and Rescue) – služba využívaná při záchranných a pátracích akcích.

Družice vysílají na pěti nosných frekvencích: E1 (1575,42 MHz), E6 (1278,75 MHz), E5 (1191,795 MHz), E5a (1176,45 MHz) a E5b (1207,14 MHz).

Vysílané signály jsou blíže popsány v následující tabulce:

Signál	Nosná frekvence [MHz]	Komponenta	Pásmo [MHz]	Typ zprávy	Služba
E1	1575,42	E1 – B	1559 - 1591	I/NAV	SoL, OS
		E1 – C			
E6	1278,75	E6 – B	1260 – 1300	C/NAV	CS
		E6 – C			
E5a	1176,45	I	1164 – 1191,795	F/NAV	OS
		Q			
E5b	1207,14	I	1191,795 - 1215	I/NAV	OS
		Q			

Tab. 2.2 – Přehled signálů Galilea



Obr.: 2.14 – Frekvenční pásma Galilea a GPS [19]

2. 6. 3 Navigační zprávy

Galileo rozlišuje tři typy zpráv:

I/NAV – navigační zpráva poskytovaná signály E5b a E1 – B. Určena pro SoL služby. Skládá se z rámce o délce 720 s. Zpráva je tedy odvysílána za 12 min. Jeden rámec obsahuje 24

podrámců o délce 30 s. Podrámce jsou tvořeny 15 stránkami, kdy jedna stránka zabere 2 s.

F/NAV – volně přístupná zpráva vysílaná na signálu E5a. Struktura je stejná jako u I/NAV. Doba odvysílání je 10 min. Rámec obsahuje 12 podrámců o délce 50 s. Podrámce mají 5 stránek, každá o délce 10 s.

C/NAV – komerční navigační zpráva vysílaná na signálu E6 – B. Zatím není známa bližší specifikace.

2. 7 Compass

Rozhodnutí, vybudovat vlastní družicový navigační systém, padlo v Číně v 80. letech 20 století. Systém Compass, někdy též označován BeiDou, je v současnosti ve fázi výstavby.

Za vývoj, výstavbu a řízení Compassu zodpovídá CSNPC (China Satellite Navigation Project center) agency. Od systému GPS se liší tím, že kromě údajů o poloze a času bude také využíván ke komunikaci (posílání krátkých zpráv).

2. 7. 1 Výstavba

Výstavba systému byla rozplánována na 3 fáze:

- **I. fáze** - Období mezi roky 2000 až 2003. V tomto období byly vypuštěny 3 družice (označované jako BeiDou-1), které sloužily k testování a pokrývaly jen Čínu.
- **II. fáze** - Období mezi lety 2003 až 2012. Zde se již předpokládá pokrytí pacificko – asijské části, zajištěného deseti družicemi. V současnosti je vypuštěno 8 družic. Životnost družic je plánována na 8 let.
- **III. fáze** - Období mezi lety 2012 až 2020. V tomto období budou vysílány další družice. Po roce 2020 by se měl Compass stát plně funkčním globálním navigačním systémem.

Vesmírný segment bude obsahovat 35 družic. Z toho 27 družic se bude pohybovat na střední oběžné dráze (MEO – Middle Earth Orbit), 5 družic na geosynchroních drahách (GSO – Geosynchronous Orbit) a 3 družice na nakloněných geosynchronních drahách (IGSO - Inclined Geosynchronous Orbit).

Pozemní segment zahrnuje hlavní řídicí středisko, 2 vysílací stanice a 30 monitorovacích stanic.

2. 7. 2 Služby a frekvence

Poskytovány jsou dvě služby:

- **Open** – udávaná přesnost polohy je 10 m, rychlosti 0,2 m/s a času 50 nanosekund
- **Autorizační** – vysoká přesnost, využití pro vojenské účely

Compass vysílá na 4 nosných frekvencích E1/B1-2 (1589,74 MHz), E2/B1 (1561,1 MHz), E6/B3 (1268,52 MHz), E5b/B2 (1207,14 MHz).

3. Regionální systémy

Mimo výše popsanych globálních systémů existují také regionální systémy.

3.1 IRNSS

(Indian Regional Navigational Satellite System) - indický regionální navigační systém. Vysílání družic je naplánováno na konec roku 2011. Plně operační způsobilost je předpokládána v roce 2014. Vesmírný segment bude mít 7 družic a bude zajišťovat pokrytí. Přesnost určení polohy je méně než 20 m [20]. Vysílat bude na dvou nosných frekvencích, L5 (1176,45 Mhz) a S (2492,08 Mhz).

3.2 QZSS

(Quasi – Zenith Satellite System) - japonský navigační systém. Vesmírný segment bude mít 3 družice, které budou obíhat na HEO. První byla vypuštěna v roce 2010. Plně funkční by měl být v roce 2013. Vysílat bude signály shodné s GPS. Konkrétně tedy L1 C/A, L1C, L2C a L5



Obr. 3.1 – Dráha družice QZSS [21]

4. Rozšiřující systémy

Samotné GNSS systémy nemohou plně uspokojit potřeby letecké navigace. Proto jsou budovány rozšiřující systémy, které výrazně zpřesní výsledky a zajistí potřebnou integritu. Je nutné, aby byly vzájemně kompatibilní. Klíčová je tedy spolupráce mezi jednotlivými provozovateli.

4. 1 Diferenční GPS

Je tvořen soustavou referenčních stanic, u kterých je známá poloha – je geodeticky určena. Referenční stanice přijímají signály z družic GPS udávající jejich polohu. Tato informace je ale zatížena chybami. Jelikož je známa přesná poloha referenční stanice, může porovnávat výsledky a stanovit tak jejich rozdíl. Tento rozdíl poté rádiově přenáší k uživateli, který jej zahrne do výpočtu.

Při druhém způsobu neurčuje rozdíl, ale měří pseudovzdálenosti k jednotlivým družicím. Takto získané zpřesňující údaje může doplnit o další informace (např. časové korekce). Vzniklá korekční zpráva je rádiově přenesena k uživateli a opět zahrnuta do výpočtu.

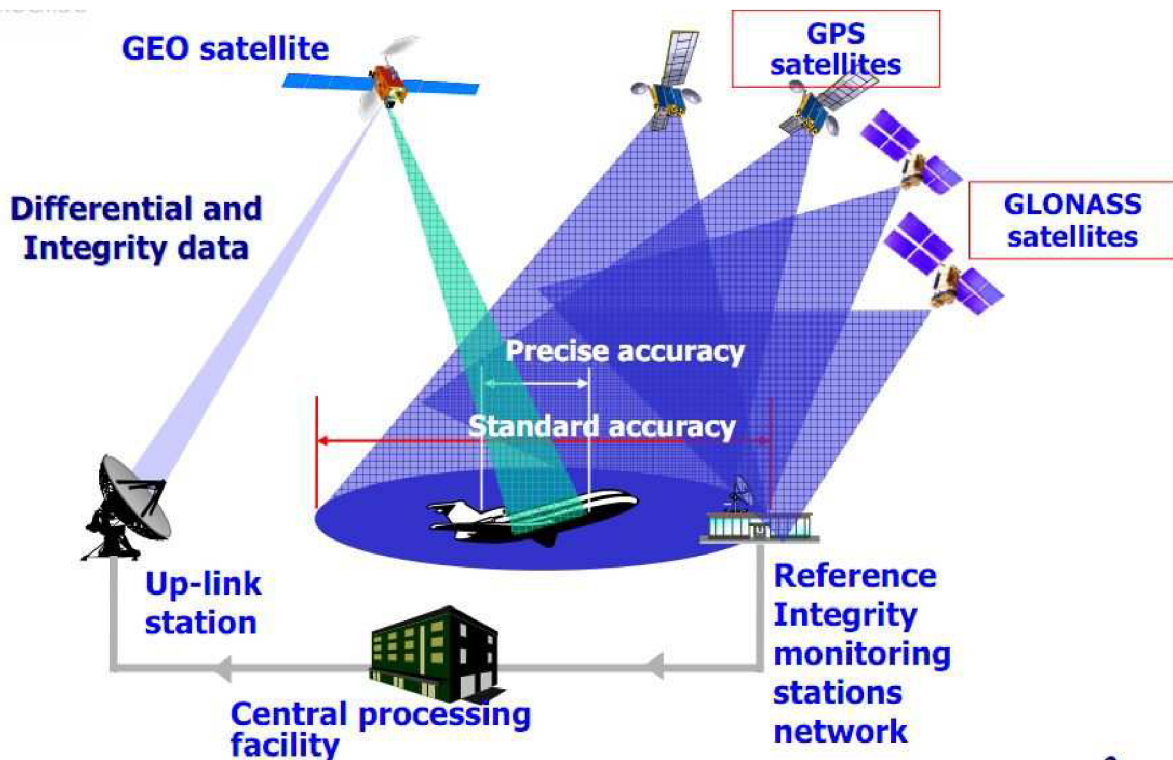
Díky těmto korekcím stanoví uživatel svou polohu s výrazně vyšší přesností (až jednotky metrů). Uživatel nesmí být příliš vzdálen od referenční stanice (maximálně stovky km). Na této metodě diferenčního zpřesňování je založena metoda GBAS.

4. 2 SBAS

(Satellite Base Augmentation Systems) – architektura těchto systémů je obdobná jako u systémů GNSS. Skládá se tedy z vesmírného, pozemního a uživatelského segmentu.

Pozemní segment je soustava monitorovacích stanic, které zachycují signály vysílané družicemi GPS/GLONASS. Ty jsou následně posílány do hlavních řídicích center, kde dochází k určování ionosférických korekcí, dále pak korekcí družicových hodin a korekcí týkajících se efemerid. Takto upravený signál je posílán do tzv. stanic NLES (Navigation Land Earth Station) spolu s informacemi týkající se integrity. Odtud je již vysílán k družicím do vesmíru a následně družicemi distribuován k uživatelům.

Díky této metodě je možné získat přesnost v horizontální rovině 1–2 m a ve vertikální rovině 2–4 m.



Obr. 4.1 – Princip funkce SBAS [22]

Zahrnuje systémy:

- **WAAS** (Wide Area Augmentation System) – USA
- **EGNOS** (European Geostationary Navigation Overlay Service) – Evropa
- **MSAS** (Multi – functional Satellite Augmentation System) – Japonsko
- **GAGAN** (GPS Aided Geo Augmented Navigation) – Indie
- **SDCM** (System of Differential Correction and Monitoring) – Rusko
- **SNAS** (Sino Navigation Augmentation system) - Čína

4.3 ABAS

(Aircraft Based Augmentation systém) – jedná se o autonomní kontrolní systém, který provádí integraci dat získaných z GNSS s daty, získanými přístroji na palubě letadla. Je to nejlevnější způsob zpřesňování GNSS.

Používají se dva způsoby kontroly integrity:

- **AAIM** (Aircraft Autonomous Integrity Monitoring) – mimo signálu z družic pracuje také s informacemi z ostatních navigačních zařízení, které jsou na palubě (VOR/VOR, VOR/DME, atd.). Výsledky jsou porovnávány a v případě velkých odlišností, hledá

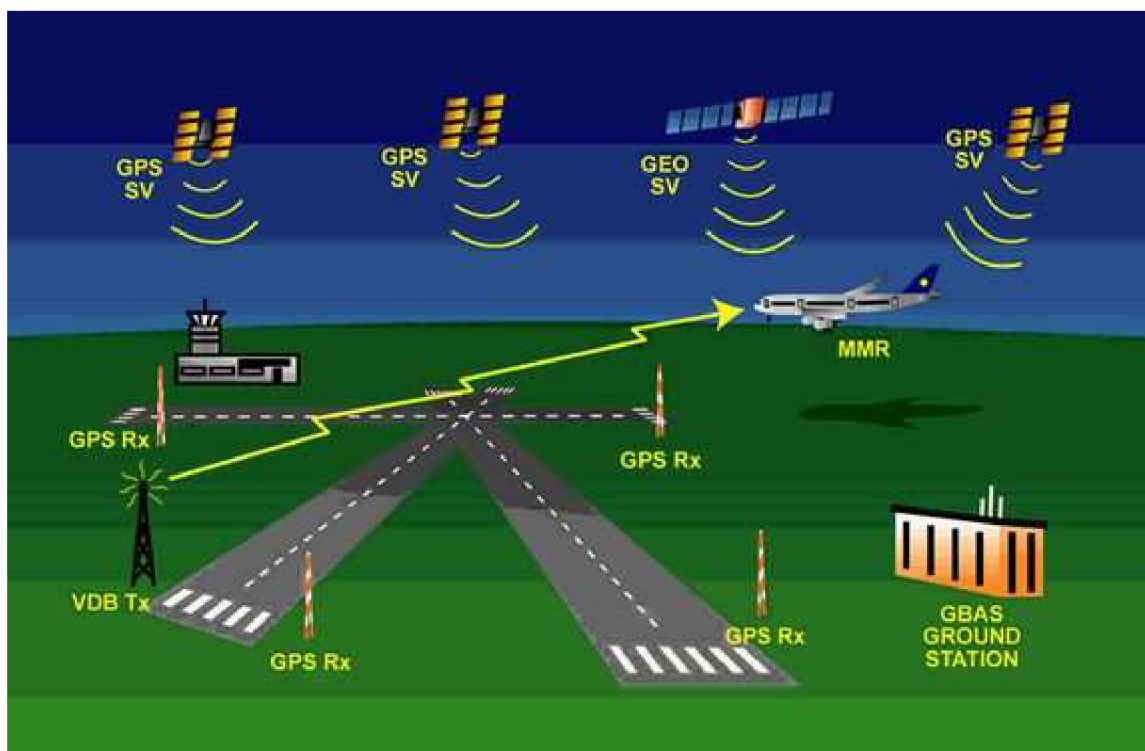
způsoby, jak je odstranit.

- **RAIM** (Receiver Autonomous Integrity Monitoring) – využívá jen informace přicházející z družic, minimálně by mělo být dostupných 6 družic (4 na určení neznámých parametrů, 1 pro vyhodnocování případné chyby a 1 záložní). Touto metodou přijímač kontroluje „sám sebe“ a také vybírá vhodnou konstelaci družic, aby minimalizoval hodnotu DOP.

4. 4 GBAS

(Ground Base Augmentation System) – Tvoří jej 4 pozemní přijímače, které jsou rozmístěné v okolí letiště (do 30 km). Ty vysílají korekční údaje k letadlům na velmi krátkých vlnách. GBAS dokáže zajistit přesnost, dostupnost a integritu nezbytné pro přesné přiblížení CAT I, II, III. Přesnost je udávána 1 m v horizontální i vertikální rovině [23].

LAAS (Local Area Augmentation System) – systém provozován USA.



Obr. 4.2 – Princip funkce GBAS [24]

5. Využití GNSS

5.1 Letectví

Letecké doprava vykazuje dlouhodobý nárůst. Dle odhadů agentury Eurocontrol se v roce 2030 nebude moci uskutečnit více než 2 miliony poptávaných letů z důvodu nedostatečné kapacity letišť a jejich přistávacích drah. "Polovina letů bude navíc ohrožena zpožděními, protože letadla budou odlétat nebo přistávat z letiště bez jakékoliv rezervní kapacity [25].

Problém přeplněného vzdušného prostoru pomáhají řešit technologie, které využívají schopnosti GNSS. Konkrétně koncept prostorové navigace (RNAV). Ten umožňuje letadlům provádět let po předem stanovené trase z bodu do bodu, kde body nezávisí na pozemní infrastruktuře.

Tedy zavedení GNSS do provozu přinese možnosti, jak efektivněji využívat vzdušný prostor.

A to především díky:

- zmenšením rozestupů mezi letadly
- optimalizaci letových tras
- možnosti provádět nepřesná i přesná přiblížení na přistání na větším počtu letišť (menší požadavky na vybavení letiště)

Dojde také ke snížení nákladů:

- méně nákladná údržba vybavení letiště
- letadlo bude vybaveno jen jedním navigačním přístrojem
- již zmíněnou optimalizací tratě se sníží náklady na palivo
- možnost kontrolovat rychlost při kolizním kurzu (není potřeba měnit výšku a dostávat se tak mimo optimální výšku) – tím je ušetřeno palivo

Dojde také ke zvýšení bezpečnosti a to jak ve vzduchu, tak při pohybu letadel na ploše letiště.

5.2 CNS

V koncepci CNS jsou GNSS systémy určeny pro poskytování navigačního signálu, vysílání korekčních zpráv, telekomunikace, automatický přenos informací o poloze letadel ADS.

COMMUNICATION	NAVIGATION	SURVEILLANCE
<ul style="list-style-type: none">- výkonnější spojení- snížení spojovacích chyb, pracovního zatížení a nákladů- přesnější data- snížení počtu chyb	<ul style="list-style-type: none">- vysoká integrita a přesnost- snížení nákladů a pozemních navigačních zařízení- lepší využití RWY- vylepšená 4D navigace	<ul style="list-style-type: none">- snížení hlášení chyb polohy- přesnější data- snížení nákladů

Tab. 5.1 – Výhody zavedení GNSS do CNS (upraveno z lit.[26])

5. 3 Životní prostředí

V této oblasti jsou systémy GNSS využívány pro monitorování ohrožených druhů a pomáhají vytvářet jejich migrační vzorce. Díky tomuto „dohledu“ je možné zjistit více o jejich životě a případně přijmout opatření, která pomohou zachovat a posílit klesající populaci.

Další využití je v oblasti monitorování přírodních katastrof.

5. 4 Zemědělství

Prosazuje se tzv. precizní zemědělství. Díky přesnosti GNSS je možné vytvářet mapy farem s přesnou výměrou polí a do nich pak zakreslovat informace, potřebné pro zlepšení půdy a vody. Zemědělci také mohou dosáhnout zvýšení produkce tím, že budou prováděny přesné odběry vzorků půdy. Získaná data pak pomohou určit výsadbu tak, aby vyhovovala specifickým oblastem pole, tím dojde také k minimalizaci použití chemických prostředků.

Při využití GNSS na zemědělských strojích je umožněno pracovat na poli i při nízké viditelnosti.

5. 5 Geodézie

Poskytuje významné zvýšení produktivity oproti tradičnímu průzkumu eliminací jeho vlastních omezení, jakým je požadavek přímé viditelnosti mezi koncovými body. Umožňuje také provádět měření za jakýchkoliv světelných a povětrnostních podmínek.

5. 6 Vesmír

Družice jsou používány ke sledování pohybu ker zemské kůry. Určování parametrů oběžných drah nízko letících družic. Také jsou do jisté míry řídit konstelaci telekomunikačních družic.

5. 7 Silniční doprava

Umožňují automatické určení polohy vozidla skrze zabudované navigační systémy, které jsou v dnešní době velice rozšířené.

Jsou základním prvkem budoucích inteligentních transportních systémů. Probíhá výzkum v oblasti pokročilých asistenčních systémů řidiče, které zahrnují systém pro vyjetí ze silnice a změny jízdního pruhu při hrozbě srážky.

Dopravní společnosti využívají GPS ke sledování zásilek, díky tomu jsou schopni stanovit čas dodání. V případě, že automobil zabloudí, nebo má zpoždění, dispečerovi je okamžitě zasláno upozornění

5. 8 Železniční doprava

Železniční systémy na celém světě využívají GNSS ke sledování pohybu lokomotiv, železničních vozů, vozidel údržby v reálném čase. Při kombinaci s dalšími senzory, počítači a komunikačními systémy, zvyšují železniční bezpečnost a provozní efektivitu. Tato technologie pomáhá redukovat nehody, zpoždění, náklady na provoz, zatímco zvyšuje kapacitu tratí.

Do budoucna vědci zkoumají způsoby, jak integrovat GNSS do mezivozidlových komunikačních systémů, které by mohly varovat vlaky a auta před případnou kolizí na

železničních přejezdech

5. 9 Veřejná bezpečnost

Pátrací a záchranné týmy používají GNSS, geologické informační systémy a technologie dálkového průzkumu k vytvoření map postižených oblastí pro záchranné práce a posouzení míry poškození

Další důležitou oblastí při řešení katastrof je zvládnutí požárů. Letadla kombinují GNSS s infračervenými skenery, aby určili hranice požáru a jeho centra. Tyto informace jsou následně posílány na počítač a umožňují efektivnější zásah.

V oblastech, kde dochází k častým zemětřesením, hrají významnou úlohu při předpovídání zemětřesení.

5. 10 Námořní doprava

Námořníci a oceánografové stále více využívají data GNSS pro podvodní průzkum, umístění bójí a navigací skrz nebezpečná místa a mapování. Rybáři je využívají k určení oblastí vhodných k rybolovu.

Automatický identifikační systém se používá k řízení lodní dopravy v okolí rušných námořních cest. Využívá data z GNSS. Tento systém vysílá informace v pásmu VHF. Týkají se identifikace lodí, polohy lodí, typu plavidla a informace o nákladu. Všechny tyto údaje mohou být nahrány do elektronické mapy, ta by měla do budoucna nahradit mapy papírové.

5. 11 Časové služby

Přesný čas je důležitý pro řadu hospodářských činností. Komunikační systémy, rozvodné elektrické sítě a finanční sítě, všechny spoléhají na přesné časové údaje pro synchronizaci a provoz. Například bezdrátové telefony a datové sítě používají přesný čas, aby zajistili synchronizaci všech jejich základních stanic. To dovoluje mobilním telefonům sdílet omezené rádiové spektrum účinněji.

6. Závěr

Problematika družicové navigace je mnohem širší, než si většinou laik představuje. To je pravděpodobně důsledek monopolního postavení GPS na trhu. Dlouhou dobu byl jediným funkčním řešením. V dnešní době však dochází k prudkému rozvoji v této oblasti. Jsou budovány nové systémy (Compass, Galileo), modernizovány jsou ty starší (GPS, GLONASS). To vše vede ke zkvalitnění poskytovaných služeb.

V úvodní kapitole je popsána obecná architektura, která je společná pro všechny realizace GNSS. Je tvořena třemi segmenty: vesmírným, pozemním a uživatelským.

Všechny systémy měří vzdálenosti (tzv. pseudovzdálenosti) mezi uživatelem a družicemi, jsou tedy dálkoměrnými systémy. Jelikož signál neposílají, ale jen přijímají, jsou ozačovány jako pasivní. Jsou tři metody, které se používají při měření vzdáleností – kódová, fázová, dopplerova. Metoda úhломěrná zde není uvedena, protože se prakticky v této oblasti nevyužívá. Uvedeny jsou také vlivy, které mohou zhoršit konečný výsledek při určení polohy.

Jednotlivé realizace jsou si velice podobné, přesto jsou mezi nimi rozdíly. V této části jsou popsány především z hlediska vysílaných signálů a poskytovaných služeb. A to s ohledem na budoucí vývoj.

Protože samotné GNSS systémy nemohou zabezpečit dostatečnou integritu pro letecké aplikace, jsou budovány rozšiřující systémy, které doplňují globální systémy a díky nim dochází ke zkvalitnění služeb v dané oblasti. Rozlišují se právě podle oblasti, buď na lokální (př. LAAS) nebo pro rozlehlou oblast (př. WAAS).

Oblasti ve kterých se uplatňují systémy GNSS je mnoho. Nejen pro různé druhy doprav, kde přináší především zvýšení bezpečnosti, efektivity a dostupnosti, ale také v dalších oblastech. Při krizovém řízení umožňuje efektivně využívat čas, který je v těchto situacích stěžejní. V geodézii pomáhá odstraňovat nedostatky klasických metod. A překvapivě i v zemědělství při zvyšování výnosů z polí. Z těchto faktů můžeme jasně vyčíst, že při spojení s dalšími technologiemi, se může družicová navigace uplatnit v jakékoli oblasti.

Klíčovým aspektem je vzájemná spolupráce jednotlivých provozovatelů. Při plném využití tak mohutné konstelace družic a rozsáhlé pozemní sítě, která se v současnosti buduje, dojde k výraznému posunu ve výkonnosti celého systému.

7. Seznam použitých zdrojů

- [1] Knap, P.: Letectví + kosmonautika č.2, SPUTNIK 1 – Listy z historie, [online], 2007, <<http://mek.kosmo.cz/novinky/clanky/sputnik/lk7102.htm>>
- [2] Kulčák, L. a kol.: Učebnice pilota vrtulníku, část II, Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., ISBN 978-80-7204-638-6, Brno, 2009,
- [3] Martiník, T.: Optimalizace využití městské hromadné dopravy v Pardubicích s využitím aktuální polohy a známého cíle cesty pomocí GPS, Pardubice: Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, [online], 2010, <http://dspace.upce.cz/bitstream/10195/37068/1/MartinikT_OptimalizaceVyuziti_JH_2010.pdf>
- [4] Rapant, P.: Družicové polohové systémy, ISBN 80-248-0124-8, Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, 2002,
- [5] Institut geologického inženýrství, Globální polohovací a navigační satelitní systémy, Ostrava, [online], 2006, <<http://geologie.vsb.cz/geoinformatika/kap09.htm>>
- [6] Kowoma, The GPS system, [online], 2009, <<http://www.kowoma.de/en/gps/errors.htm>>
- [7] Penick, B.: GLOBAL POSITIONING SYSTEM Status, [online], 2008, <http://www.navcen.uscg.gov/pdf/cgsicMeetings/USSSL/USSSL_05AUG08/3-Constellation%20health%20Brief.ppt>
- [8] Los Angeles Air Force Base, Media Gallery, [online], <<http://www.losangeles.af.mil/shared/media/ggallery/hires/AFG-070829-010.jpg>>
- [9] Los Angeles Air Force Base, Media Gallery, [online], <<http://www.losangeles.af.mil/shared/media/ggallery/hires/AFG-100825-006.jpg>>
- [10] GPS, GPS Modernization, [online], <<http://gps.gov/systems/gps/modernization/>>
- [11] PNT, GPS Fluctuations Over Time on May 2, 2000, [online], 2006, <<http://www.pnt.gov/public/sa/diagram.shtml>>
- [12] Goldstein, D.: Modernization and GPS III, [online], 2009, <http://www.ion.org/sections/southcalifornia/Goldstein_GPS_III.ppt>
- [13] Vojtek, D.: Signály družic GPS NAVSTAR, Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, Institut geoinformatiky, 2010, <http://gis.vsb.cz/vojtek/content/gnps_p/files/pres/04.Signaly_druzic_GPS.pdf>
- [14] Fórum Path, Struktura signálu GPS, [online], 2007,

<<http://www.path.cz/forum/viewtopic.php?f=4&t=21>>

[15] Bečvář, Z., Hák, R.: GPS Communicator – Tool for Analysis of NMEA Protocol, Praha, České vysoké učení technické v Praze, [online], 2011, <<http://access.feld.cvut.cz/rservice.php?akce=tisk&cisloclanku=2011020001>>

[16] Engelsberg, V., Petrovski, V., Babakov, I.: Expert Advice – GLONASS Business Prospects, GPS World, [online], 2008, <<http://www.gpsworld.com/gnss-system/glonass/expert-advice-glonass-business-prospects-4215>>

[17] Positim, GNSS, [online], 2010, <http://www.positim.com/gnss/uploaded_images/glonass_status-753516.png>

[18] Russian institute of space device engineering, Interface Control Document, Edition 5.1, [online], Moscow, 2008, <mii.kp.ru/en/pages/about/publ/ikd51en.pdf>

[19] European GNSS (Galileo), OS SIS ICD, Issue 1.1, [online], 2010, <http://ec.europa.eu/enterprise/policies/satnav/galileo/files/galileo-os-sis-icd-issue1-revision1_en.pdf>

[20] Pakistan Defence, Indian Regional Navigational Satellite System (IRNSS), [online], 2010, <<http://www.defence.pk/forums/india-defence/68197-indian-regional-navigational-satellite-system-irNSS.html>>

[21] Wikipedia, QZSS, [online], 2008, <<http://en.wikipedia.org/wiki/File:Qzss-45-0.09.jpg>>

[22] ROSCOSMOS, System of Differential Correction and Monitoring, [online], <<http://www.oosa.unvienna.org/pdf/icg/2008/expert/2-5b.pdf>>

[23] EUROCONTROL Navigation Domain, [online], <http://www.ecacnav.com/RNAV_Applications/GBAS>

[24] flyMag, FAA se chystá modernizovat technologie řízení letového provozu, [online], 2011, <<http://www.flymag.cz/article.php?id=5072>>

[25] Technik, Hlavním problémem letecké dopravy v Evropě (a ČR) je kapacita letišť, [online], 2010, <<http://technik.ihned.cz/c1-44643740-hlavnim-problemem-letecke-dopravy-v-evrope-a-v-cr-je-kapacita-letist>>

[26] Sychra, S.: Analýza řízení přiblížení a přistání letadla podle GNSS, Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009, 88 s. <http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=18033>

[27] European Space Agency The present – EGNOS : Navigation [online], c2000 – 2010, <http://www.esa.int/esaNA/GGGYIA50NDC_egnos_0.html>

[28] Earth System Science Partnership, The Egnos System [online], 2009,
<<http://www.essp.be/movies/Animated%20description%20of%20EGNOS%20AENA.swf>>

[29] Earth System Science Partnership, User support – EGNOS: Current Architecture [online], 2009,
<http://egnos-user-support.essp-sas.eu/egnos_ops/egnos_system/system_description/current_architecture>

8. Seznam zkratek

ZKRATKA	ANGLICKY	ČESKY
AAIM	Aircraft Autonomous Integrity Monitoring	Autonomní monitorování integrity v letadle
ABAS	Aircraft Base Augmentation systém	Systém s palubním zařízením
A – S	Anti – Spoofing	Šifrování P – kódu u systému GPS
ARNS	Aeronautical Radio Navigation Service	Letecká radionavigační služba
C/A	Coarse/Acquisition	Kód pro službu SPS GPS
C/NAV	Commercial NAVigation message	Komerční navigační zpráva
CDMA	Code Division Multiple Access	Kódový multiplex
CNAV	Civil NAVigation message	Civilní navigační zpráva
CNS	Communication, Navigation, Surveillance	Komunikace, navigace, sledování
CSNPC	China Satellite Navigation Project Center	Čínské projekční centrum družicové navigace
CS	Commercial Service	Komerční služba
COSPAS	Cosmicheskaya Sistema Poiska Avariynich Sudov	Vesmírný pátrací systém po lidích v tísni
DGPS	Differential GPS	Diferenční GPS
DME	Distance Measuring Equipment	Měřič vzdálenosti
DOP	Dilution of Precision	Faktor snížení přesnosti
EC	European Commision	Evropská komise
EGNOS	European Geostationary Navigation Overlay Service	Evropská geostacionární rozšiřující služba
ESA	European Space Agency	Evropská kosmická agentura
F/NAV	Freely Accessible Navigation message	Volně přístupná navigační zpráva
FDMA	Frequency Division Multiple Access	Frekvenční multiplex
FOC	Full Operational Capability	Plná operační způsobilost
GAGAN	GPS Aided Geo Augmented Navigation	Indický rozšiřující systém
GBAS	Ground Base Augmentation systém	Systémy s pozemním rozšířením
GCC	Galileo Control Center	Kontrolní centrum Galilea
GDOP	Geometric DOP	Geometrické DOP
GLONASS	Globlnaja Navigacionnaja Sputnikovaja Sistem	Ruský globální navigační systém

GLONASST	GLONASS Time	Systémový čas GLONASS
GNSS	Global Navigation Satellite systém	Globální navigační družicový systém
GPS	Global Navigational System	Globální navigační systém
GPST	GPS Time	Systémový čas GPS
GSO	Geosynchronous Orbit	Geosynchronní orbit
GSS	Galileo Sensor Station	Snímací a monitorovací stanice Galilea
GST	Galileo systém Time	Systémový čas Galilea
HDOP	Horizontal DOP	Faktor Horizontální snížení přesnosti
HEO	Highly Elliptical Orbit	Vysoká eliptická dráha
HP	High Precision	Signál vysoké přesnosti GLONASS
I/NAV	Integrity Navigation message	Navigační zpráva integrity
IGS	International GNSS Service	Mezinárodní služba pro GNSS
IGSO	Inclined Geosynchronous Orbit	Nakloněná geosynchronní dráha
IOV	In Orbit Validation	Validace přístrojů na oběžné dráze
IRNSS	Indian Regional Navigational Satellite systém	Indický regionální navigační družicový systém
LAAS	Local Area Augmentation systém	Lokální zpřesňující systém
MEO	Middle Earth Orbit	Střední oběžná dráha
MNAV	Military Navigation message	Vojenská navigační zpráva
MSAS	Multi – functional Satellite Augmentation systém	Multi funkční zpřesňující družicový systém
NAVSTAR/GPS	NAVigation Satellite Timing And Ranging/Global Positioning systém	Oficiální název GPS
NGA	National Geospatial – Intelligence Agency	Národní agentura pro spravodajství o Zemi
NLES	Navigation Land Earth Station	Pozemní navigační stanice Egnos
OCX	Advanced Control Segment	Pokročilé kontrolní Centrum
OS	Open Service	Základní služba Galilea
PDOP	Positional DOP	Faktor polohového snížení přesnosti
PHM	Passive Hydrogen Maser	Pasivní vodíkový maser

PPS	Precision Positioning service	Přesná poziční služba
PRS	Public Regulated Service	Veřejně regulovaná služba
PZ - 90	Parametri Zemlji - 90	Ruský souřadný systém
QZSS	Quasi – Zenith Satellite System	Japonský družicový systém
RAIM	Receiver Autonomous Integrity Monitoring	Autonomní monitorování integrity v přijímači
RNAV	Area Navigatin	Prostorová navigace
SA	Selective Availability	Výběrová dostupnost
SAR	Search And Rescue	Pátrací a záchranná služba
SARP	Standard And Recomendated Procedures	Standardy a doporučené postupny pro GNSS
SBAS	Satellite Base Augmentatiton Systems	Systémy s družicovým rozšířením
SDCM	System of Differencial Correction and Monitoring	Systém diferenčních korekcí a monitorování
SNAS	Sino Navigation Augmentation systém	Sini navigační zpřesňující systém
SoL	Safety of Life	Služba pro záchrannu života
SP	Standard Precision	Standardní přesnost
SPS	Standard Positioning Service	Standardní poziční služba
TDOP	Time DOP	Faktor časového snížení přesnosti
ULS	Up - Link Stations	Vysílací stanice Galeilea
USAF	U. S. Air Force	Letectvo USA
UTC	Universal Time Coordinated	Světový koordinovaný čas
UTC (SU)	Universal Time Coordinated (Soviet Union)	Světový koordinovaný čas (Sovětského svazu)
VDOP	Vertical DOP	Faktor vertikálního snížení přesnosti
VHF	Very High Frequency	Velmi vysoké frekvence
VOR	VHF Omnidirectional Range	VKV všesměrový maják
WAAS	Wide Area Augmentation systém	Americký rozšířený družicový systém
WGS 84	World Geodetic systém 84	Světový geodetický systém 84

9. Seznam příloh

[P1] EGNOS

10. Přílohy

EGNOS

Do doby než byl vytvořen systém EGNOS, byla Evropa zcela závislá na systémech GPS a GLONASS. Ty poskytují dostatečnou přesnost pro některé aplikace, nicméně pro námořní a leteckou dopravu jsou údaje z těchto systémů nedostatečné. Přesnost samotného GPS se pohybuje kolem 10m, EGNOS tuto hodnotu snižuje na 1–2m horizontálně a 2–4m vertikálně. V případě nepřesné informace varuje uživatele do šesti sekund.

Rozhodnutí vybudovat čistě evropský systém, který by částečně eliminoval závislost na GPS a GLONASS, a zároveň zvýšil integritu, přesnost a spolehlivost, padlo na Evropské konferenci civilního letectví (ECAC) v červnu roku 1994. V prosinci téhož roku byl schválen návrh systému EGNOS, a vývoj mohl začít.

Už od samotného počátku se na vývoji podílely tři organizace a to: ESA (European Space Agency), EC (European Commission), EUROCONTROL (European Organisation for the Safety of Air Navigation).

ESA měla zcela na starost návrh a vývoj systému EGNOS. EC byla zodpovědná za mezinárodní koordinaci a kooperaci, a zajištění toho, že do návrhu a implementace EGNOSu budou zahrnuty hlediska všech druhů dopravy. EUROCONTROL definoval potřeby civilního letectví a odvodil požadavky kladené na systém.[1] Do prvního dubna roku 2009 byl EGNOS majetkem ESA, to se však po tomto datu změnilo a systém přešel do vlastnictví EC. Ta podepsala smlouvu s firmou ESSP, která je nyní zodpovědná za řízení a údržbu.

Poskytované služby

- **EDSA (EGNOS Data Access Server)** - šíří data v reálném čase
- **Open service** - tato služba je poskytována zdarma všem uživatelům, kteří disponují kompatibilním přijímačem. Nicméně v této službě není garantován výkon a za následky jejího použití tedy není zodpovědná ESA.
- **Safety of Life Service (SoL)** - tato služba v současné době prochází vývojem a certifikována by měla být v roce 2010. Hlavním uživatelem této služby bude civilní letectví a civilní námořnictvo. Tyto oblasti vyžadují velice přesné souřadnice k určování své aktuální polohy a následnému určení budoucího pohybu.

Princip činnosti

Stanice RIMS zachytí signál z družic GPS, GLONASS. Ty je dále posílají do MCC center a tam dochází k jejich zpracování. Do signálu, který je vysílán ke stanicím NLES, jsou započítány korekce ionosféry, které zlepšují přesnost určení polohy. Jak již bylo řečeno dále je signál poslán do stanic NLES (tzv. up-link stations). Tyto stanice vysílají již zpřesněné údaje k družicím EGNOS a ty je dále přeposílají uživatelům na Zemi.

Projekt SISNeT, který vyvinula ESA. Ten umožňuje určovat polohu i v místech, kde kvůli nízké výšce satelitu nad obzorem nemůžeme určit polohu (typickým příkladem jsou ulice měst). Jedná se o přenos informací skrze internet (např.: GSM, GPRS) a to v reálném

čase bez použití přijímače EGNOS.

Architektura

Vesmírný segment

Zahrnuje tři družice obíhající kolem Země na geostacionárních drahách ARTEMIS je nová družice, která není využívána jen v rámci systému EGNOS, ale figuruje i v dalších komunikačních systémech.

Družice Artemis (Advanced Relay and Technology Mission Satellite) má demonstrovat telekomunikační technologie nové generace v oblasti družicové navigace, hlasové a datové telekomunikace s pohyblivými pojítky v autech, kamionech či lodích a přenos dat mezi družicemi. S cenou 850 mil. USD (včetně nákladů za vypuštění) se družice Artemis stává nejdražší družicí organizace ESA [4]

Pozemní segment

Zahrnuje 34 stanic RIMS (Ranging and Integrity Monitoring Stations – v budoucnosti bude počet těchto stanic navýšen na 38 a ve verzi 2.4 to bude dokonce 41 [6]), 4 centra MCC (Master Control Center) a 6 stanic NLES (Navigation Land Earth Station).

Podpůrný segment

Doplňuje pozemní segment. Jedna stanice se nachází ve Španělsku (Madrid), druhá ve Francii (Toulouse).

Jejich úkolem je provádění plánování činnosti systému a provádění odhadu.[6]

Do tohoto systému řadíme dva prvky ASQF (Application Specific Qualification Facility) a PACF (The Partial Autocorrelation Function).