



Seminář GPS

Úvod do problematiky GNSS

Irena Opatřilová, Ústav geodézie, 8.2.2012

Struktura GNSS

- ◆ Global Navigation Satellite Systems
- ◆ založeno na družicových technologiích
- ◆ 3 základní segmenty:
 - kosmický – umělé družice
 - řídicí – pozemní stanice
 - uživatelský – uživatelé s aparaturou
 - (podpůrný) – geostacionární družice, sítě permanentních referenčních stanic

Aplikace GNSS

- ◆ navigace na zemském povrchu, na moři i ve vzduchu
- ◆ autonomní určování prostorové polohy, rychlostí a přesného času na Zemi a v její blízkosti
- ◆ geodetické aplikace (určování relativní prostorové polohy)
- ◆ realizace a udržování globálních a regionálních referenčních systémů (ITRS, ETRS)

Aplikace GNSS

- ◆ řešení geodynamických úloh (geotektonika)
- ◆ určování parametrů zemské rotace (EOP)
- ◆ získávání údajů o stavu zemské atmosféry (využití v meteorologii)
- ◆ přesné určování času

Výhody a nevýhody pro geodézii

- ◆ velmi úsporné a efektivní
 - ◆ nezávislost na vzájemné viditelnosti bodů
 - ◆ nezávislost na denní a noční době
 - ◆ aparatura pouze přijímá signály
- X
- ◆ nemožnost měřit v tunelech, dolech apod.
 - ◆ vliv překážek a zastíněných prostor na měření (les, hustá zástavba aj.)
 - ◆ měření pouze jednoho bodu
 - ◆ nelze určit polohy nepřístupného bodu
 - ◆ závislost na politice USA a Ruska

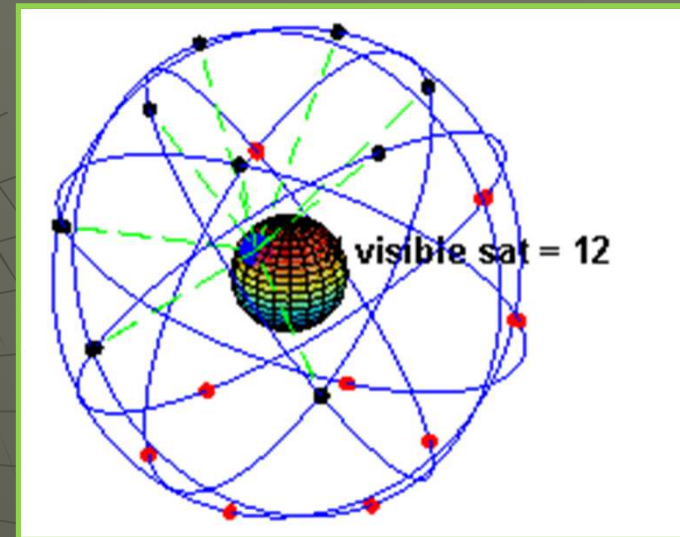


NAVSTAR GPS

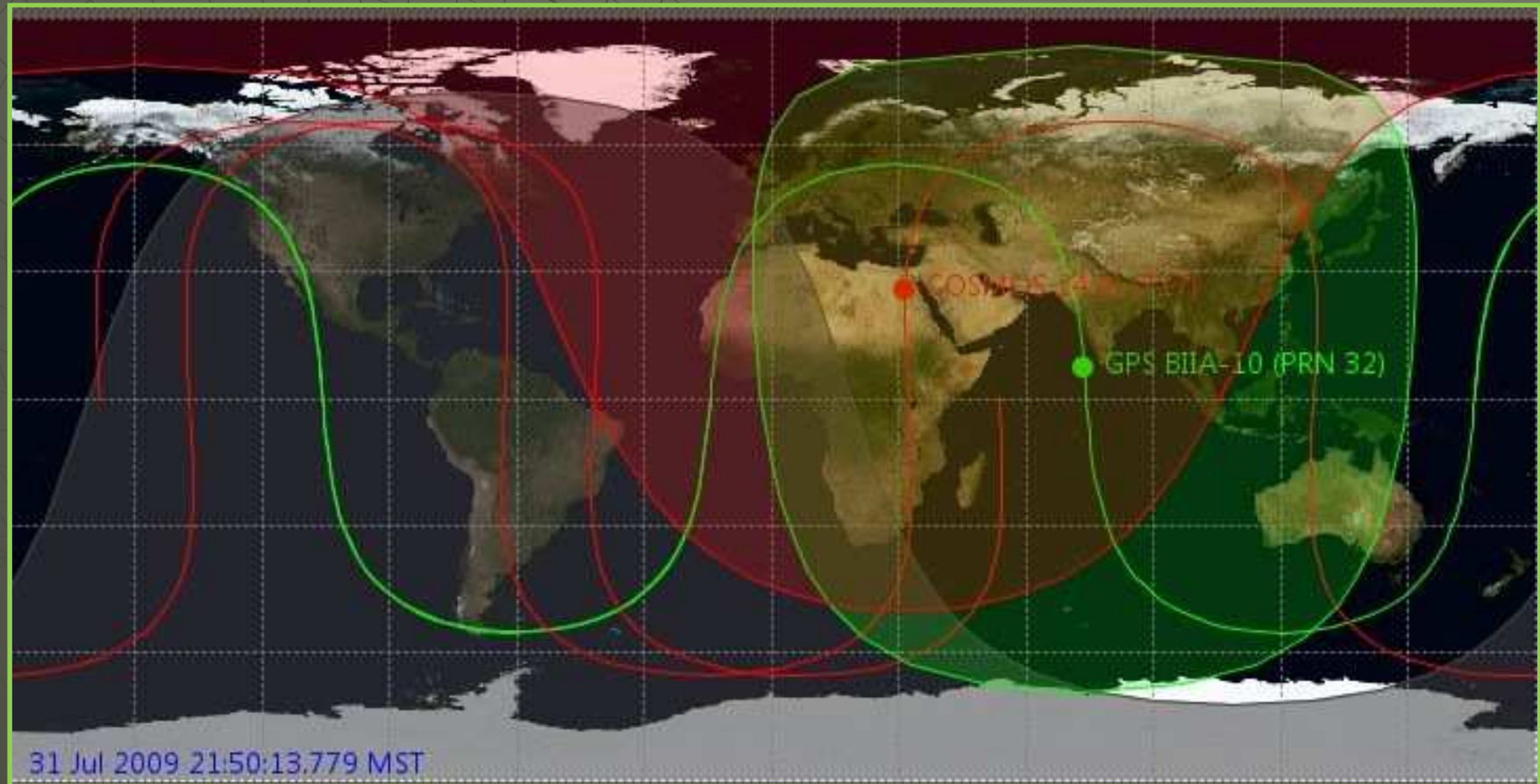
- ◆ NAVigation Satellite Timing And Ranging Global Positioning System
- ◆ pod Ministerstvem obrany USA
- ◆ předchůdcem byl navigační systém TRANSIT (vznik r. 1960)
- ◆ historie:
 - 1973-1979 vypuštěny první dvě testovací družice
 - 1979-1985 hlavní fáze budování, 11 družic I. bloku na 2 oběžných drahách, pozemní řídicí stanice
 - 1985-1994 družice II. bloku, leden 1994 = plně operační stav (24 družic)

Kosmický segment GPS

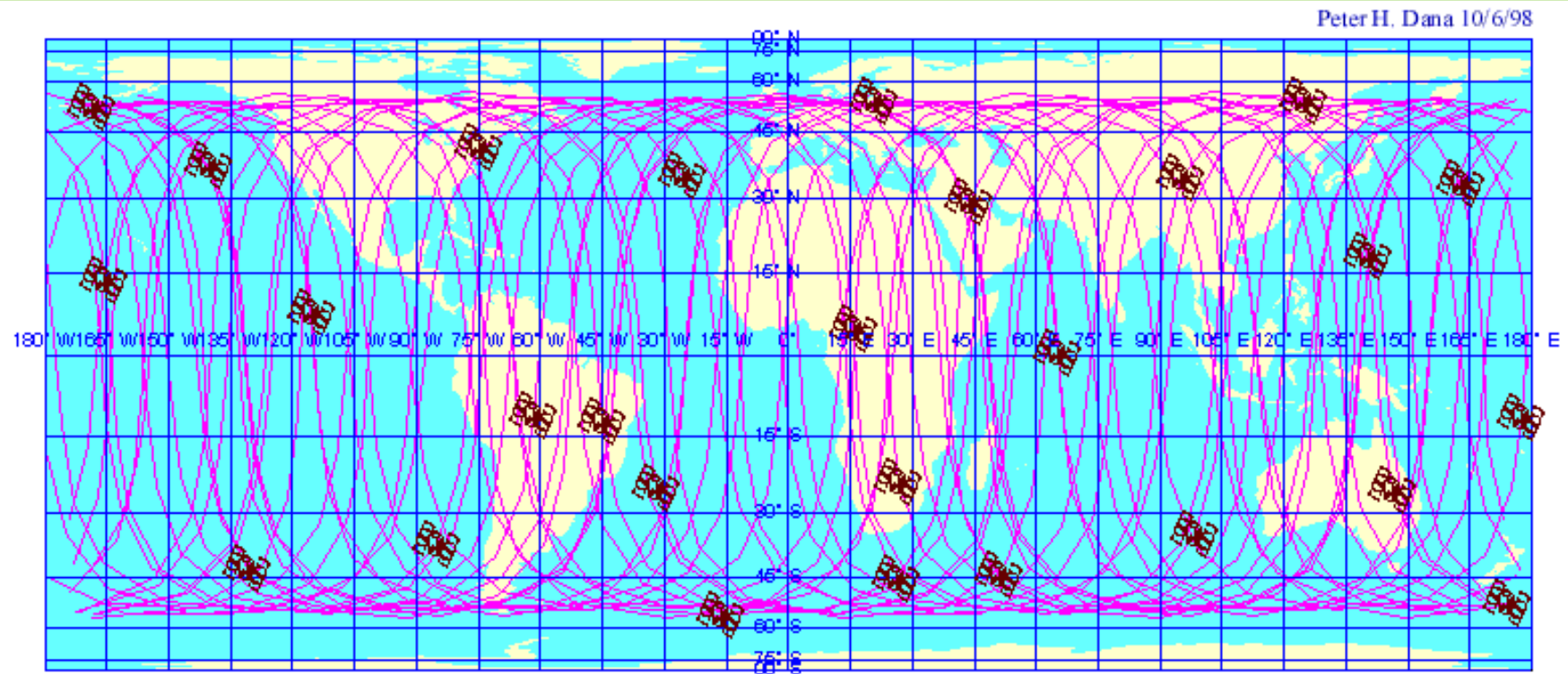
- ◆ počet družic: 31
- ◆ výška oběžné dráhy: 20 200 km nad zemským povrchem
- ◆ počet oběžných drah: 6
- ◆ sklon dráhy: 55°
- ◆ dráhy posunuty o 60°
- ◆ rychlost: 3,8 km/s
- ◆ doba oběhu: 11 hod 58 min
- ◆ životnost: 10 let



Dráha družice GPS



Dráhy družic GPS



Vybavení družic GPS

- ◆ 3 až 4 atomové hodiny
- ◆ 12 antén pro vysílání rádiových kódů
- ◆ antény pro komunikaci s pozemními kontrolními stanicemi
- ◆ antény pro vzájemnou komunikaci družic
- ◆ optické, rentgenové a pulzní-elektromagnetické senzory pro detekci startů balistických raket a jaderných výbuchů
- ◆ solární panely a baterie jako zdroj energie

Družice GPS

Blok	Období	Vypuštěno	Aktivní	Životnost plán/skutečná
I	1978–1985	10+1 ¹	0	-/?
II	1989–1990	9	0	7,5/12,1
IIA	1990–1996	19	9	7,5/13,1+
IIR	1997–2004	12+1 ¹	12	10,0/14,2+
IIR-M	2005–2009	8	7	8,5/8,6+
IIF	2010–2012	2+10 ²	2	15,0/-
IIIA	2014–2019	0+12 ³ (+4) ⁴	0	-/-
IIIB		0+8 ³	0	-/-
IIIC		0+16 ³	0	-/-
Celkem		61 +11² +36³	31	

¹ztracena při startu nebo selhalo oživení
²v přípravě
³plán
⁴vývojové/testovací
(Poslední změna: 20. října 2011)



Družice bloku I (1978 – 1985)

- ◆ celkem 11 družic
- ◆ plánovaná životnost 3 roky (ve skutečnosti až 10 let)
- ◆ inklinace 63°
- ◆ 3 atomové hodiny
- ◆ až od roku 1983 pro civilní účely
- ◆ L1 (C/A, P), L2 (P)



Družice bloku II a IIA (1989 – 1996)

- ◆ celkem 28 družic (9+19)
- ◆ plánovaná životnost 7,5 let
- ◆ 4 atomové hodiny
- ◆ samostatný provoz bez zásahu pozemních stanic:
 - II blok – 14 dní
 - IIA blok – 180 dní
- ◆ možnost kryptografické techniky (SA, A-S)



Družice GPS Blok IIA



Družice bloku IIR a IIR-M

(1997 – 2009)

- ◆ celkem 19 družic (12+7)
- ◆ vylepšení ve vzájemné komunikaci družic
- ◆ IIR-M:
 - nově kód M (L1, L2)
 - C kód i na L2

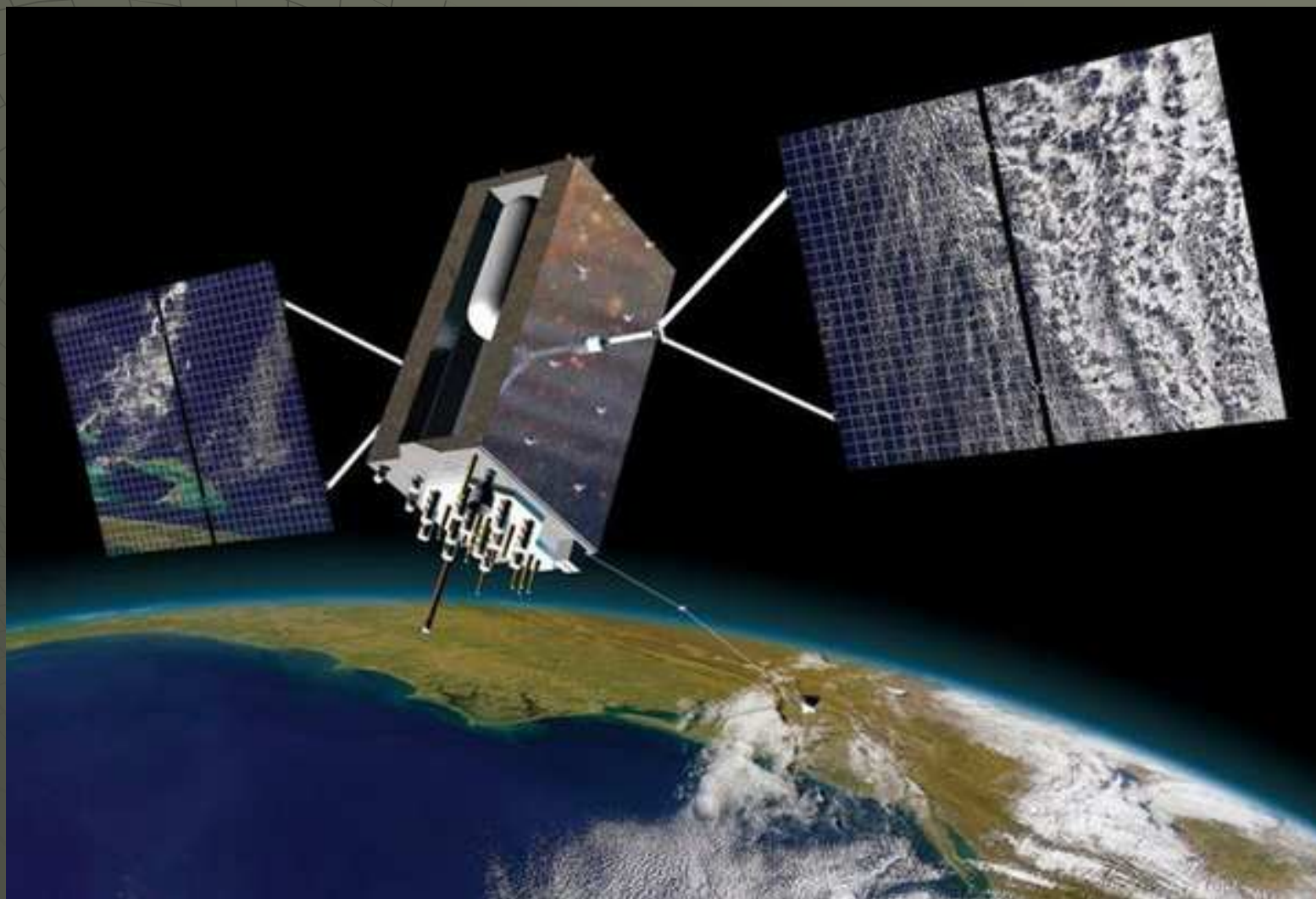


Družice bloku IIF (1997 – 2012)

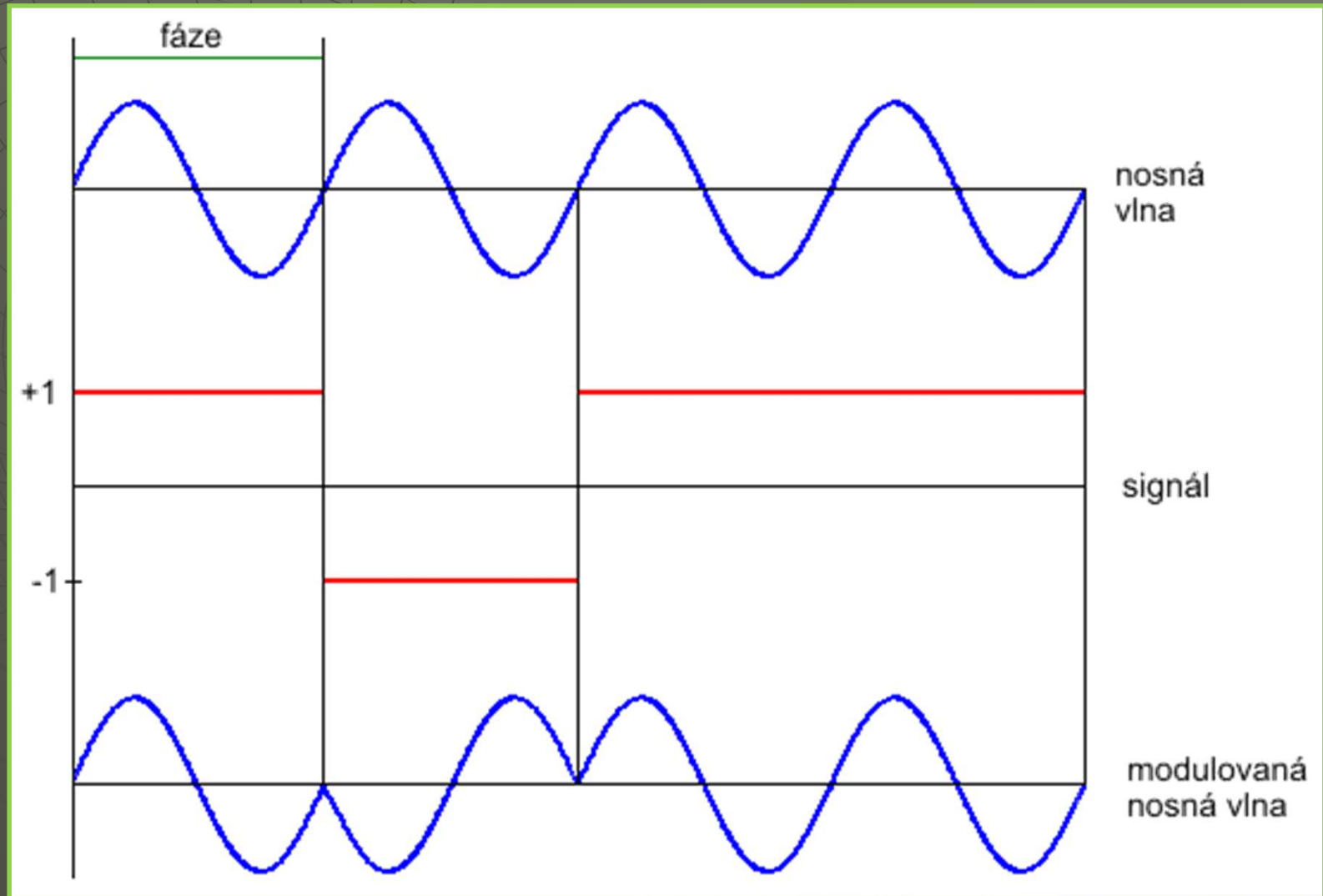
- ◆ celkový plánovaný počet 12 (dnes již 2 aktivní)
- ◆ nově frekvence L5 (pro lepší modulaci atmosféry)



Návrh GPS družice bloku IIIA



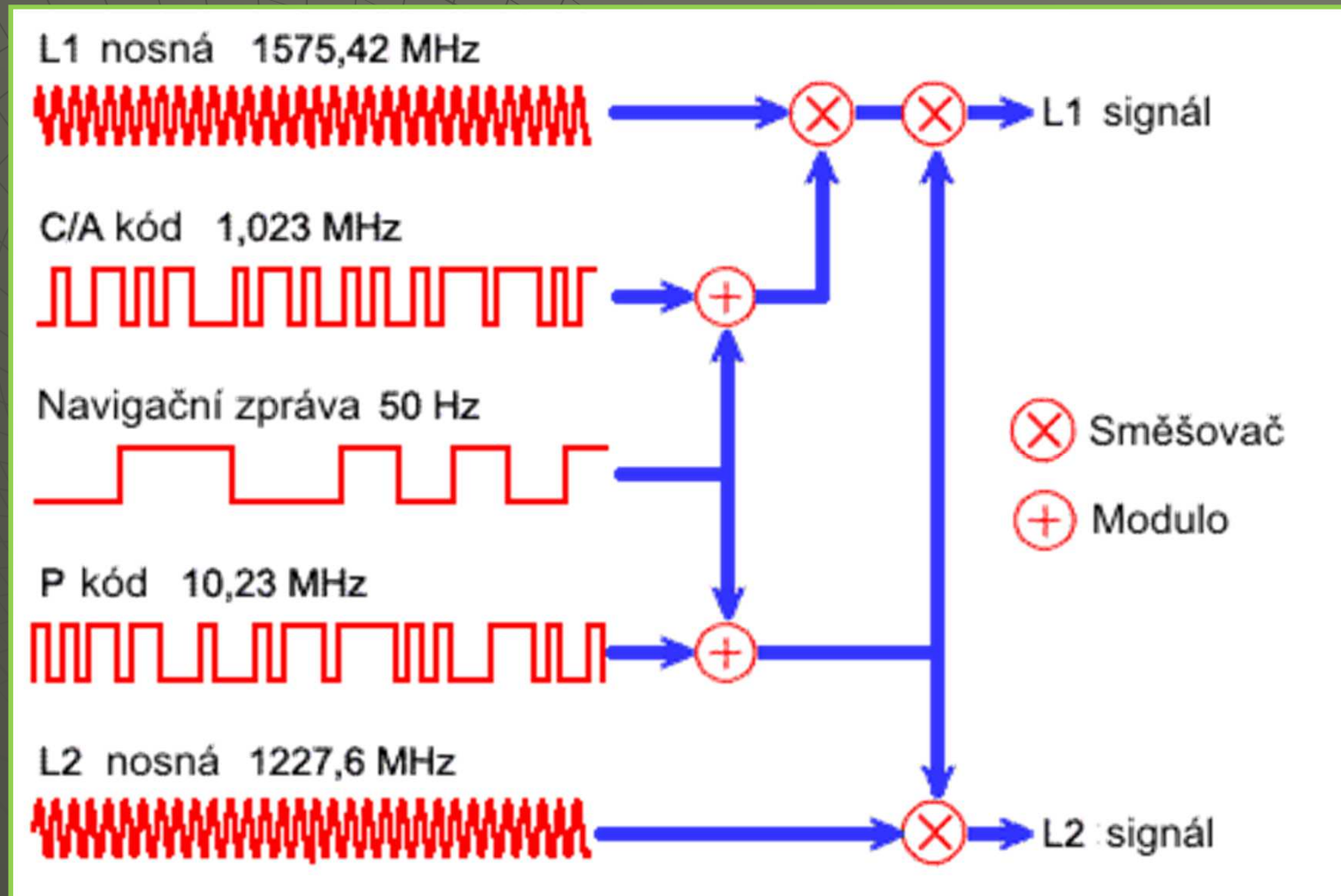
Družicové signály



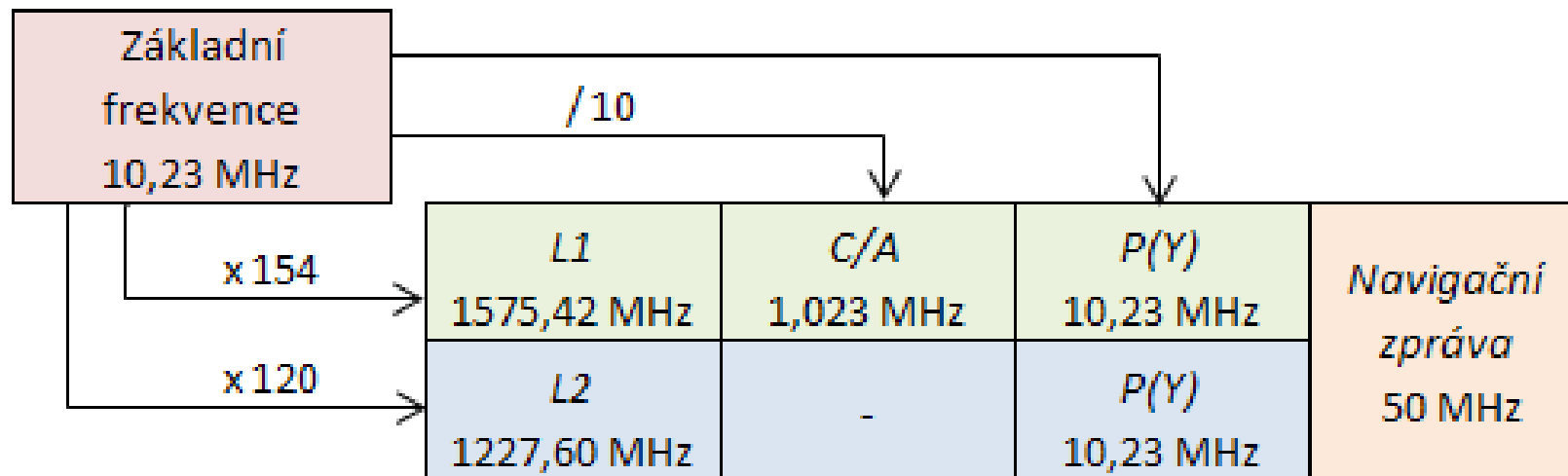
Přehled frekvencí a kódů GPS

Základní frekvence	$f_0 = 10,23 \text{ MHz}$
Nosná frekvence L1	$154 f_0 = 1\,575,42 \text{ MHz}$
Nosná frekvence L2	$120 f_0 = 1\,227,60 \text{ MHz}$
P kód	$f_0 = 10,23 \text{ MHz}$
C/A kód	$f_0 / 10 = 1,023 \text{ MHz}$
W kód	$f_0 / 20 = 511,5 \text{ kHz}$
Navigační zpráva	$f_0 / 204600 = 50 \text{ Hz}$

Struktura signálu GPS

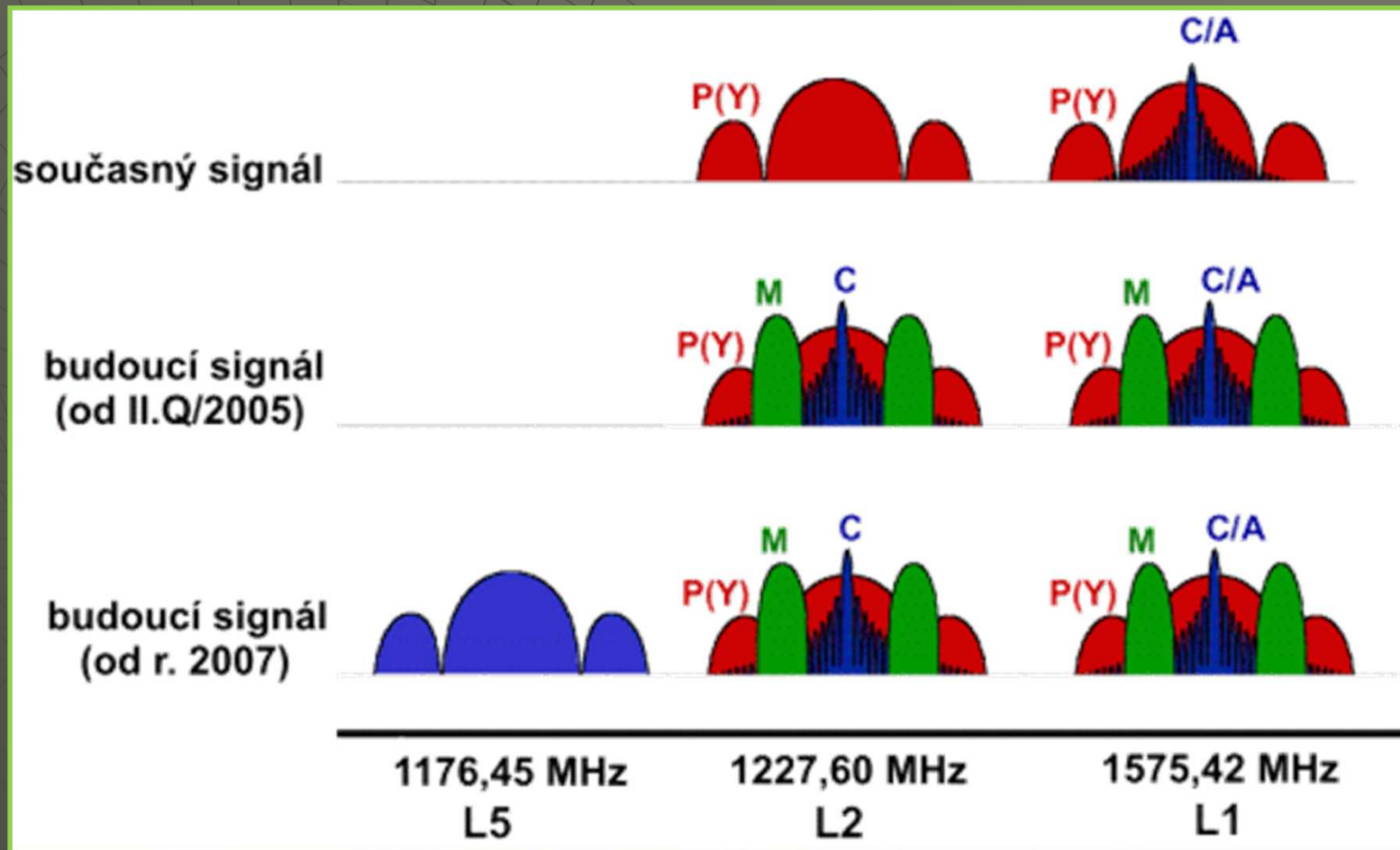


Struktura signálu GPS

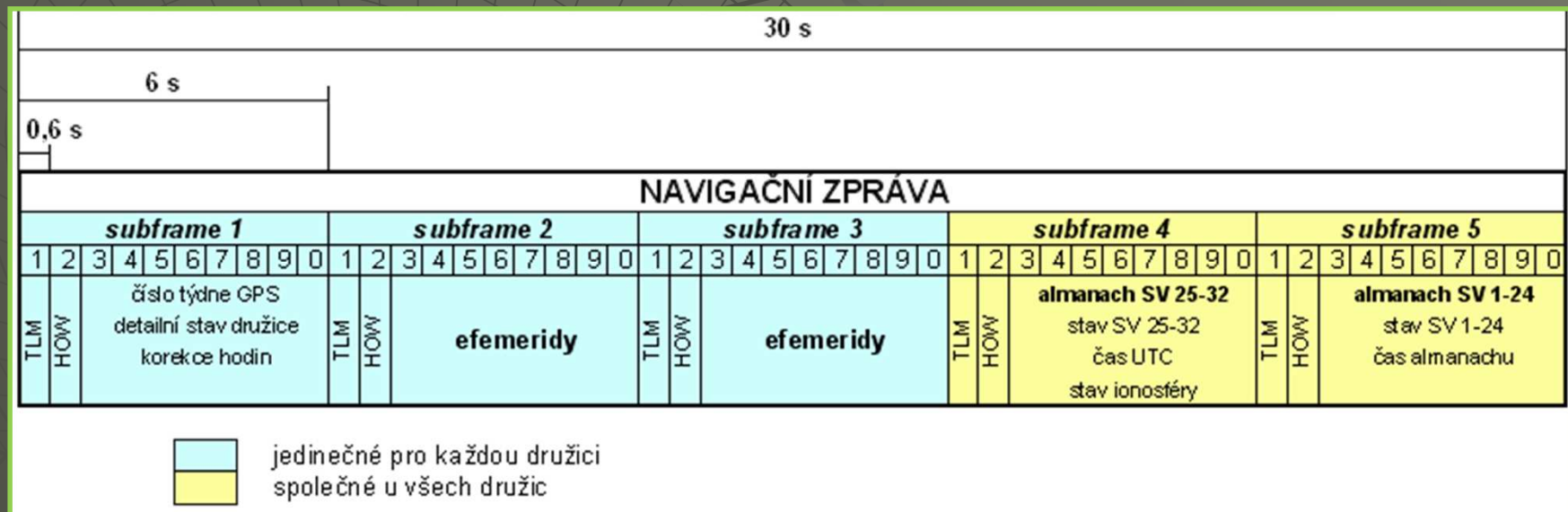


Délka	293 m	29,3 m	5 950 km
Opakování	1 ms	1 týden	12,5 min
Cyklus	1 ms	267 dní	-

Struktura signálu GPS



Navigační zpráva GPS

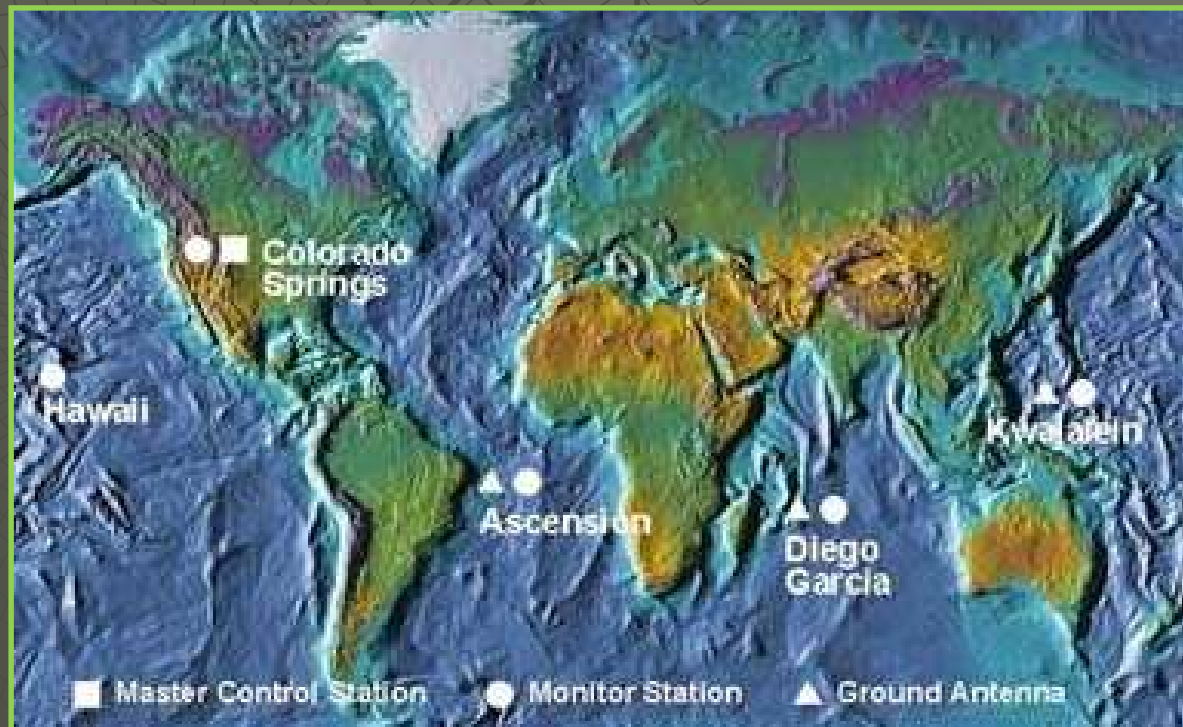


Kryptografické techniky GPS

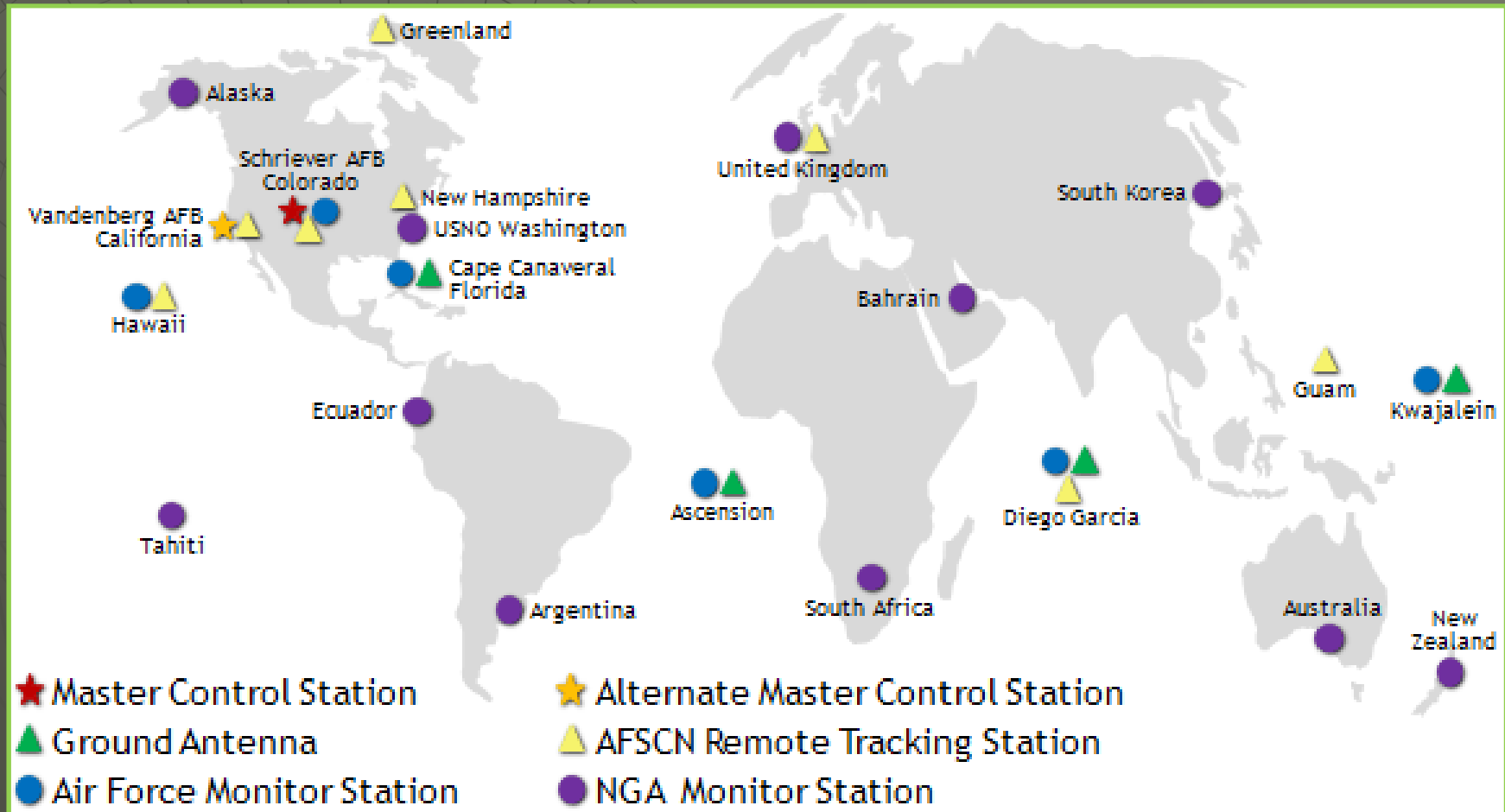
- ◆ umožňují snížit přesnost určení polohy, rychlosti i času
- ◆ Selective Availability (SA)
 - 1990-2000
 - změna základní frekvence hodin, změna efemerid družice vysílané v navigační zprávě => snížená přesnost měření pseudovzdáleností pomocí C/A kódu
- ◆ Anti-Spoofing (A-S)
 - od roku 1994
 - zakódování P kódu kódem W => Y kód [P(Y) kód, PRN kód]

Řídící a kontrolní segment GPS

- ◆ operační systém = 1 hlavní řídicí stanice, 5 monitorujících stanic a tři pozemní řídicí stanice



Kontrolní segment GPS



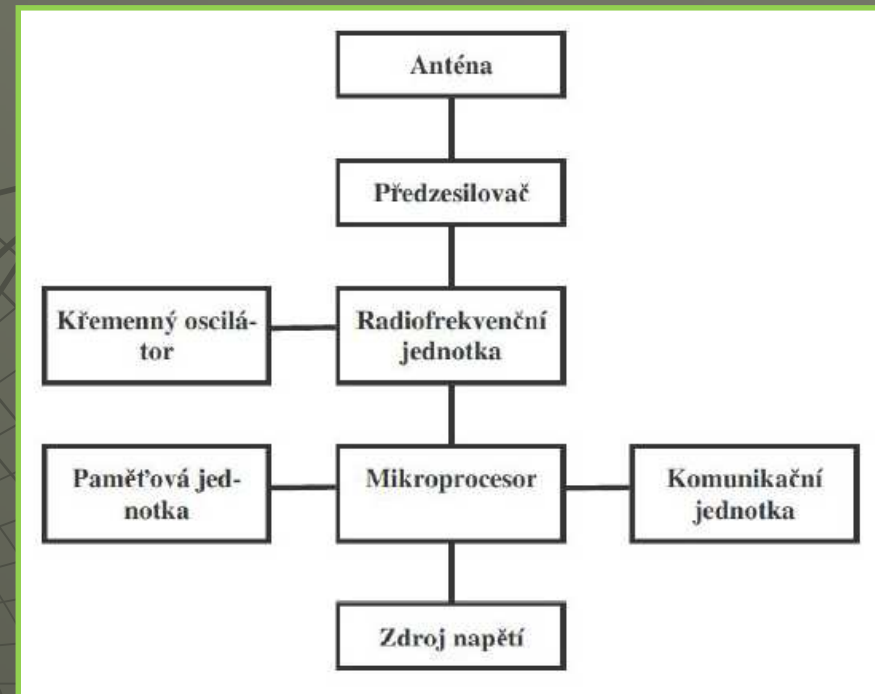
Uživatelský segment GNSS

- ◆ uživatelské přijímače všech typů a přesností
- ◆ základní rozdělení přijímačů:
 - podle počtu přijímaných frekvencí
 - ◆ jednofrekvenční
 - ◆ dvoufrekvenční
 - ◆ vícefrekvenční
 - podle přijímaného signálu ze systému
 - ◆ jednosystémové
 - ◆ vícesystémové
 - podle principu výpočtů
 - ◆ kódové
 - ◆ fázové a kódové
 - podle počtu kanálů
 - ◆ jednokanálové
 - ◆ vícekanálové



Součásti GNSS přijímače

- ◆ anténa
- ◆ předzesilovač
- ◆ procesor
- ◆ časové základna (často křemíkový krystal)
- ◆ komunikační rozhraní



Antény GNSS přijímačů



Podpůrný segment

- ◆ systémy zvyšující v reálném čase základní přesnost GNSS
- ◆ **SBAS** (Satellite Based Augmentation Systems)
 - družice na geostacionárních drahách
 - vyhodnocují stav kosmického segmentu GNSS a ionosféry
 - globální (komerční) – Omnistar, StarFire, Starfix
 - regionální (volně dostupné) – WASS, EGNOS, MSAS aj.

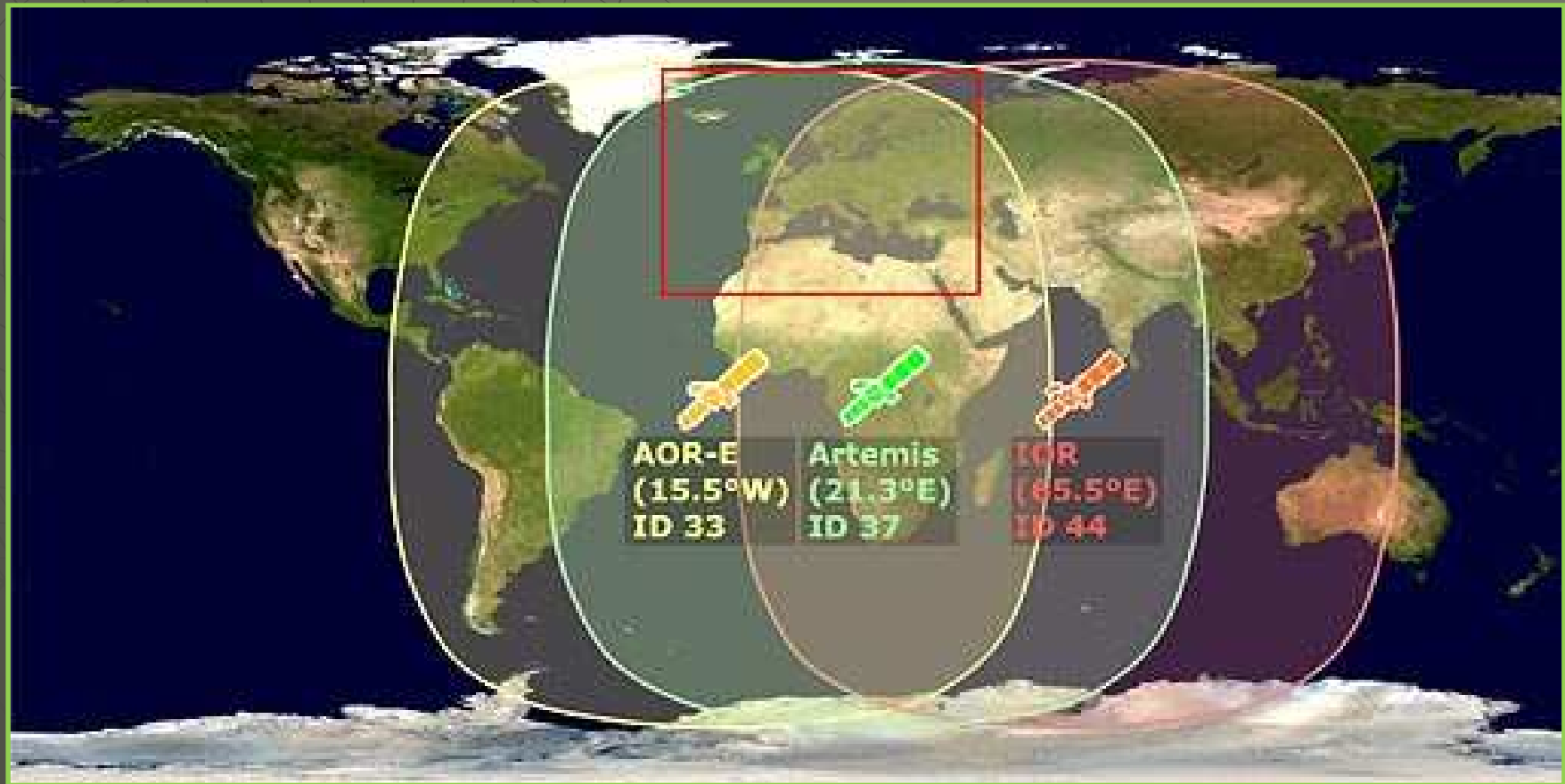
SBAS



EGNOS

- ◆ European Geostationary Navigation Overlay Service
- ◆ doplňuje a vylepšuje vlastnosti GPS v Evropě
- ◆ 3 družice, 34 pozemních monitorovacích stanic
- ◆ signály vysílané na L1

EGNOS



Podpůrný segment

- ◆ **GBAS** (Ground Based Augmentation Systems)
 - systém sítí permanentních referenčních stanic
 - v reálném čase vyhodnocují aktuální stav kosmického segmentu GNSS
 - vypočítávají korekce vzhledem ke své absolutní poloze a poskytují je uživatelům pomocí mobilních sítí, radiových vysílání či k pozdějšímu postprocessingu

GBAS

- ◆ regionální úroveň
 - GRAS (Austrálie)
 - DGPS (USA)
 - WAGE (USA)
 - EUREF (EU)
 - CZEPOS (Česko)
- ◆ lokální úroveň - osamělé referenční stanice, např. u letišť, dolů, rozsáhlých staveb



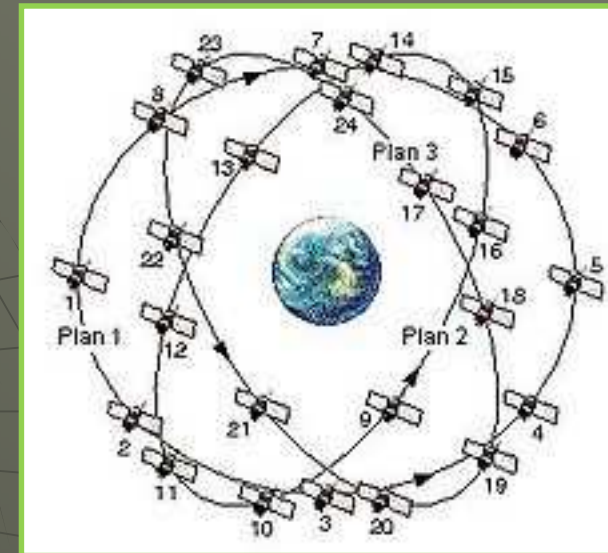
GLONASS

- ◆ ГЛОбальная НАвигационная Спутниковая Система
- ◆ pod správou ruské armády
- ◆ vývoj od roku 1970 v SSSR
- ◆ 1982 první družice
- ◆ 1996-2001 úpadek
- ◆ od r. 2001 znovuoobnovení



Kosmický segment GLONASS

- ◆ počet družic: 24
- ◆ výška oběžné dráhy: 19 100 km nad zemským povrchem
- ◆ počet oběžných drah: 3
- ◆ sklon dráhy: 65°
- ◆ dráhy posunuty o 120°
- ◆ rychlost: 3,9 km/s
- ◆ doba oběhu: 11 hod 15 min
- ◆ C/A a P kódy na L1, L2 (odlišné frekvence od GPS)



Kosmický segment GLONASS

Blok (životnost)	Období	Vypuštěno	Ve službě
Uragan(1)	1982–1985	10	0
UraganA(1)	1985–1986	6	0
UraganB(2)	1987–1988	6+6 ¹	0
UraganV(3)	1988–2005	59	0 ^[11]
Uragan-M(7)	2001–2012	28+3 ¹ +8 ²	22+1 ³
Uragan-K1(10)	2011–2013	1+1 ²	1 ³
Uragan-K2(10)	2013/2014–?	? ²	0
Uragan-KM(?)	2015+	?	0
Celkem		113+9¹+10²	22+2³

¹Ztracen při startu nebo selhalo oživení

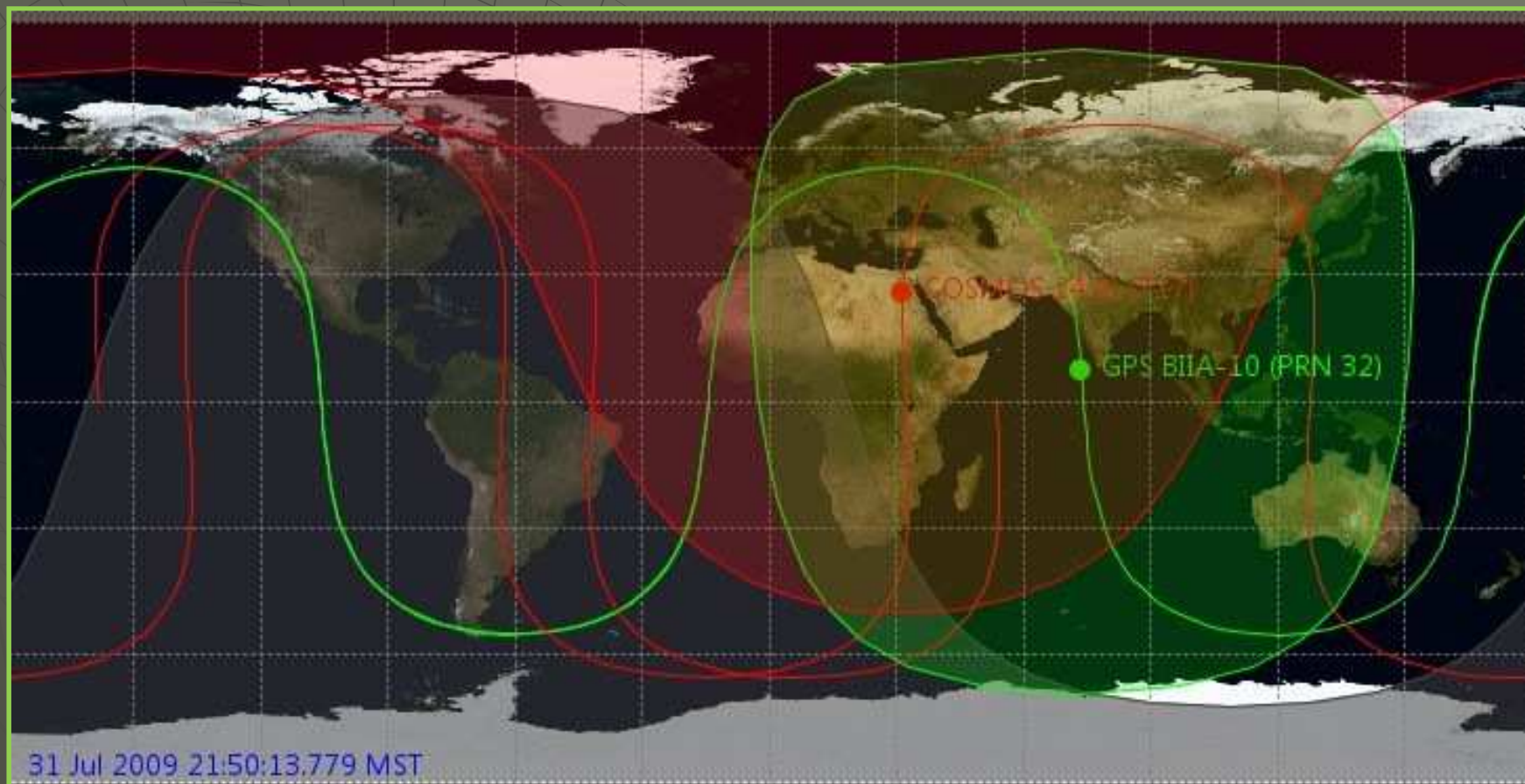
²V přípravě.

³Zavádění do provozu nebo v záloze, údržbě

(Poslední změna: 20. října 2011)



Dráha družice GLONASS



Řídící a kontrolní segment GLONASS

GROUND SEGMENT FOR SATELLITE CONTROL AND ORBIT DETERMINATION & TIME SYNCHRONIZATION





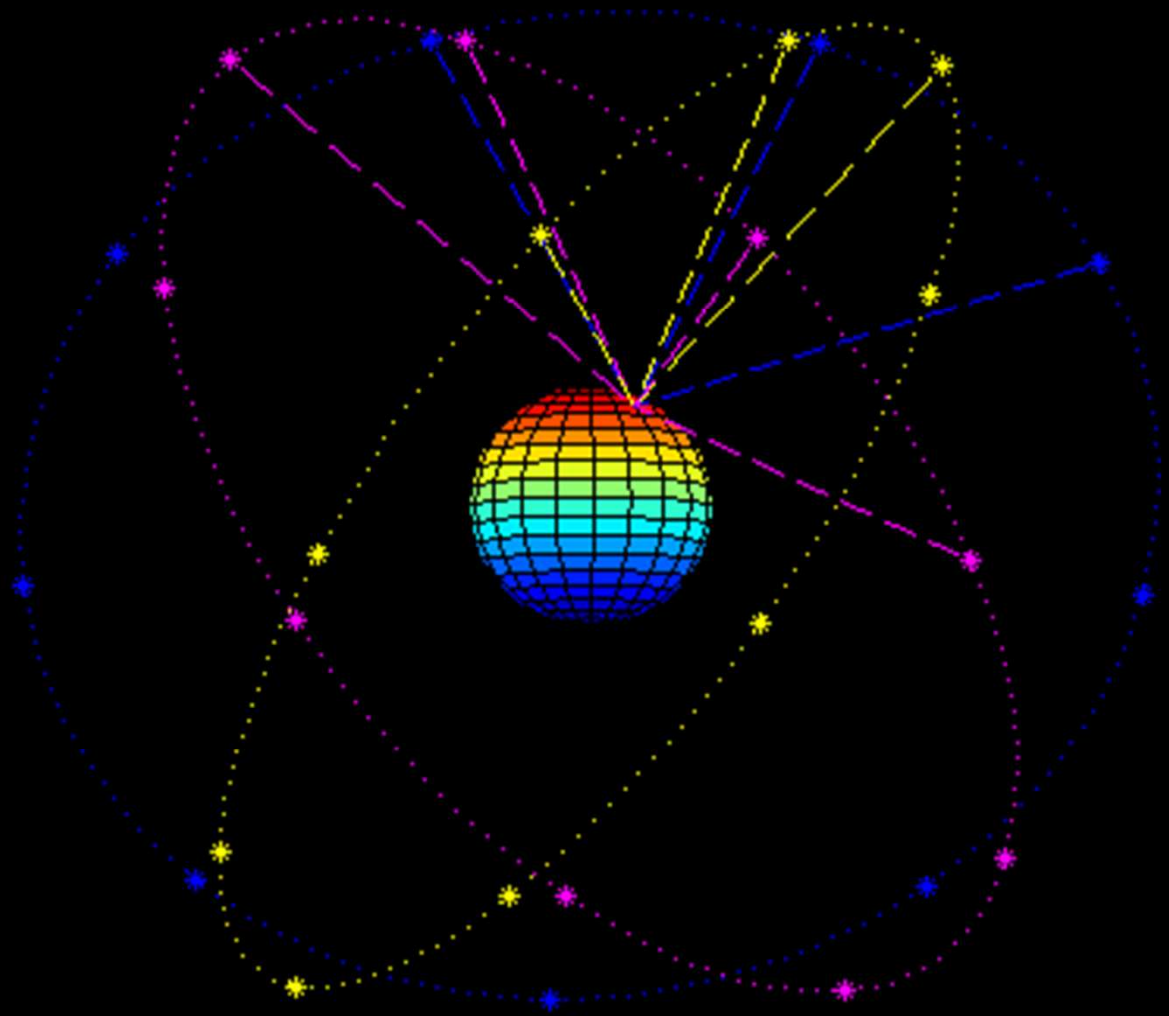
GALILEO

- ◆ provozovatel Evropská vesmírná agentura
- ◆ původní plány z r. 1999
- ◆ 2004 založeno administrativní centrum *Galileo Supervising Authority* v Bruselu
- ◆ 2005 družice Giove-A
- ◆ 2008 družice Giove-B
- ◆ 2010 rozhodnuto o přesunu GSA do Prahy
- ◆ 2011 další dva nové satelity

Kosmický segment GALILEO

- ◆ počet plánovaných družic: 30
- ◆ výška oběžné dráhy: 23 200 km nad zemským povrchem
- ◆ počet oběžných drah: 3
- ◆ sklon dráhy: 56°
- ◆ doba oběhu: cca 14 hod
- ◆ 10 různých signálů na blízkých frekvencích L1, L2





Empfangene Satelliten :10

Kosmický segment GALILEO

Blok	Období	Vypuštěno	Aktivní
EGNOS	1996-2001	4 ⁵	3 ⁵
GIOVE	2003-2005	2 ⁴	-
IOV	2011-2012	2+2 ²	0
IOC	2014-2015	14 ³	0
FOC	2016-2017	12 ³	0
Celkem		2 + 2² + 26³	0 + 3⁵

¹ ztracena při startu nebo selhalo oživení

² v přípravě

³ plán

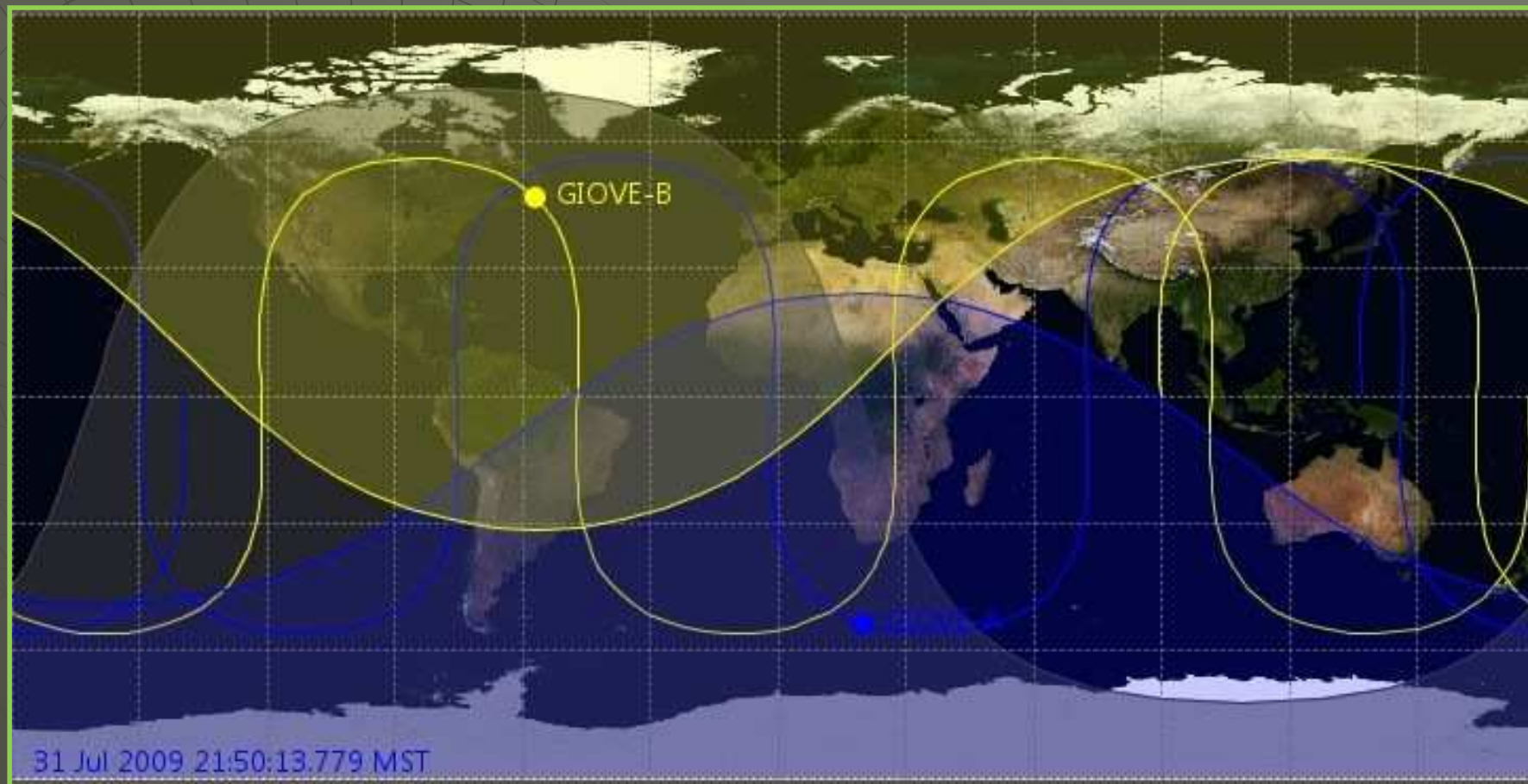
⁴ vývojové/testovací

⁵ geostacionární

(Poslední změna: 22. října 2011)



Dráha GALILEO



Služby GALILEO

- ◆ **Open Service (OS)** – veřejně přístupná služba, navigační přesnost 4 m v poloze a 8 m ve výšce
- ◆ **Commercial Service (CS)** – zpoplatněná služba, základem pro obchodní a komerční aplikace, navigační polohová přesnost 10 cm až 1 metr
- ◆ **Safety of Life Service (SOL)** – služba záchrany života, pro kritické situace v letecké a lodní dopravě
- ◆ **Search and Rescue (SAR)** – vyhledávací a záchranná služba, oboustranná komunikace, umožňuje určit přesnou polohu místa, odkud je vyslán signál se žádostí o pomoc
- ◆ **Public Regulated Service (PRS)** – uzavřená služba, odolnost proti rušení, pro civilní a národně/mezinárodní bezpečnost

Shrnutí GNSS

GNSS	GPS	GLONASS	GALILEO
začátek vývoje	1973	1972	2001
start první družice	1978	1982	2005
celkový počet družic	21 + 3 náhr.	21 + 3 náhr	27 + 3 náhr
dráhové roviny	6	3	3
sklon k rovníku	55°	65°	56°
výška nad Zemí	20 180 km	19 100 km	23 222 km
oběžná doba	11 h 58 min	11 h 15 min	~ 14 h
souřadnicový systém	WGS 84	SGS 85	GTRF
časový systém	GPST	GLONASS T	GST
charakteristika signálu	kódová identifikace	frekvenční identifikace	kódová identifikace
frekvence	L1 , L2 , (L5)	L1 , L2 , (L5)	E5a , E5b , E6 , E2-L1-E1
umělá ovlivňování signálu	SA do 1.5.2000 AS	žádné	PRS

Další plánované GNSS

- ◆ Compass (Beidou) – Čína
- ◆ IRNSS – Indie
- ◆ QZSS - Japonsko





Děkuji za pozornost