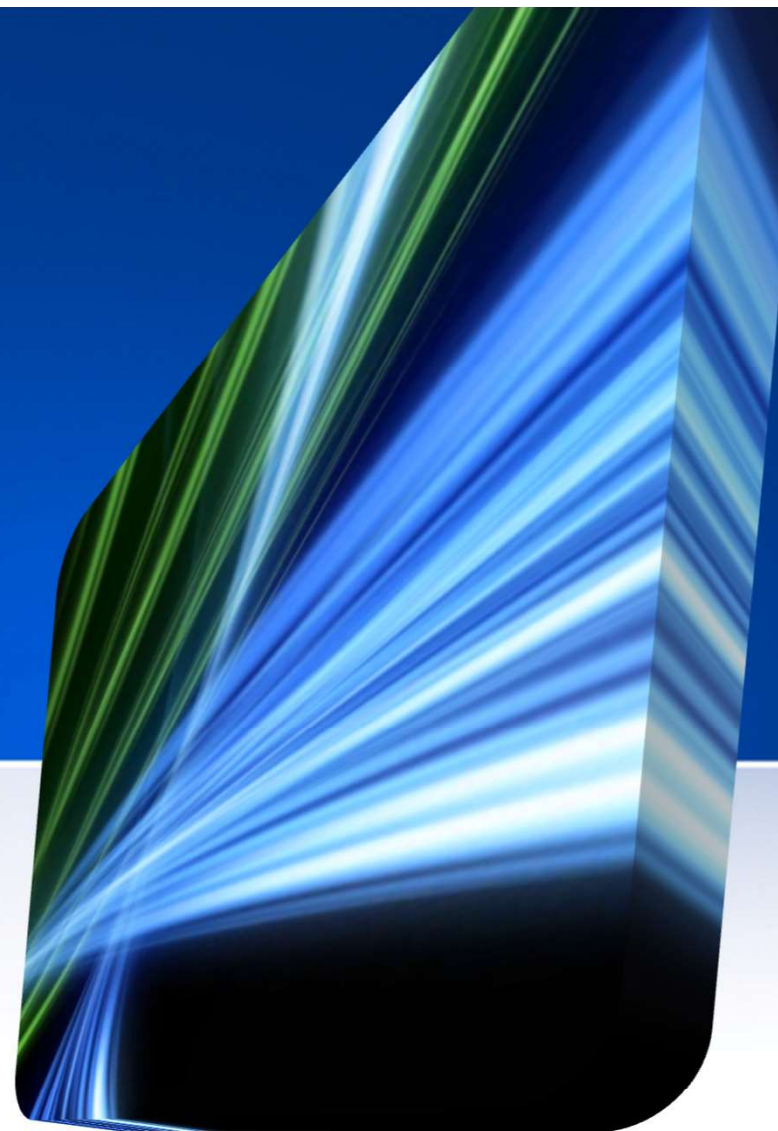
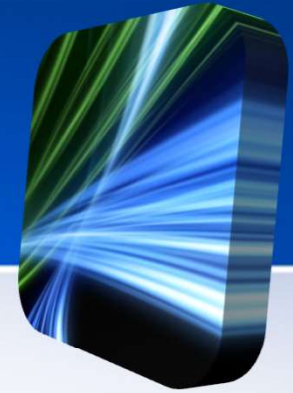


Navigační systémy

Doc. Dr. Ing. Pavel Kovář





- Historie
- Globální systémy
 - GPS
 - GLONASS
 - GALILEO
 - COMPASS
- Regionální a podpůrné systémy
 - DGNSS
 - GBAS
 - SBAS

Historie GNSS



1958 Sputnik

Dopplerovská metoda určování polohy

- pro určení polohy stačí jedna družice
- nízká přesnost
- dlouhá doba měření

1964 – 1996 Transit

SSSR CIKADA PARUS

Dálkoměrná metoda

- od 70 let
- min. 4 družice pro 3D PVT
- vysoká přesnost
- Krátká doba měření

GPS



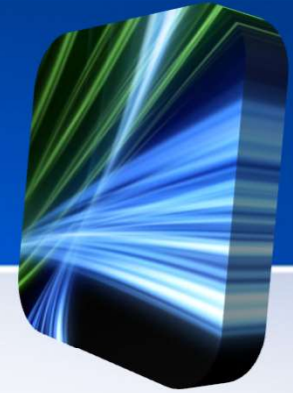
- Sloučení projektů
 - 621B (letectvo)
 - Timation (námořnictvo)
 - CECOR (armády USA)
- Původní název DNSS (Defense Satellite Navigation Systém)
- Navstar (Navigation System Using Timing and Ranging)
- GPS (Global Positioning System)
- Práce zahájeny 1973
- 10 prototypových družic 1978 – 1985
- 1983 civilní využití GPS (Ronald Reagan)
- 1989 – 1994 dobudována konstelace družic

GPS



- IOC 1993
- FOC 1995
- od 1996 systém dvojího využití, přizván civilní sektor
- 1998 plán modernizace GPS (nové civilní kmitočty, zvýšení přesnosti)
- 2000 vypnutí služby S/A = zvýšení přesnosti služby SPS ze 100 m na 20 m
- 2003 dohoda s EU (Galileo)
- 2005 první družice s L2C
- 2010 kontrakt na modernizaci řídicího segmentu

GPS struktura



- Kosmický segment
- Řídicí segment
- Uživatelský segment

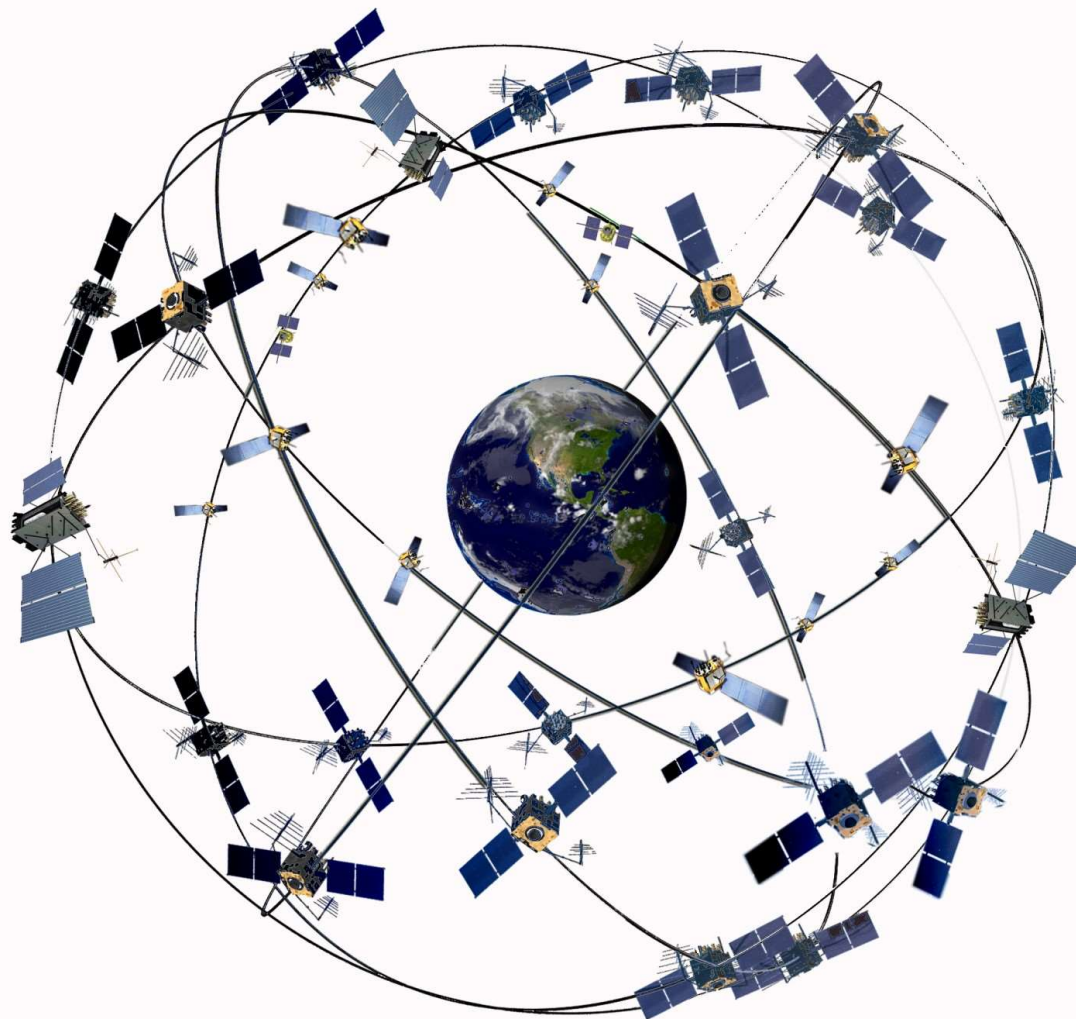
GPS Kosmický segment



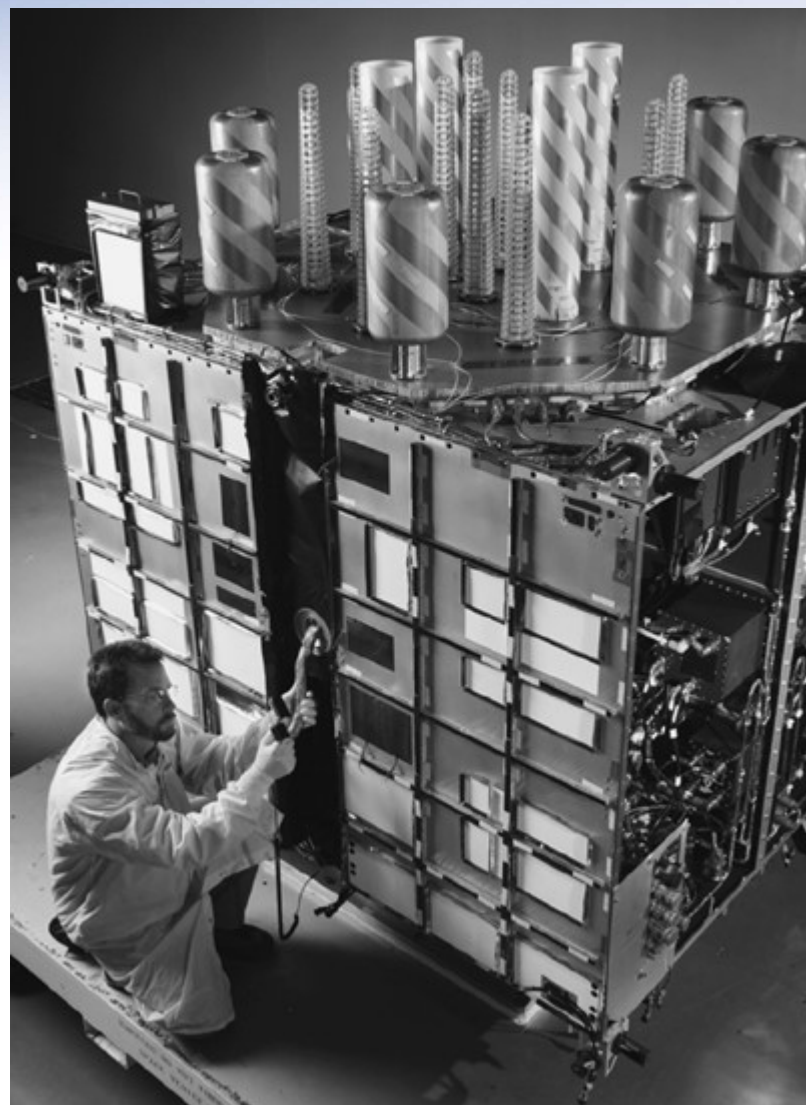
- Původní konstelace 24 družic později rozšířena na 32
- 6 oběžných rovin
- Inklinace 55°
- Oběžná doba = $1/2$ siderického* dne
 - 23hod, 56 min a 4.0916 sekund
- Kruhová dráha o poloměru 26600 km

*Za siderický den vykoná Země jednu obrátku vůči pozadí

Konstelace GPS



GPS družice bloku IIR-M



Řídicí segment GPS



Složení

- Hlavní řídicí stanice (Master Control Station MSC)
- Záložní řídicí stanice
- Pozemní antény
- Monitorovací stanice

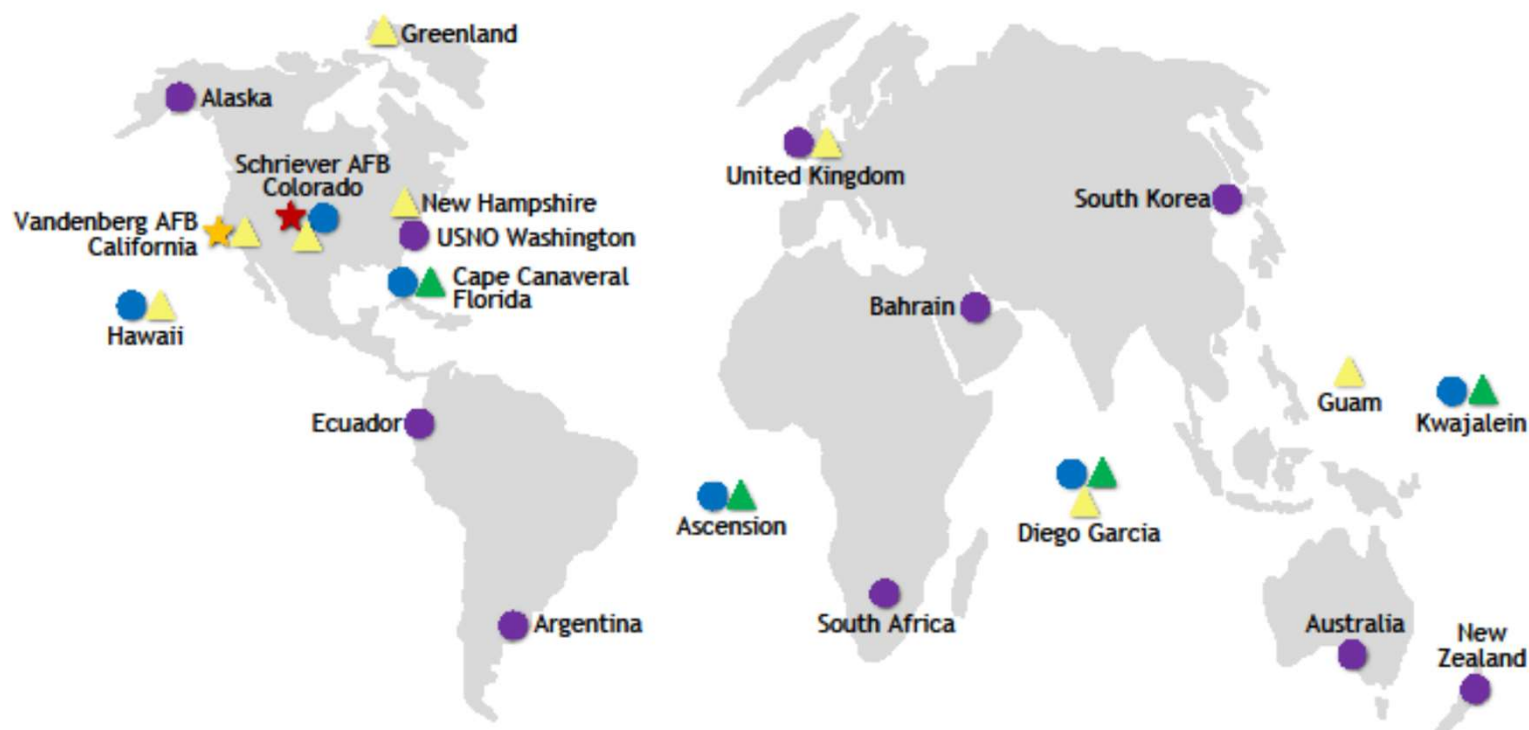
Funkce

- Měření drah navigačních družic
- Monitorování funkce navigačních družic a jejich udržování ve funkčním stavu
- Udržování GPS času
- Predikce parametrů dráhy a časové základny navigačních družic
- Výpočet a nahrávání navigační zprávy
- Drobné manévrování s družicemi s cílem udržet družici na požadované pozici
- V případě poruchy přemísťovat navigační družice na novou pozici

Řídicí segment GPS



GPS Control Segment



★ Master Control Station

▲ Ground Antenna

● Air Force Monitor Station

★ Alternate Master Control Station

▲ AFSCN Remote Tracking Station

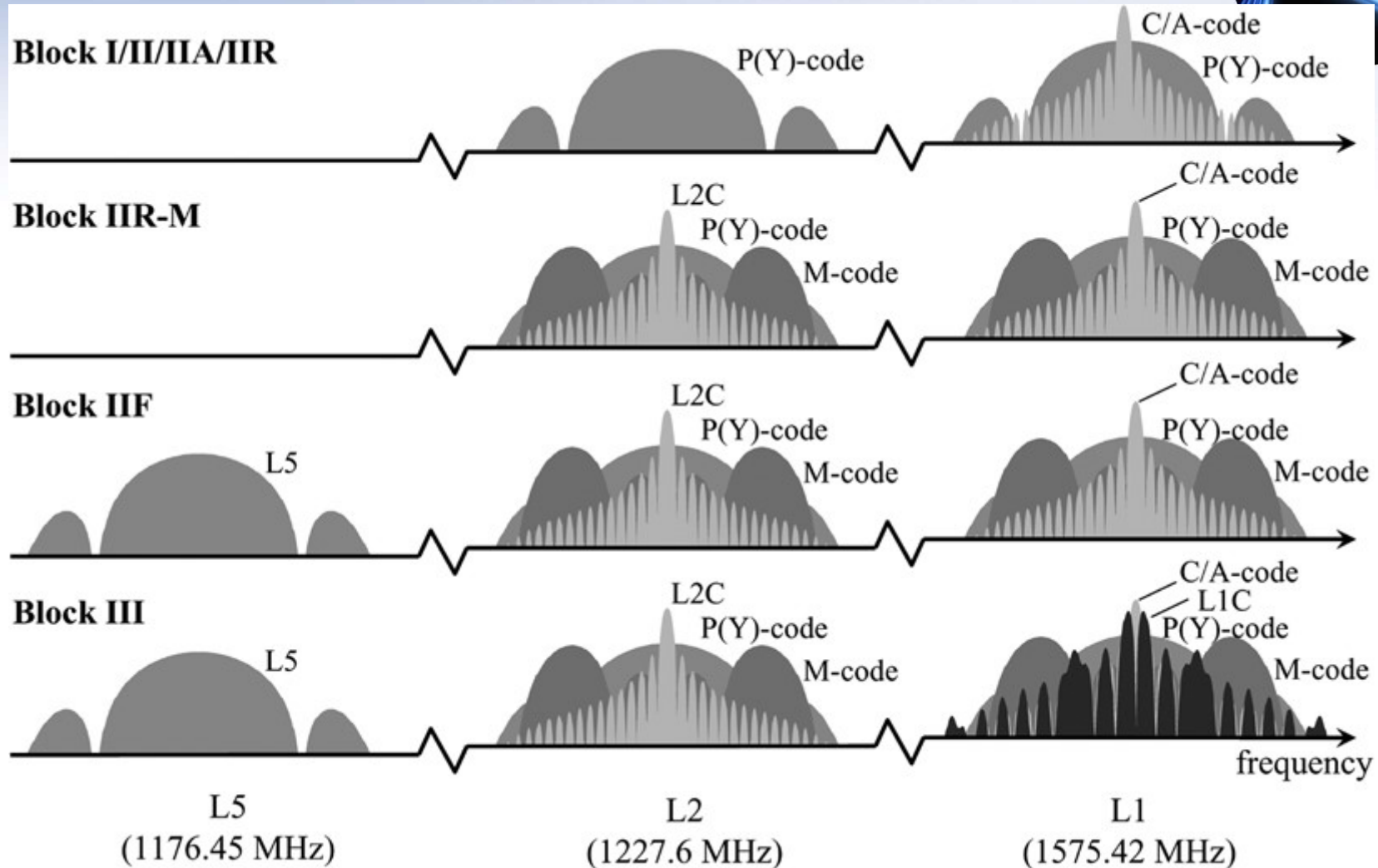
● NGA Monitor Station

Signály a služby



Kmitočet	Označení	Modulace	Kód/délka	Navigační zpráva/rychlost/kódování	Poznámka
L1: 1575,42 MHz	L1 C/A	BPSK(1)	Goldův/1023	ano/50 bps/Hamming	Služba SPS
	L1 P(Y)	BPSK(10)	Goldův/1023	ano/50 bps/Hamming	Služba PPS
	L1C	TMS-SSB (6,1,1/11)	Weilc code /10230	25 bps/konvoluční, CRC	GPS III. Interoperabilní s Galileo
			Primární Weilc code /10230 Sekundární 1800	ne	
	M	-	-	-	Vojenský signál
L2: 1227,6 MHz	L2 P(Y)	BPSK(10)	Goldův/1023	50 bps/Hamming	Služba PPS
	L2 CA	BPSK(1)		25 bps/konvoluční, CRC	Datový signál
				ne	Pilotní signál
	M	-	-	-	Vojenský signál
L5 1176,45 MHz	L5I	BPSK(10)	Primární/10230 Sekundární /10	50 bps/konvoluční, CRC	Civilní letectví
	L5Q	BPSK(10)	Primární/10230 Sekundární /10	ne	Civilní letectví

Signály a služby

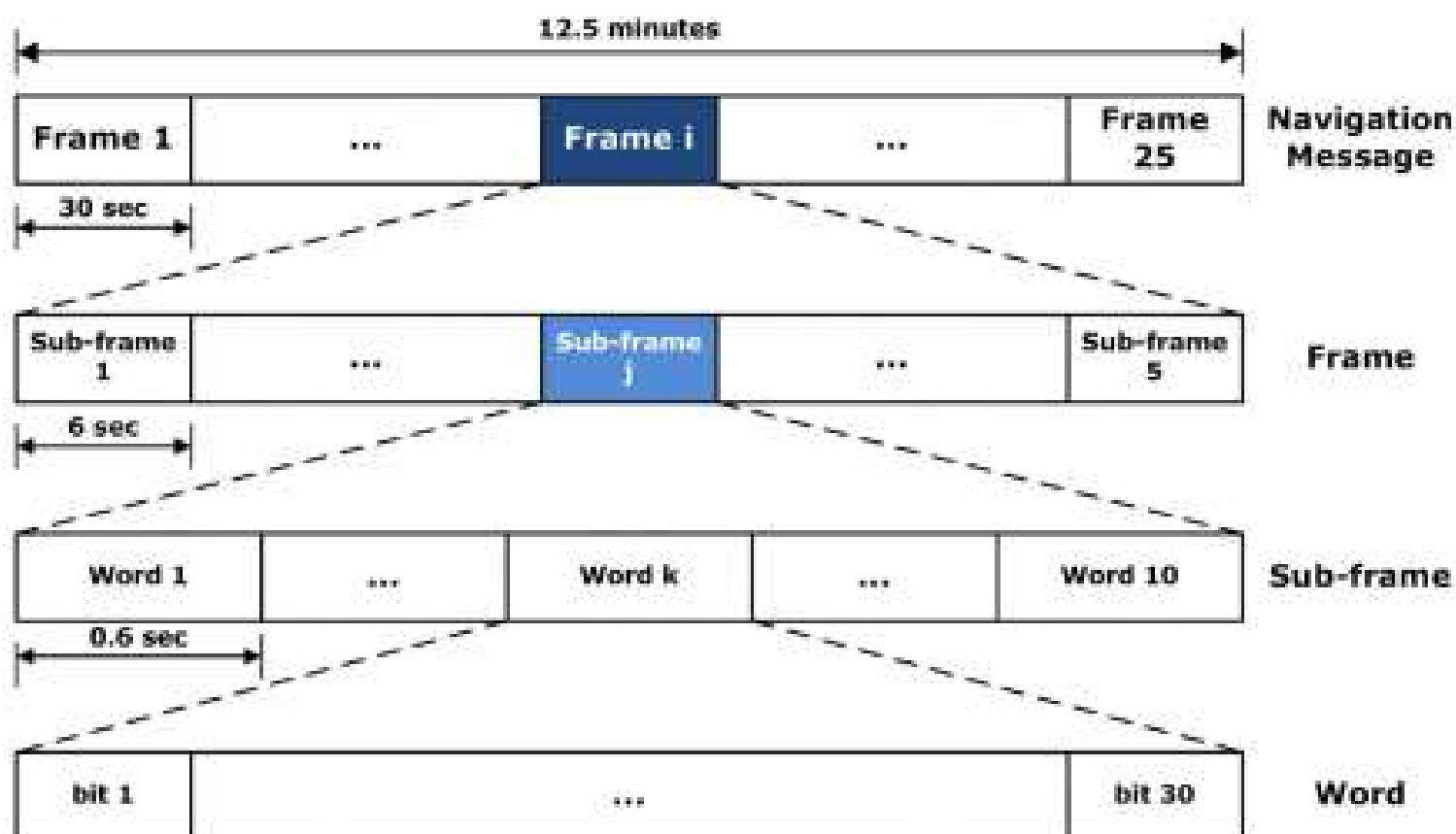


Navigační zpráva



- Efemeridy
 - přesné parametry dráhy družice
- Přesný čas a parametry pro korekci hodin družice
- Servisní parametry jako je stav družice
- Parametry ionosférického modelu
- Almanach systémů
 - nepřesné parametry drah všech družic systému

Navigační zpráva GPS L1 C/A



Navigační zpráva GPS L1 C/A

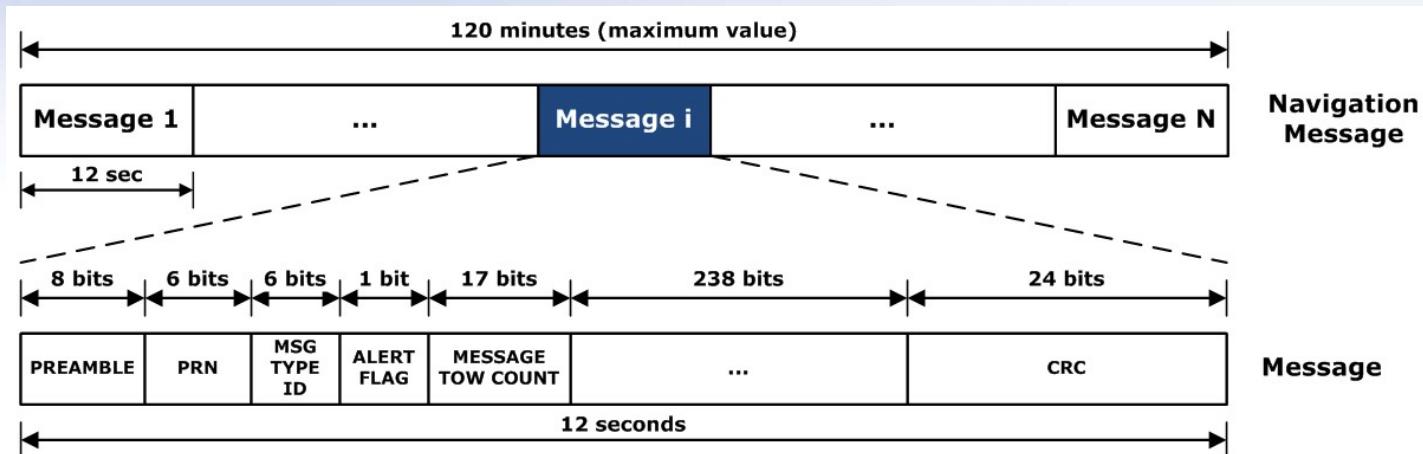


- Navigační zpráva (12,5 min) = 25 rámců
- Rámec (30 s) = 5 podrámců
 - Podrámcce (6 s) 1-3
 - efemeridy družice
 - Stejně v každém rámcu
 - Podrámcce 4-5
 - V každém rámcu jiné
 - Almanach systémů
 - Parametry iono modelu
 - Parametry pro převot GPS řasu na UTC
 - Stav systému
 - Slova 30 bit (0,6 s)
 - Zabezpečení - Lineární blokový kód (32,24)

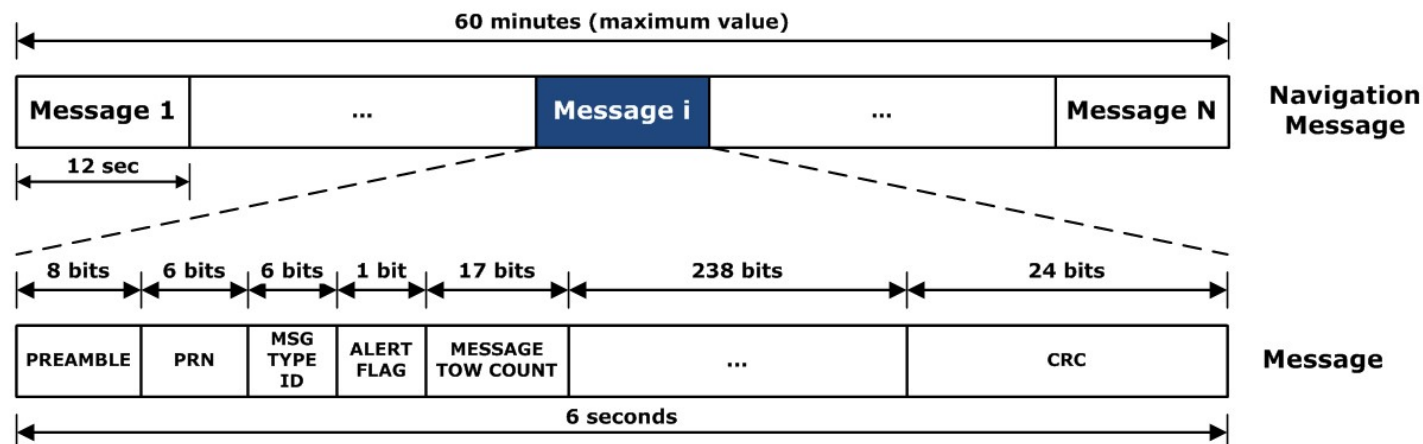
Navigační zpráva modernizovaných signálů



L2C



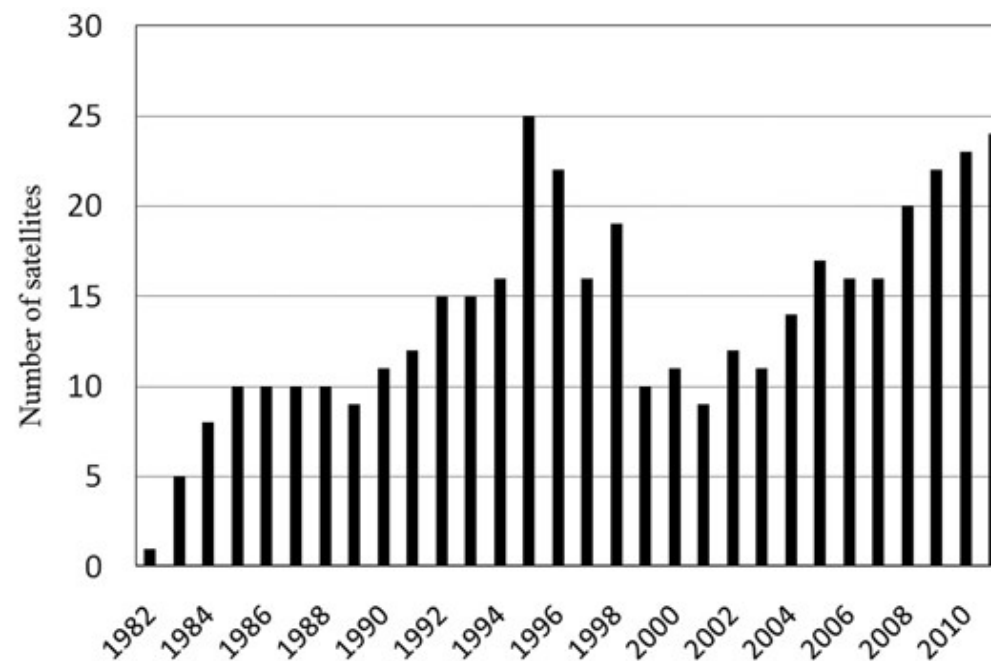
L5



GLONASS



- 1970 zahájená vývoje
- 1982 první testovací družice
- 1996 – 2001 úpadek systému v důsledku ekonomických potíží Ruska
- 2001 začalo se s rekonstrukcí systému



Konstelace GLONASS



- 24 družic
- 3 oběžné roviny vzájemně pootočené o 120°
- Kruhové dráhy o inklinaci $64,8^\circ$
- Výška 19100 km
- Oběžná doba 11 hod. 58 min.

Signál GLONASS



- Kmitočty L1 a L2
- BPSK 511 kchipů/s
- Posloupnost maximální délky o délce 511 chipů
- FDMA

$$f_{k,L1} = 1602 + 0,5625 \cdot k \text{ [MHz]}$$

$$f_{k,L2} = 1201 + 0,437,5 \cdot k \text{ [MHz]}$$

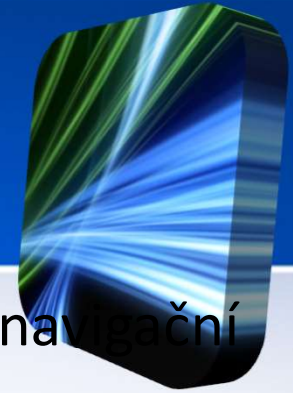
$$k = -7, \dots, +6$$

Modernizace GLONASS



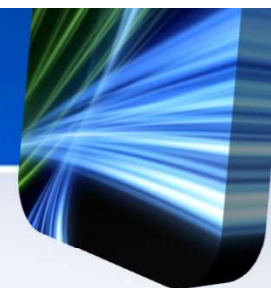
- Nové signály CDMA na L1 a L5
- Interoperabilita s GPS a Galileo

Galileo



- 1999 Evropská unie plánuje vybudovat civilní družicový navigační systém
- Financování soukromými investory
- 2003 První fáze výstavby (EU, ESA)
- Od 2004 systém spravuje European GNSS Agency (GSA), jejíž sídlo bylo v roce 2012 přesunuto do Prahy
- 2006 zkrachovalo financování projektu ze soukromých zdrojů kvůli velkému riziku, proto se v roce 2007 Evropská unie rozhodla financovat projekt z vlastních zdrojů
- V roce 2005 a 2008 byly vypuštěny první testovací družice GIOVE-A a GIOVE-B
- První navigační družice systémy byly vypouštěny od roku 2011

GALILEO konstelace podzim 2015



Constellation Status¹ (15.10.2015)

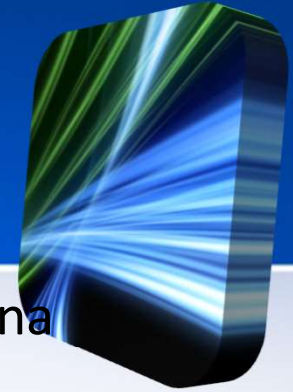
Satellite Name	SV ID	Status	Orbital Slot	Clock ²	NAGU date ³ (UTC)	NAGU Type⁴	NAGU Number	NAGU Subject
GSAT0101	11	AVAILABLE	B05	PHM				
GSAT0102	12	AVAILABLE	B06	RAFS				
GSAT0103	19	AVAILABLE	C04	PHM	2015-10-15 07:50	AVAILABLE	2015013	AVAILABLE AS FROM 2015-10-08
GSAT0104	20	NOT AVAILABLE	C05	RAFS	2014-05-28 09:45	UNP_UNUFN	2014014	UNAVAILABLE FROM 2014-05-27 UNTIL FURTHER NOTICE
GSAT0203	26	UNDER COMMISSIONING	B08		2015-04-10 08:30	GENERAL	2015009	LAUNCH OF GSAT0203 AND GSAT0204
GSAT0204	22	UNDER COMMISSIONING	B03		2015-04-10 08:30	GENERAL	2015009	LAUNCH OF GSAT0203 AND GSAT0204
GSAT0205	24	UNDER COMMISSIONING	A08		2015-09-23 14:00	GENERAL	2015011	LAUNCH OF GSAT0205 AND GSAT0206
GSAT0206	30	UNDER COMMISSIONING	A05		2015-09-23 14:00	GENERAL	2015011	LAUNCH OF GSAT0205 AND GSAT0206

Konstelace Galileo

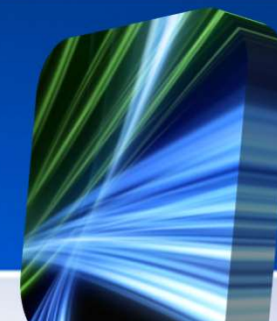


- 30 družic rozmístěných ve třech oběžných rovinách
 - Výška družic bude 32222 km
 - Plánovaná životnost družic je 12 let
- Někdy se hovoří o tom, že konstelace bude doplněna o geostacionární družice systému EGNOS

Signály a služby



1. **Galileo Open Service (OS)** - bezplatná služba poskytovaná na kmitočtu E1 nebo na dvou kmitočtech E1 a E5.
 2. **Galileo Safety of Life Service (SOL)** – služba OS rozšířená o varování uživatele, že není garantována přesnost nebo integrita systému. Služba bude poskytována prostřednictvím modernizovaného systému EGNOS (EGNOS V3).
 3. **Galileo Commercial Service (CS)** – služba bude umožňovat komerčním subjektům implementovat družicové rozšíření systému (SBAS Satellite Based Augmentation System). Pro tuto službu bude vyhrazen zvláštní datový kanál o rychlosti 500 bps na kmitočtu E6.
 4. **Galileo Public Regulated Service (PRS)** – služba je výhradně určena pro uživatele autorizované vládami členských států Evropské unie. Služba bude vybavena mechanismy proti zarušení a podvrhnutí signálu. Bude sloužit k zabezpečení potřeb bezpečnostní a strategické infrastruktury jako jsou telekomunikace a finance.
- Služba pátrání a záchrany Cospas-Sarsat



Kmitočet	Označení	Modulace	Kód/délka	Navigační zpráva/rychlost/kódování	Poznámka
E1 1575,42 MHz	E1a	BOC(15, 2,5)	N/A	N/A	PRS
	E1b	CBOC(1, 1)	4092	250 bps, Hamming, CRC	OS, SOL
	E1c	CBOC(1, 1)	Primární 4092 Sekundární 25	Pilotní	OS, SOL
E5 1191,795 MHz	E5a data	AltBOC(15,10)	Primární 10230 Sekundární 20	50 bps, Hamming, CRC	OS, SOL
	E5a pilot		Primární 10230 Sekundární 100	Pilotní	OS, SOL
	E5b data		Primární 10230 Sekundární 4	250 bps, Hamming, CRC	OS, SOL
			Primární 10230 Sekundární 100	Pilotní	OS, SOL
	E5b pilot				
E6 1278,75 MHz	E6 CS data	BPSK(5)	5115	1000 bps	CS
	E6 CS pilot	BPSK(5)	Primární 5115 Sekundární 100	Pilotní	CS
	E6 PRS	BOC(10,5)	N/A	N/A	PRS

Compass



- 2000 BeiDou
- 2011 Compass (BeiDou-2)
 - 2011 systém disponoval 10 družicemi, které zabezpečovali navigační službu v pacifické oblasti
 - Globální pokrytí je plánováno v roce 2020
- Plná konstelace
 - 3 družice na IGSO (Incilned Geosynchronous Orbit)
 - 27 družic na střední oběžné dráze MEO
 - výšce 21,527 km
 - inklinace 55°
 - Kmitočtová pásma
 - 1559,052-1591,788 MHz
 - 1166,22-1217,37MHz
 - 1250,618-1286,423 MHz

Rozšiřující navigační systémy



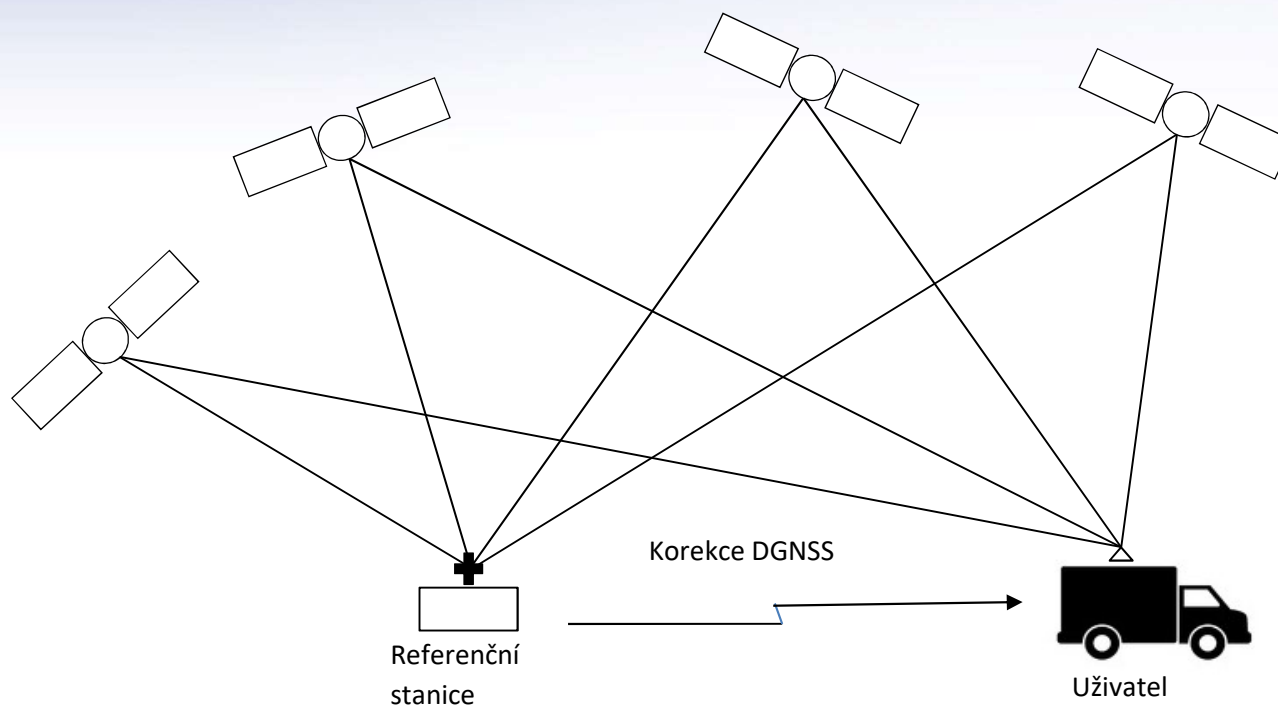
- Vylepšují
 - přesnost
 - dostupnost
 - spolehlivost navigační informace
- Dělení
 - GBAS (Ground-based augmentation system)
 - SBAS (Satellite-based augmentation system)
- Využívají diferenční metody měření (DGNSS)

Diferenční metody



- Měření se provádí ve dvou bodech
 - Referenční stanice v bodě se známou polohou
 - Uživatelský přijímač
- Korekce korelovaných chyb (korigované DGNSS)
 - chyba polohy a časové základny navigační družice
 - zpožděním v ionosféře
 - zpožděním v troposféře
- Nekorelované chyby (nekorigují se DGNSS)
 - chyba způsobená mnohocestným šířením signálu
 - chyba způsobená šumem přijímače
- Opravy chyb se provádí pomocí korekcí DGNSS
 - korigují se zdánlivé vzdálenosti

DGNSS

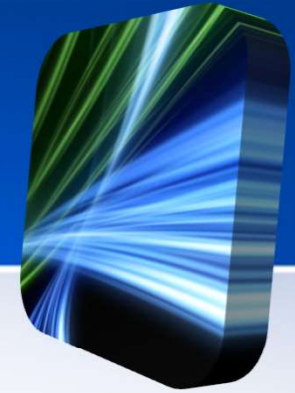


GBAS

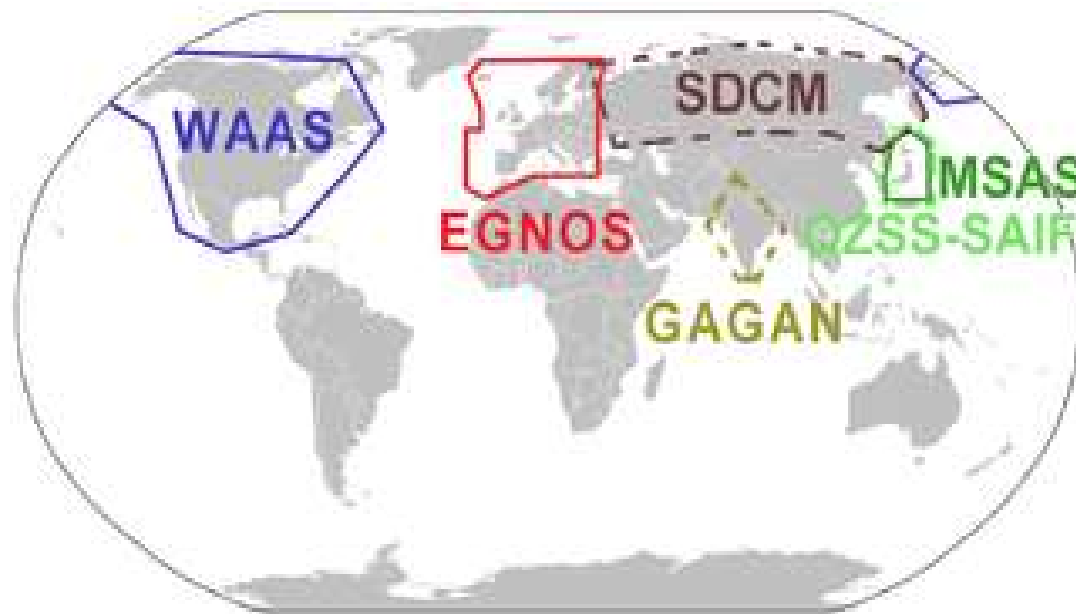


- NDGPS (Nationwide Differential GPS)
 - provozovatel: pobřežní stráž USA od 1999
 - dlouhovlnné vysílače původně sloužící pro Ground Wave Emergency Network (GWEN)
- LAAS (Local Area Augmentation System)
 - přistání civilních letadel kategorie I., II. a III.
 - Korekce šířeny VKV datovou linkou

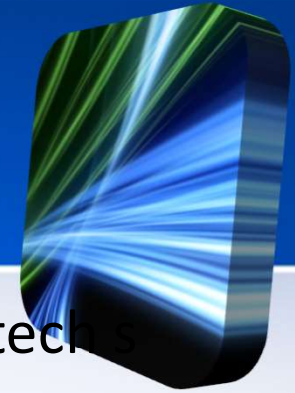
SBAS



- Korekce šířeny jednou nebo několika GEO družicemi
- Velkoplošné korekce měřené sítí pozemních stanic
 - WAAS
 - EGNOS
 - MSAS
 - GAGAN
 - SDCM



QZSS



- Podpora družicové navigace v Japonsku ve velkých městech s problematickou viditelností oblohy
- IGSO (Incilned Geosynchronous Orbit)

