

Nawigacyjne Systemy Satelitarne

architektura

dr inż. Stefan Jankowski
s.jankowski@am.szczecin.pl

Nawigacyjne systemy satelitarne

- Systemy regionalne
 - QZSS / JRNSS
 - NavIC / IRNSS
- Systemy globalne
 - GPS
 - GLONASS
 - BEIDOU
 - GALILEO
- Systemy wspomagające (augmentation)
 - EGNOS
 - WAAS
 - MSAS
 - GAGAN

Systemy wspomagające / Augmentation systems

- Systemy wspomagające (GNSS augmentation) to metoda poprawy właściwości systemu nawigacyjnego, takich jak dokładność, niezawodność i dostępność, poprzez integrację zewnętrznych informacji w procesie obliczeniowym, na przykład:
 - Satellite Based Augmentation System - SBAS
 - the Wide Area Augmentation System,
 - the European Geostationary Navigation Overlay Service,
 - the Multi-functional Satellite Augmentation System,
 - GPS Aided GEO Augmented Navigation (GAGAN)
 - Differential GPS - DGPS
 - inertial navigation systems – nawigacja inercyjna

GNSS - Architektura

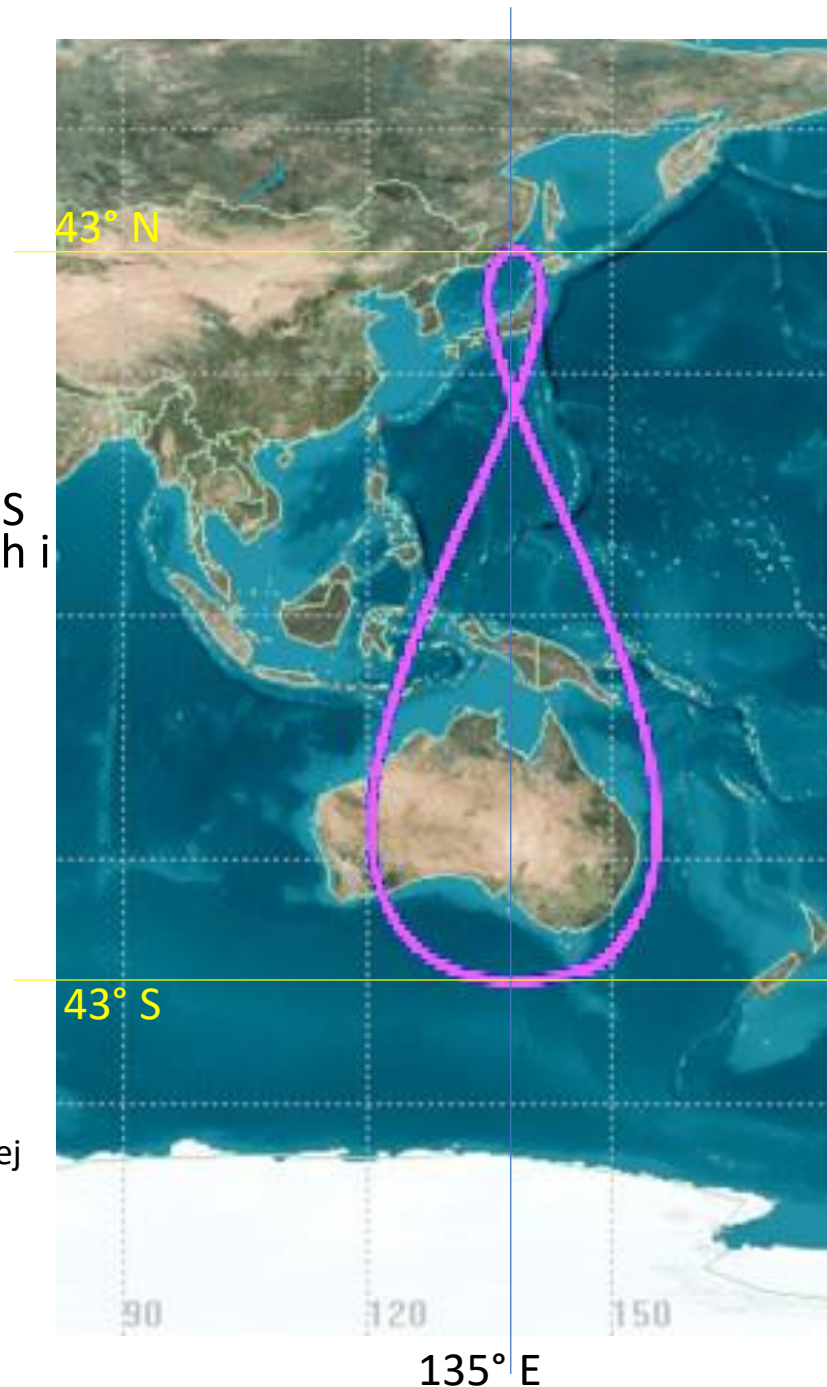
Każdy nawigacyjny system satelitarny składa się z trzech podstawowych komponentów (segmentów):

- Segment kosmiczny – konstelacja sztucznych satelitów Ziemi transmitujących sygnały radiowe
- Segment naziemny – obiekty oraz infrastruktura zlokalizowana na powierzchni Ziemi, odpowiedzialna za monitorowanie oraz sterowanie (kontrolę) segmentu kosmicznego (satelitów): pozycji na orbitach oraz poprawności sygnałów radiowych nadawanych przez te satelity
- Segment użytkownika – każdy odbiornik mogący wykorzystać sygnał transmitowany przez satelity nawigacyjnego systemu satelitarnego

QZSS - konstelacja

Quasi-Zenith Satellite System

- Regionalny system satelitalny
- Poprawia zasięg / dostępność sygnałów GPS w Japonii, zwłaszcza w obszarach górzystych i zurbanizowanych
- Pierwszego demonstracyjnego satelitę wystrzelono we wrześniu 2010
- Pełna konstelacja
 - 3 satelity GEO
 - Środkowa długość geogr. 123° E
 - 4 satelity GSO (HEO Highly Elliptical Orbit)
 - inklinacja (i) $43^{\circ} \pm 4^{\circ}$
 - Półoś wielka (a) 42.3 tys. km
 - ekscentryczność (e) 0.075 ± 0.015 – wysokości: perygeum 32 tys. km, apogeum 40 tys. km
 - Środkowa długość geogr. 135° E $\pm 5^{\circ}$
 - 13h na północnej półkuli oraz 11h na południowej



QZSS - konstelacja

PRN	SVN	Satellite	Launch Date (UTC)	Orbit (*1)	Positioning Signals	Clock(*2)
193	J001	QZS-1	2010/9/11	QZO	L1C/A, L1C, L2C, L5	RB
183					L1S	
193					L6	
194	J002	QZS-2	2017/6/1	QZO	L1C/A, L1C, L2C, L5	RB
184					L1S	
196					L5S	
194					L6	
199	J003	QZS-3	2017/8/19	GEO	L1C/A, L1C, L2C, L5	RB
189					L1S	
197					L5S	
187					L1Sb	
199					L6	
-					Sr/Sf	
195	J004	QZS-4	2017/10/9	QZO	L1C/A, L1C, L2C, L5	RB
185					L1S	
200					L5S	
195					L6	

QZSS – segment naziemny

- Segment naziemny składa się z:
 - a master control station (MCS) – stacji głównej,
 - tracking control stations (TT&C) – stacji śledząco-sterujących,
 - laser ranging stations and monitoring stations – stacji monitorujących i mierzących laserowo odległość.
- Sieć stacji monitorujących pokrywa swoim zasięgiem Wschodnią Azję i Oceanie za pomocą stacji:
 - w Japonii: (Okinawa, Sarobetsu, Koganei, Ogasawara) oraz
 - Poza Japonią: Bangalore (India), Guam, Canberra (Australia), Bangkok (Thailand) i Hawaii (USA).
- Stacja główna jest odpowiedzialna za tworzenie wiadomości nawigacyjnych, które następnie są przesyłane na satelity QZSS poprzez stację TT&C znajdującą się w Okinawie.

QZSS – sygnały radiowe

System QZSS transmituje 6 sygnałów:

- L1-C/A (1575.42 MHz):
Używany w połączeniu z GNSS; zwiększa dostępność serwisów pozycjonowania i pomiaru czasu (PNT services)
- L1C (1575.42 MHz):
Używany w połączeniu z GNSS; zwiększa dostępność serwisów pozycjonowania i pomiaru czasu (PNT services)
- L2C (1227.6 MHz):
Używany w połączeniu z GNSS; zwiększa dostępność serwisów pozycjonowania i pomiaru czasu (PNT services)
- L5 (1176.45 MHz):
Używany w połączeniu z GNSS; zwiększa dostępność serwisów pozycjonowania i pomiaru czasu (PNT services)
- L1-SAIF (1575.42 MHz): zwiększa dokładność do 1 m; interoperacyjna z GPS-SBAS
Submeter-class Augmentation; interoperable with GPS-SBAS.
- LEX (1278.75 MHz):
eksperymentalny sygnał QZSS zapewniający usługę pozycjonowania z dużą dokładnością (do 3 cm); Kompatybilny z sygnałem E6 systemu Galileo

QZSS - usługi

Przy pełnej operacyjności QZSS będzie zapewniał następujące usługi:

- Pozycjonowanie:
 - Satellite Positioning Service: zapewniająca tą samą dokładność co satelity systemu GPS (pomimo obszarów zurbanizowanych i górzystych)
 - Sub-Meter Level Augmentation Service: z dokładnością około 2-3 metrów
 - Centimeter Level Augmentation Service: z bardzo wysoką dokładnością około 10 centymetrów (usługa płatna)
 - Position Technology Verification Services: zapewniającą demonstrację aplikacji dla nowych technologii pozycjonowania
- Powiadamianie:
 - Short Message Delivery Service: zapewniającą powiadamianie użytkowników w sytuacjach kryzysowych (katastrofy) oraz ratowania

NAVIC - Navigation with Indian Constellation

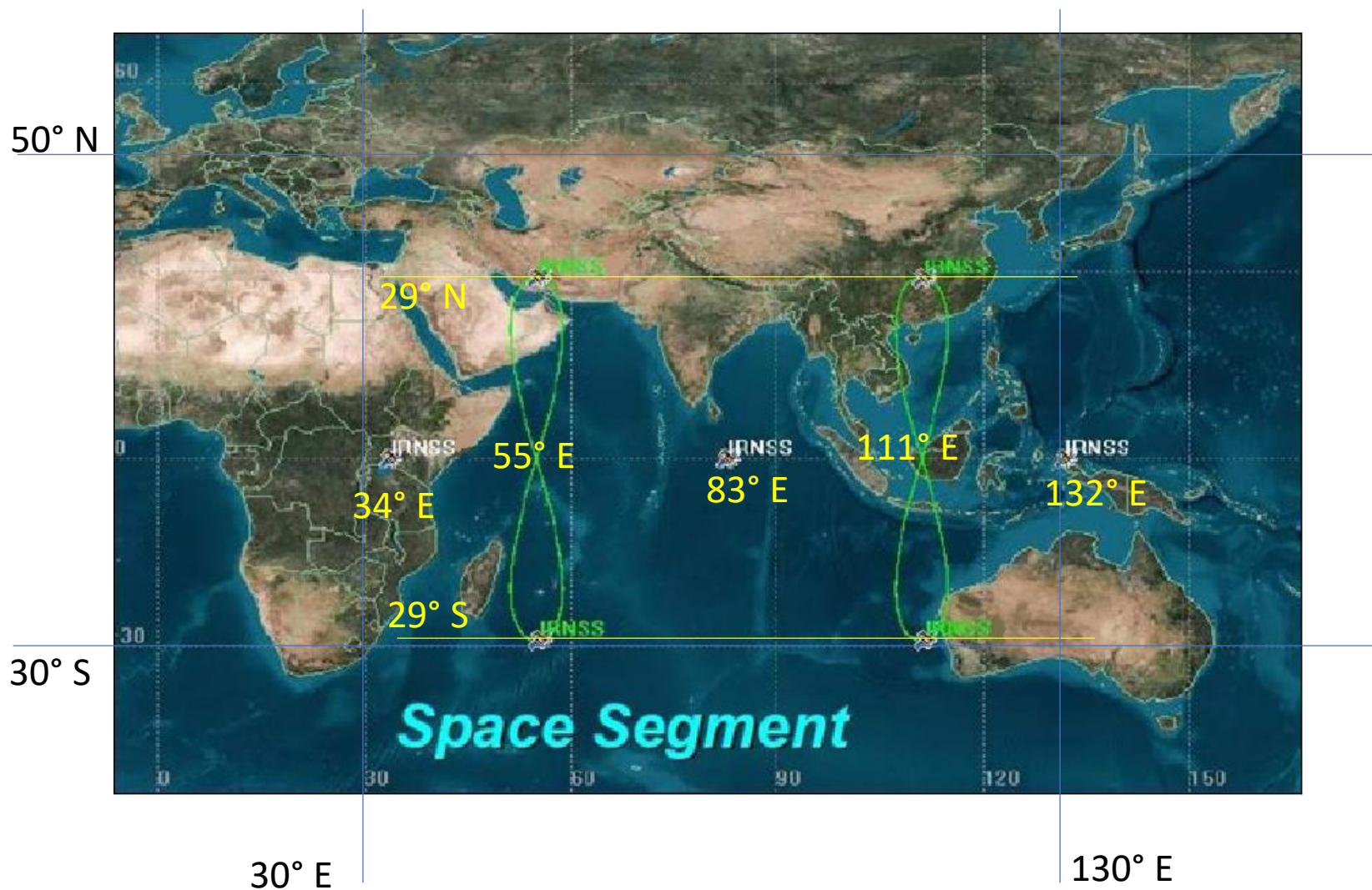
Indyjski nawigacyjny system satelitarny NavIC

- Jest autonomicznym regionalnym satelitarnym systemem nawigacyjnym zapewniającym dokładne pozycjonowanie w czasie rzeczywistym oraz pomiar czasu
- Pokrywa swoim zasięgiem obszar Indii z pasem 1500 km wokół jej granic; planowane jest zwiększenie zasięgu (Latitude 30° S to 50° N, Longitude 30° E to 130° E)
- Obecnie system składa się z konstelacji 7 satelitów z dodatkowymi dwoma na powierzchni gotowymi do wystrzelenia:
 - 3 GEO satelity na długości geogr.: 34 °E, 83 °E, 132 °E
 - 4 GSO satelity o inklinacji 29° i długościach geogr.: 55 °E, 111 °E

NavIC – konstelacja

IRNSS spacecraft	Longitude (E)	Inclination	RAAN	Launch Date
1A	55.0°	29° (± 2)	135°	July 1, 2013
1B	55.0°	29° (± 2)	310°	April 4, 2014
1C	83.0°		274°	October 15, 2014
1D	111.75°	29° (± 2)	135°	March 27, 2015
1E	111.75°	29° (± 2)	310°	January 20, 2016
1F	32.5°	$\pm 5^\circ$	270°	March 10, 2016
1G	129.5°	$\pm 5^\circ$	270°	April 28, 2016
1H				Aug. 31 2017 (launch failure)
1I	55.0°	29°		April 11, 2018

NavIC - konstelacija

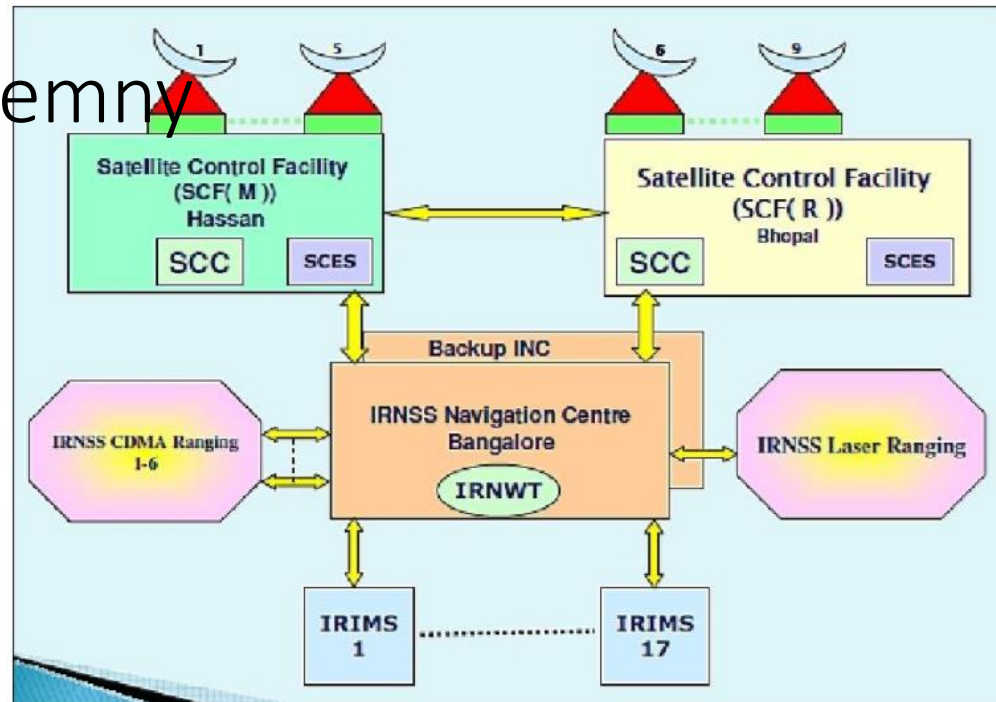


NavIC – segment naziemny

IRNSS elementy składowe:

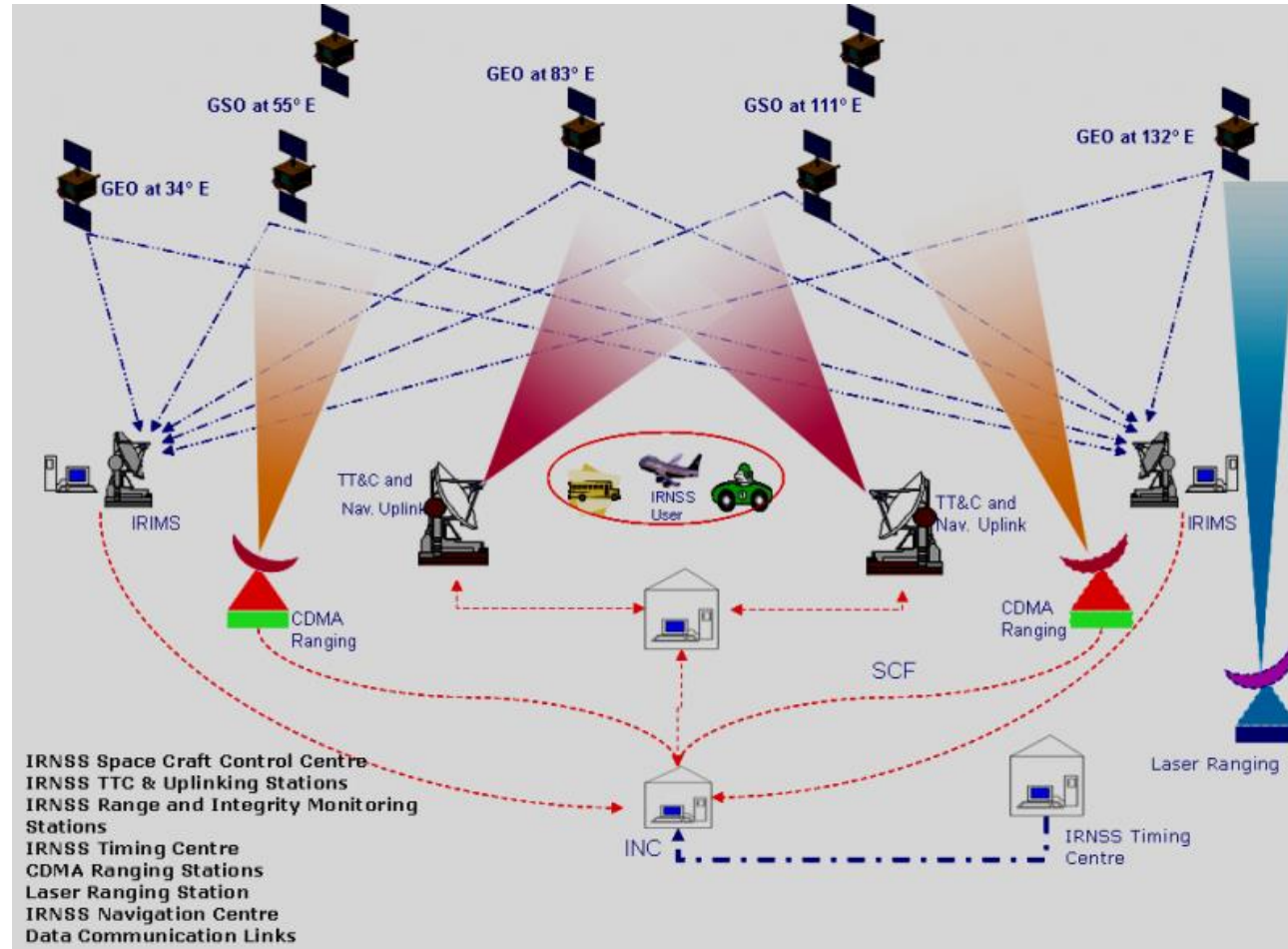
- IRSCF (IRNSS Satellite Control Facility)
IRSCF kontroluje segment kosmiczny poprzez sieć śledzącą telemetrycznie i dowodzącą (*Telemetry Tracking & Command network*). Poza regularnymi działaniami TT&C, IRSCF również przesyła na satelity parametry nawigacyjne wypracowane przez INC
- IRTTC (IRNSS TTC and Land Uplink Stations)
- IRSCC (IRNSS Satellite Control Center)
- IRIMS (IRNSS Range and Integrity Monitoring Stations)
IRIMS wykonuje ciągły jednostronny pomiar odległości do satelitów oraz określa wiarygodność (integrity) konstelacji satelitów
- INC (ISRO Navigation Center), zlokalizowany w Białalu. INC jest ośrodkiem centralnym przede wszystkim tworzy parametry nawigacyjne dla satelitów
- IRDCN (IRNSS Data Communication Network). IRDCN zapewnia wymaganą podstawę dla komunikacji cyfrowej w sieci IRNSS

NavIC – segment naziemny



- Siedemnaście stacji IRIMS będzie rozlokowanych na terenie całego kraju w celu określania parametrów orbit oraz modelowania jonosfery
- Cztery stacje do pomiaru odległości, oddzielone szerokimi i długimi liniami bazowymi będą zapewniać dwustronny pomiar odległości za pomocą CDMA (Code Division Multiple Access)
- The IRNSS timing center będzie składać się z bardzo stabilnych zegarów. Centrum nawigacyjne odbiera wszystkie dane poprzez sieć komunikacyjną, przetwarza i transmituje informacje do satelitów

NAVIC - architektura



ISRO Navigation Centre

IRNSS Spacecraft Control Facility

IRNSS Range and Integrity Monitoring Stations

IRNSS Network Timing Centre

IRNSS CDMA Ranging Stations

Laser Ranging Stations

Data Communication Network

NavIC – sygnały radiowe

Oczekuje się, że konstelacja IRNSS zapewni pozycję z dokładnością lepszą niż 20 m (2σ), na obszarze Indii oraz wokół jej granic w odległości 1500 km

System zapewni dwie usługi:

- Standardowy serwis pozycyjny
SPS (Standard Positioning Service)
- Ograniczony serwis pozycyjny
RS (Restricted/Authorized Service)

Obie usługi będą dostarczane na dwóch częstotliwościach:

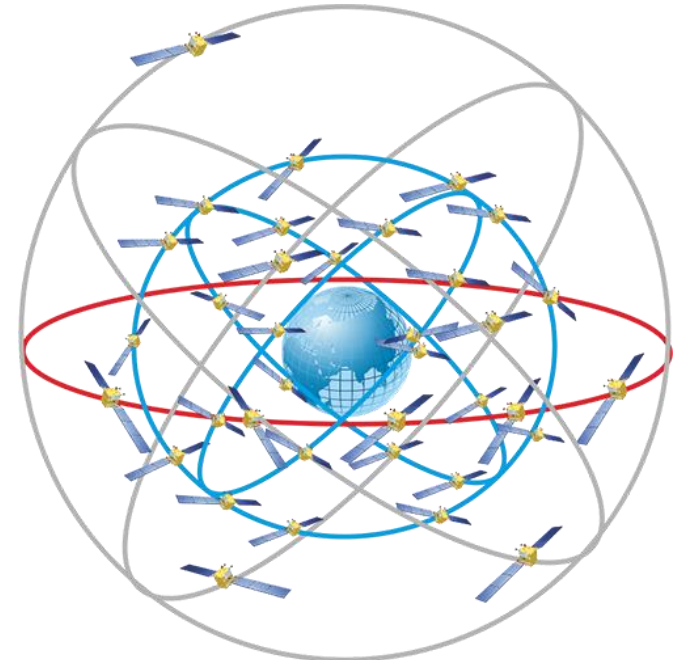
- W paśmie L5 oraz
- W paśmie S



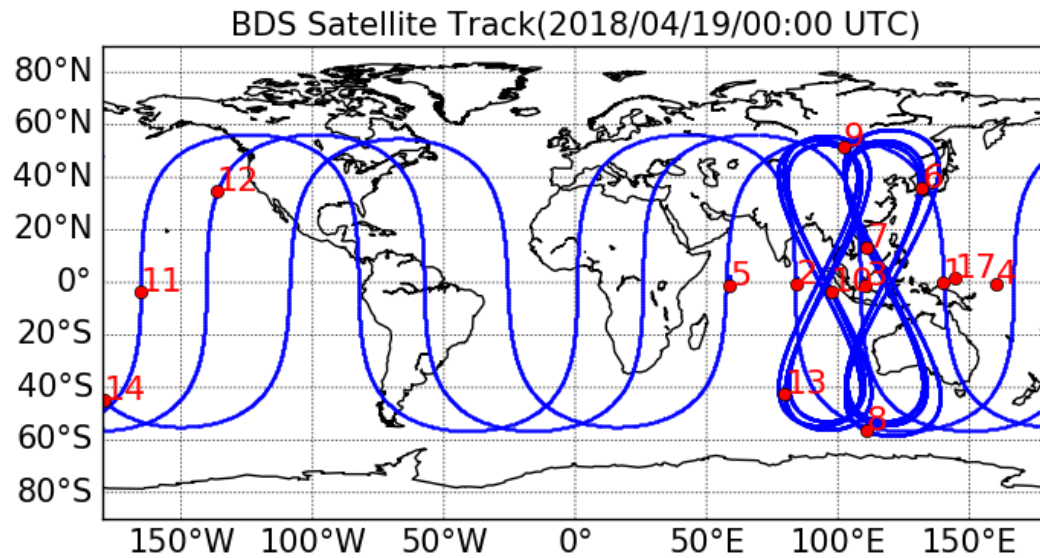
BEIDOU

Chiński globalny nawigacyjny system satelitarny

- System będzie się składał z konstelacji 35 satelitów:
 - 5 GEO satelity na długościach geogr.: 58.75° E, 80° E, 110.5° E, 140° E oraz 160° E
 - 3 GSO satelity o inklinacji 55° i długościach geogr.: 118 °E
 - 27 satelitów MEO
 - wysokość 21500 km
 - inklinacja 55 °
 - Okres obiegu $T = 7/13$ (12 h 53 min 24 s)



BeiDou - zasięg

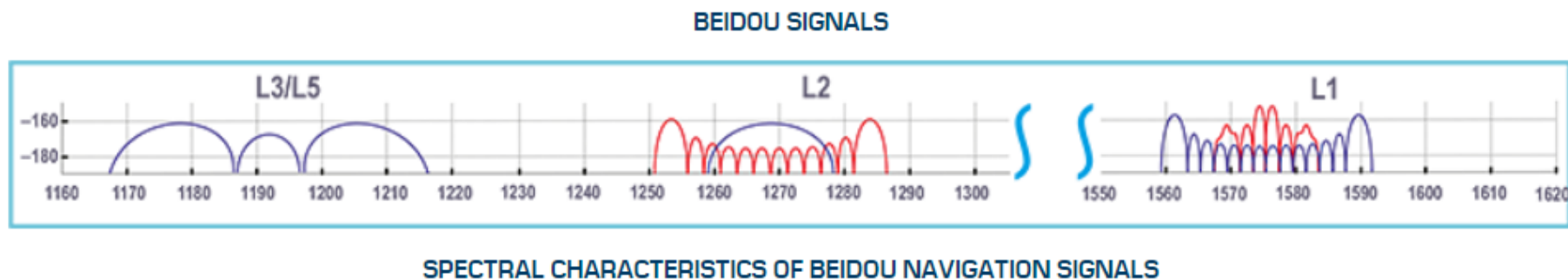


Segment naziemny

- ***The BeiDou Ground Control Segment*** został zaprojektowany zgodnie z klasycznym zcentralizowanym schematem zawierającym sieć jednokierunkowych stacji pomiarowych (***network of one-way measuring stations***)
 - Sieć tych stacji została rozmieszczona w całych Chinach
 - W sposób ciągły monitorują sygnały nawigacyjne transmitowane ze wszystkich satelitów
 - Wszystkie obserwacje są przez nie transmitowane do ośrodka centralnego (***the system control center***) gdzie zostają opracowywane
- Ośrodek centralny wypracowuje precyzyjne dane dotyczące orbit oraz zegarów dla każdego satelity, które następnie poprzez stację z antenami nadawczymi są przesyłane na satelity

Beidou – sygnały radiowe

- BeiDou transmituje sygnały nawigacyjne na trzech częstotliwościach: B1, B2, and B3, które znajdują się podobnie jak pozostałych systemów GNSS w paśmie L
- W celu umożliwienia interoperacyjności z systemami Galileo i GPS Chiny ogłosiły przeniesienie cywilnego sygnału B1 z 1561.098 MHz do częstotliwości środkowej 1575.42 MHz — takiej samej jak sygnały cywilne GPS L1 oraz Galileo E1— oraz zmiany modulacji z kwadraturowej modulacji fazy (a quadrature phase shift keying - QPSK) na binarną modulację fazy (a multiplexed binary offset carrier - MBOC) podobnie jak przyszłe sygnały GPS L1C oraz Galileo E1.



GALILEO

- Galileo jest europejskim programem dla globalnego satelitarnego systemu nawigacyjnego, zapewniającego globalną usługę pozycjonowania o wysokiej dokładności, jak również interoperacyjność z systemami US GPS oraz Rosyjskim Glonass
- Nowoczesna i wydajna konstrukcja Galileo zwiększy europejską niezależność technologiczną oraz pomoże w ustanowianiu międzynarodowych standardów dla globalnych nawigacyjnych systemów satelitarnych (Global Navigation Satellite Systems - GNSS).
- Galileo jest rozwijany we współpracy Unii Europejskiej oraz Europejską Agencją Kosmiczną (the European Space Agency - ESA)
- Pierwszy “cywilny” GNSS

GALILEO – satellites constellation

- Pełna konstelacja Galileo będzie się składała z 24 (30) aktywnych satelitów oraz zapasowych
- Satelity zostaną rozmieszczone:
 - Na trzech płaszczyznach orbitalnych
 - Pod kątem 56° do równika (inklinacja),
 - Na wysokości 23 222 km,
 - Pełny okres obiegu satelity wokół Ziemi wynosi około 14 godzin; $T = 10/17$ doby gwiazdowej
- GALILEO zapewni globalne pokrycie swoim zasięgiem włącznie z rejonami polarnymi
- Niezależnie od miejsca na Ziemi co najmniej 4 satelity będą widoczne

GALILEO

- konstelacija

In operation

Outage

In commissioning

Mainenance

In testing

Spares

Time problem

PRN	SVN	Satellite	Launch Date (UTC)	Orbit (*1)	Positioning Signals	Clock(*2)
E11	E101	IOV-1,Galileo PFM	2011/10/21	MEO	E1, E5a, E5b, E6	PHM
E12	E102	IOV-2,Galileo FM2	2011/10/21	MEO	E1, E5a, E5b, E6	RAFS
E19	E103	IOV-3,Galileo FM3	2012/10/12	MEO	E1, E5a, E5b, E6	PHM
E20	E104	IOV-4,Galileo FM4	2012/10/12	MEO	E1, E5a, E5b, E6	RAFS
E18	E201	FOC-1	2014/8/22	MEO	E1, E5a, E5b, E6	RAFS & PHM
E14	E202	FOC-2	2014/8/22	MEO	E1, E5a, E5b, E6	RAFS & PHM
E26	E203	FOC-3	2015/3/27	MEO	E1, E5a, E5b, E6	RAFS & PHM
E22	E204	FOC-4	2015/3/27	MEO	E1, E5a, E5b, E6	RAFS & PHM
E24	E205	FOC-5	2015/9/11	MEO	E1, E5a, E5b, E6	RAFS & PHM
E30	E206	FOC-6	2015/9/11	MEO	E1, E5a, E5b, E6	RAFS & PHM
E08	E208	FOC-8	2015/12/17	MEO	E1, E5a, E5b, E6	RAFS & PHM
E09	E209	FOC-9	2015/12/17	MEO	E1, E5a, E5b, E6	RAFS & PHM
E01	E210	FOC-10	2016/5/24	MEO	E1, E5a, E5b, E6	RAFS & PHM
E02	E211	FOC-11	2016/5/24	MEO	E1, E5a, E5b, E6	RAFS & PHM
E07	E207	FOC-7	2016/11/17	MEO	E1, E5a, E5b, E6	RAFS & PHM
E03	E212	FOC-12	2016/11/17	MEO	E1, E5a, E5b, E6	RAFS & PHM
E04	E213	FOC-13	2016/11/17	MEO	E1, E5a, E5b, E6	RAFS & PHM
E05	E214	FOC-14	2016/11/17	MEO	E1, E5a, E5b, E6	RAFS & PHM
E21	E215	FOC-15	2017/12/12	MEO	E1, E5a, E5b, E6	RAFS & PHM
E25	E216	FOC-16	2017/12/12	MEO	E1, E5a, E5b, E6	RAFS & PHM
E27	E217	FOC-17	2017/12/12	MEO	E1, E5a, E5b, E6	RAFS & PHM
E31	E218	FOC-18	2017/12/12	MEO	E1, E5a, E5b, E6	RAFS & PHM

Segment naziemny

Segment naziemny Galileo jest jednym z najbardziej skomplikowanych przedsięwzięć podejmowanych przez Europę, który musi spełniać rygorystyczne poziomy wydajności, bezpieczeństwa i ochrony:

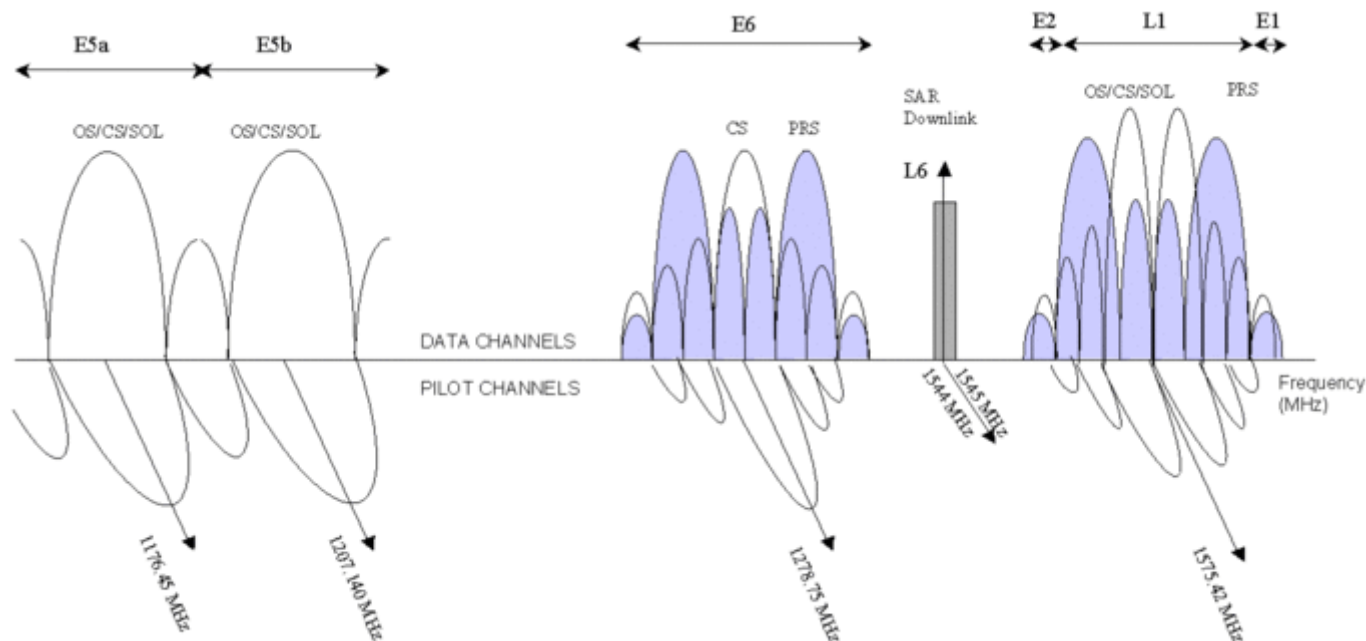
- Ground Mission Segment (GMS) - przetwarza dane z ogólnosiwiatowej sieci stacji monitorujących przez całą dobę, zapewniając wydajność nawigacyjną z dużą prędkością. GMS ma dwa miliony linii kodu oprogramowania, 500 funkcji wewnętrznych, 400 komunikatów i 600 sygnałów krążących w 14 różnych elementach.
- Ground Control Segment (GCS) – monitoruje i kontroluje konstelację satelitów w dużym stopniu zautomatyzowane

Obecnie GMS jest zlokalizowane w Fucino Control Centre we Włoszech, a GCS w Oberpfaffenhofen Control Centre w Niemczech.

W przyszłości będą dwa takie ośrodki o równoważnych możliwościach pracujących razem jako kopie zapasowe z synchronizacją danych w czasie rzeczywistym, druga w sposób płynny będzie mogła kontynuować działanie systemu w przypadku awarii pierwszej.

- Telemetry, Tracking and Command Stations – dwie w Kiruna in Sweden oraz Kourou in French Guiana.
- Uplink Stations – sieć stacji z możliwością przesyłania danych nawigacyjnych i związanych z integralnością na satelity
- Sensor Stations – globalna sieć zapewniająca synchronizację zegarów oraz pomiary orbit
- Data Dissemination Network - zapewnia łączenie wszystkich obiektów naziemnych Galileo.

Sygnały radiowe



Każdy satelita będzie nadawał 10 różnych sygnałów nawigacyjnych umożliwiających oferowanie przez system Galileo następujących usług: the open (OS), safety-of-life (SOL), commercial (CS) and public regulated services (PRS)

GLONASS

- Rosyjski: ГЛОНАСС Глобальная навигационная спутниковая система; transliteracja: Globalnaya navigatsionnaya sputnikovaya sistema), lub
- "Global Navigation Satellite System",
- Oparty na konstelacji sztucznych satelitów system oferujący usługi radionawigacyjne
- Zapewnia alternatywę dla systemu GPS jako drugi w pełni operacyjny o zasięgu globalnym system z porównywalną dokładnością

GLONASS -konstelacja

Składa się z:

- 24 satelitów na 3 płaszczyznach orbitalnych
- Inklinalcja orbit wynosi 66°
- Wysokość orbit 19100 km
- Okres obiegu wokół Ziemi 8/17 doby gwiazdowej

GLONASS

– konstelacja

GLONASS CONSTELLATION STATUS, 23.04.2018

Total satellites in constellation	25 SC
Operational	23 SC
In commissioning phase	-
In maintenance	1 SC
Under check by the Satellite Prime Contractor	-
Spares	-
In flight tests phase	1 SC

Orb. slot	Orb. pl.	RF chnl	# GC	Launched	Operation begins	Operation ends	Life-time (months)	Satellite health status		Comments
								In almanac	In ephemeris (UTC)	
1	1	01	730	14.12.09	30.01.10		100.3	+	+ 08:51 23.04.18	In operation
2	1	-4	747	26.04.13	04.07.13		59.9	+	+ 08:51 23.04.18	In operation
3	1	05	744	04.11.11	08.12.11		77.7	+	+ 08:51 23.04.18	In operation
4	1	06	742	02.10.11	25.10.11		78.7	+	+ 08:51 23.04.18	In operation
5	1	01	734	14.12.09	10.01.10	19.04.18	100.3	-	- 08:51 23.04.18	Maintenance
6	1	-4	733	14.12.09	24.01.10		100.3	+	+ 08:51 23.04.18	In operation
7	1	05	745	04.11.11	18.12.11		77.7	+	+ 08:51 23.04.18	In operation
8	1	06	743	04.11.11	20.09.12		77.7	+	+ 08:51 23.04.18	In operation
9	2	-2	702	01.12.14	15.02.16		40.7	+	+ 08:51 23.04.18	In operation
10	2	-7	717	25.12.06	03.04.07		136.0	+	+ 08:51 23.04.18	In operation
11	2	00	753	29.05.16	27.06.16		22.8	+	+ 08:51 23.04.18	In operation
12	2	-1	723	25.12.07	22.01.08		124.0	+	+ 08:51 23.04.18	In operation
13	2	-2	721	25.12.07	08.02.08		124.0	+	+ 08:51 23.04.18	In operation
14	2	-7	752	22.09.17	16.10.17		7.0	+	+ 08:51 23.04.18	In operation
15	2	00	716	25.12.06	12.10.07		136.0	+	+ 08:51 23.04.18	In operation
16	2	-1	736	02.09.10	04.10.10		91.7	+	+ 08:51 23.04.18	In operation
17	3	04	751	07.02.16	28.02.16		26.5	+	+ 08:51 23.04.18	In operation
18	3	-3	754	24.03.14	14.04.14		49.0	+	+ 08:51 23.04.18	In operation
19	3	03	720	26.10.07	25.11.07		126.0	+	+ 08:51 23.04.18	In operation
20	3	02	719	26.10.07	27.11.07		126.0	+	+ 08:51 23.04.18	In operation
21	3	04	755	14.06.14	03.08.14		46.3	+	+ 08:51 23.04.18	In operation
22	3	-3	731	02.03.10	28.03.10		97.8	+	+ 08:51 23.04.18	In operation
23	3	03	732	02.03.10	28.03.10		97.8	+	+ 08:51 23.04.18	In operation
24	3	02	735	02.03.10	28.03.10		97.8	+	+ 08:51 23.04.18	In operation
20	3	-5	701	26.02.11			85.9			Flight Tests

Segment naziemny

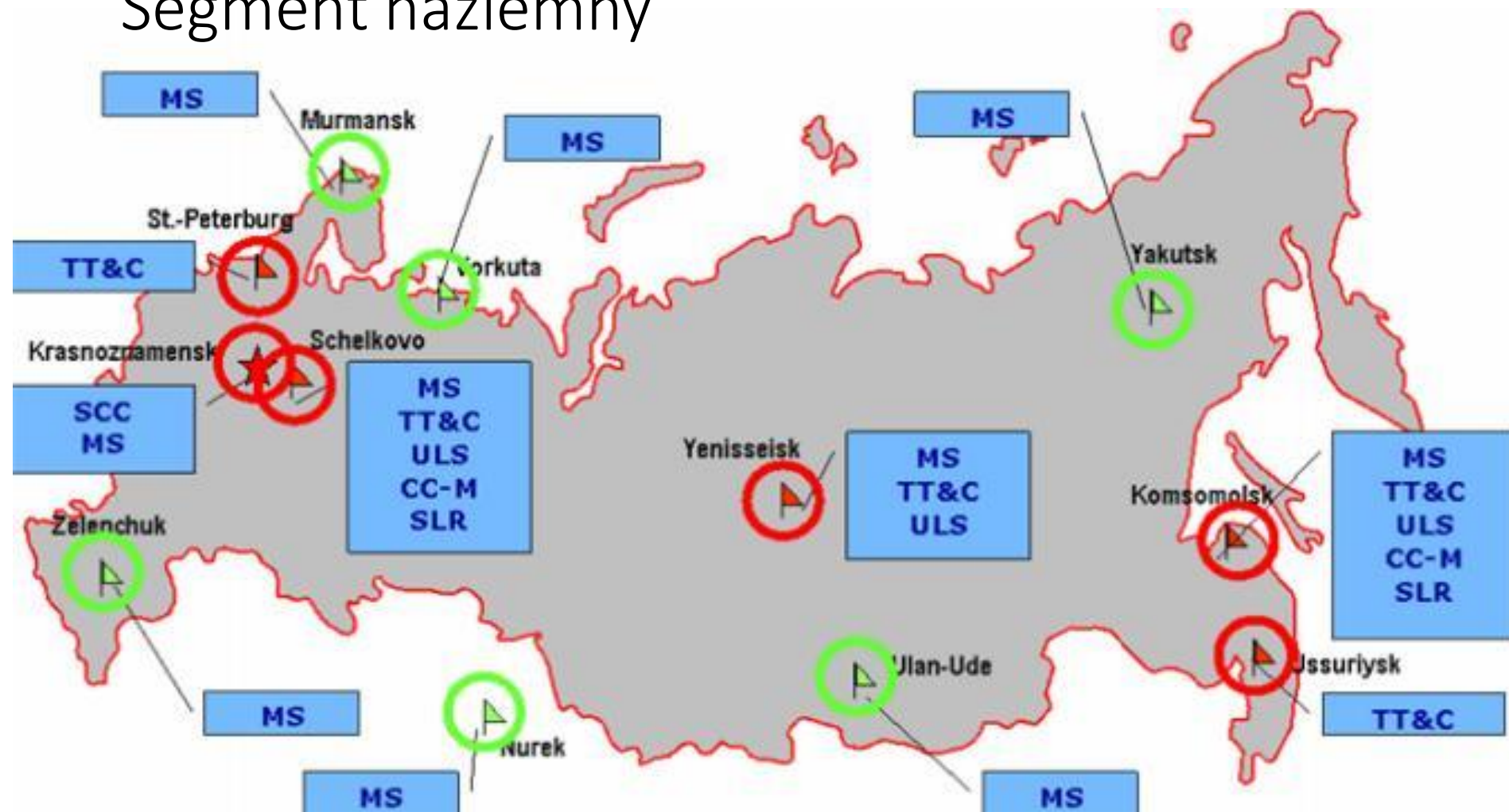
Segment naziemny prwie w całości rozmieszczony jest na terytorium byłego Związku Radzieckiego poza kilkoma stacjami w Brazylii

- Segment naziemny GLONASS składa się z:
 - centrum kontrolne systemu (system control center)
 - Pięciu stacji do pomiarów telemetrycznych śledzenia i sterowania (Telemetry, Tracking and Command centers)
 - Dwóch stacji laserowo mierzących odległości do satelitów (Laser Ranging Stations)
 - Dziesięciu stacji monitorująco-pomierzających (Monitoring and Measuring Stations)

Segment naziemny

	SCC	TT&C	CC-M	ULS	SLR	MS
Location	System control	Telemetry, Tracking and Command	Central clock	Upload stations	Laser Ranging	Monitoring and Measuring
Krasnoznamensk	x	-	-	-	-	x
Schelkovo	-	x	x	x	x	x
Komsomolsk	-	x	-	x	x	x
St-Peteburg	-	x	-	-	-	-
Ussuriysk	-	x	-	-	-	-
Yenisseisk	-	x	-	x	-	x
Yakutsk	-	-	-	-	-	x
Ulan-Ude	-	-	-	-	-	x
Nurek	-	-	-	-	-	x
Vorkuta	-	-	-	-	-	x
Murmansk	-	-	-	-	-	x
Zelenchuk	-	-	-	-	-	x

Segment naziemny



Sygnały radiowe

Roadmap of GLONASS modernization

Satellite series	Launch	Current status	Clock error	FDMA signals		CDMA signals			Interoperability CDMA signals		
				1602 + n×0.5625 MHz	1246 + n×0.4375 MHz	1600.995 MHz	1248.06 MHz	1202.025 MHz	1575.42 MHz	1207.14 MHz	1176.45 MHz
GLONASS	1982–2005	Out of service	5×10^{-13}	L1OF, L1SF	L2SF						
GLONASS-M	2003–2018	In service	1×10^{-13}	L1OF, L1SF	L2OF, L2SF			L3OC ‡			
GLONASS-K1	2011, 2014	In service	5×10^{-14} ... 1×10^{-13}	L1OF, L1SF	L2OF, L2SF			L3OC			
GLONASS-K2	2018–2024	Design phase	5×10^{-15} ... 5×10^{-14}	L1OF, L1SF	L2OF, L2SF	L1OC, L1SC	L2OC, L2SC	L3OC			
GLONASS-KM	2025–	Research phase		L1OF, L1SF	L2OF, L2SF	L1OC, L1SC	L2OC, L2SC	L3OC, L3SC	L1OCM	L3OCM	L5OCM

"O": open signal (standard precision), "S": obfuscated signal (high precision); "F":FDMA, "C":CDMA; n=-7,-6,-5,...,6

‡Glonass-M spacecraft produced since 2014 include L3OC signal

GPS

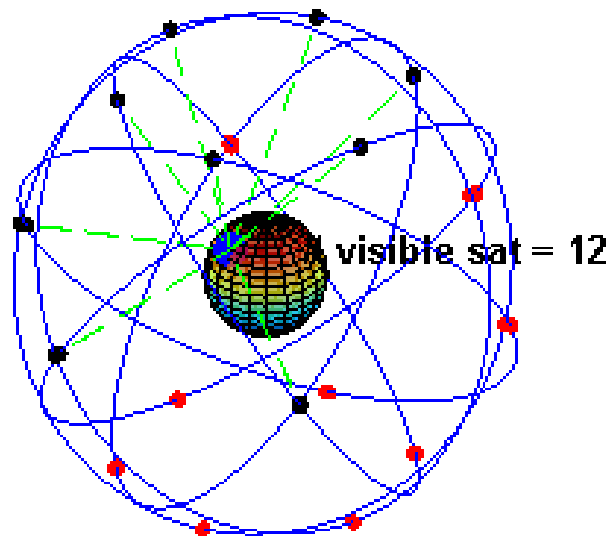
- Global Positioning System jest systemem należącym do U.S., który zapewnia usługi pozycjonowania i pomiaru czasu swoim użytkownikom
- Składa się z trzech segmentów: kosmicznego, kontrolnego (naziemnego) i użytkownika
- Siły powietrzne U.S. odpowiadają za rozwój, utrzymanie, działanie oraz zarządzają segmentem naziemnym i kosmicznym

GPS – konstelacja

- Satelity GPS umieszczone zostały na średnich orbitach Ziemi (MEO) na wysokości około 20,186 km
- Każdy satelita okrąża Ziemię dwukrotnie w ciągu doby gwiazdowej; okres obiegu wynosi $\frac{1}{2}$ doby gwiazdowej (11h 58m 2.05s)
- Satelity GPS zostały rozlokowane na sześciu stałych, równo oddalonych od siebie płaszczyznach orbitalnych wokół Ziemi
- Inklinacja orbit wynosi 55°
- Każda płaszczyzna orbitalna zawiera cztery „sloty”, w których umieszczono po jednym bazowym satelicie
- Taka konfiguracja 24 satelitów zapewnia, że w dowolnym miejscu na powierzchni Ziemi dostępnych jest co najmniej cztery satelity

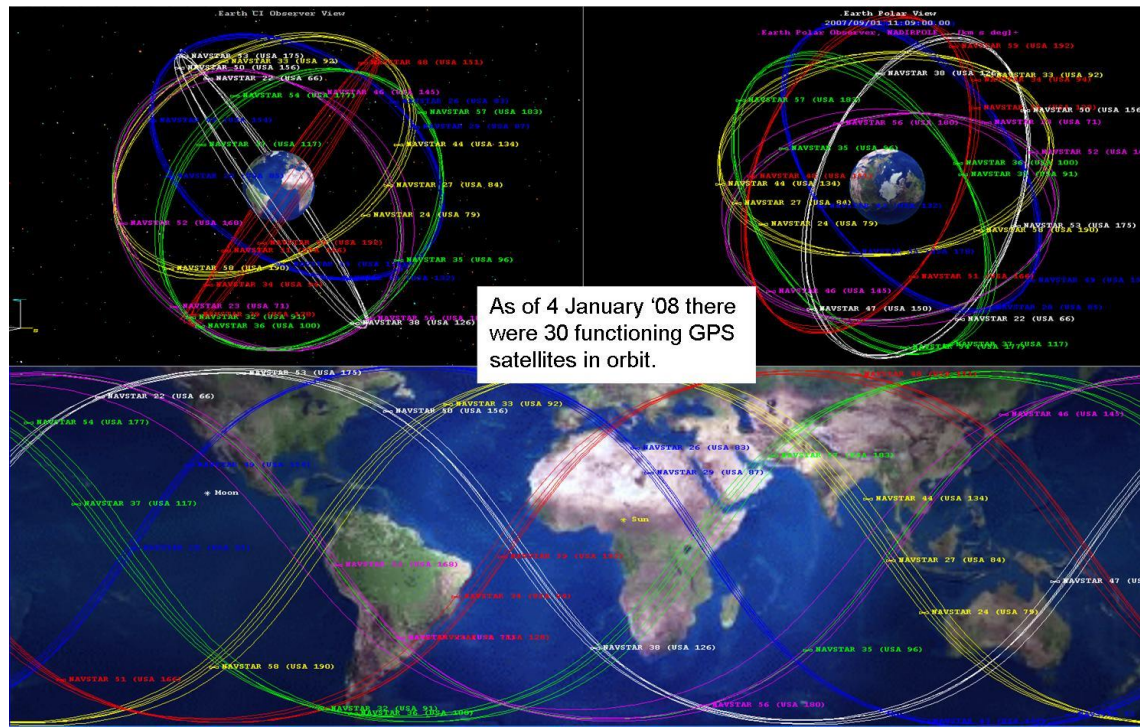
GPS – dostępność SV w konstelacji 24

- Co 23h 56m 4.09s powtórzenie się konstelacji satelitów nad tym samym punktem Ziemi
- Rozkład satelitów zapewnia widoczność od 4 do 10 satelitów o każdej porze doby, w prawie każdym miejscu na powierzchni Ziemi
- Liczba widocznych satelitów zależy od szerokości geograficznej użytkownika
- Prawdopodobieństwo dostępności co najmniej 5 satelitów wynosi 0,9996
- Niektóre obszary – nie dłużej niż 20 min/doba nie można wyznaczyć pozycji 3D (dostępne tylko 3 satelity)
- 7.5 roku – średni czas życia SV



GPS – konstelacja 24+

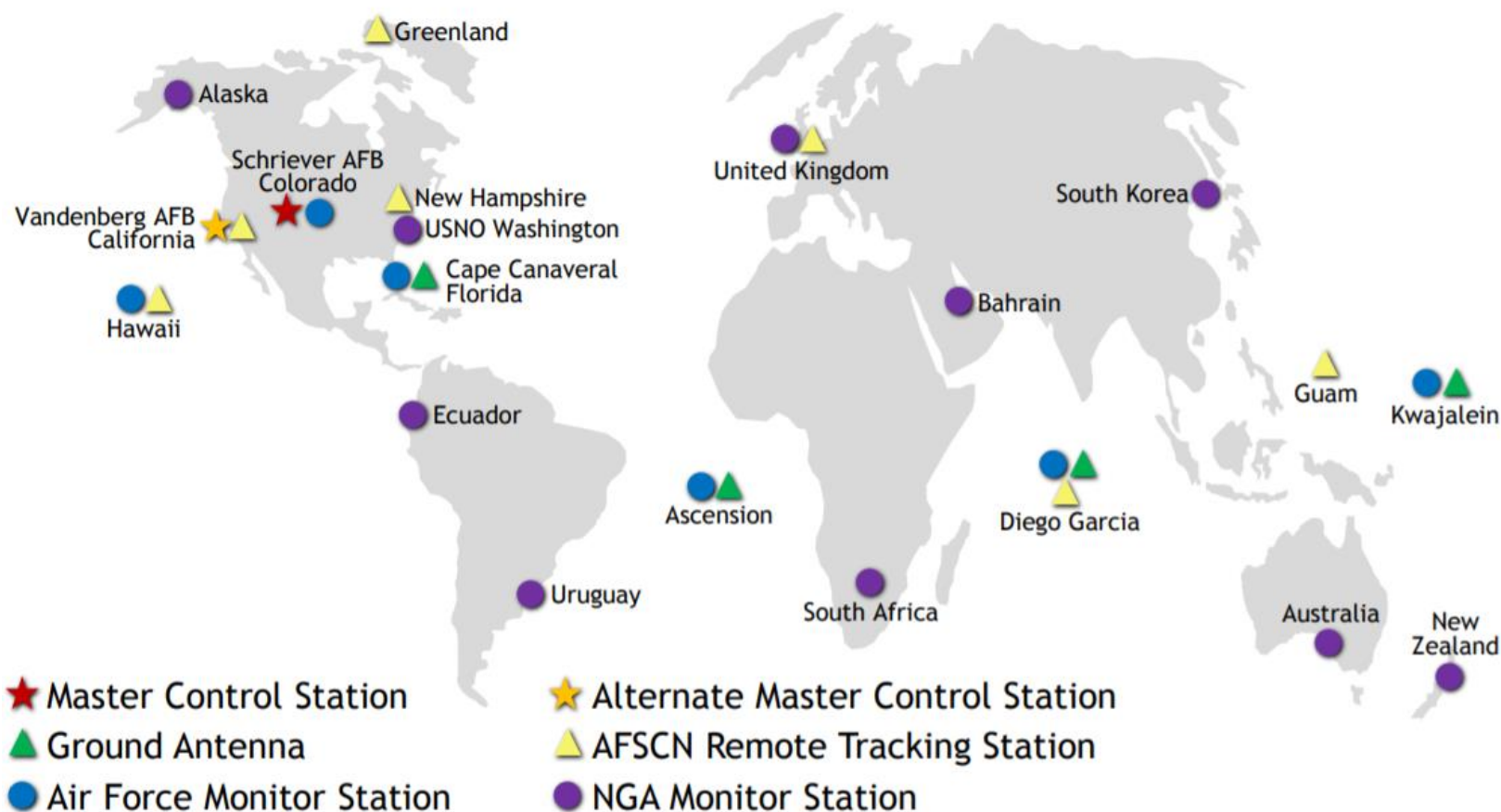
- Obecnie konstelacja satelitów GPS nazywana jest 24+ (expandable 24), co oznacza, że 24 satelity są wystarczające do zapewnienia wydajności systemu, ale zazwyczaj satelitów jest więcej – do 32
- Dodatkowe satelity zwiększają możliwości systemu ale nie są wliczane d konstelacja podstawowej



Segment kontrolny

- Segment naziemny GPS składa się z globalnej sieci naziemnych obiektów które śledzą położenie satelitów, monitorują ich transmisje, przeprowadzają analizę tych danych oraz przesyłają na satelity rozkazy oraz dane
- Obecny Operational Control Segment (OCS) zawiera stację główną (a master control station), alternatywną stację główną (an alternate master control station), 11 anten sterowania i przesyłania informacji na satelity oraz 16 stacji monitorujących

Segment kontrolny



Master Control Station

- Zarządza i steruje konstelacją sztucznych satelitów GPS
- Używa danych zebranych z globalnej sieci stacji monitorujących do obliczania dokładnych pozycji satelitów
- Tworzy depesze nawigacyjne oraz przesyła je na satelity
- Monitoruje transmisje satelitów oraz integralność systemu w celu zapewnienia prawidłowego statusu konstelacji (health) oraz dokładności
- Utrzymuje satelity w odpowiednim stanie reagując na wszelkie anomalie, repozycjonuje satelity w celu zachowania optymalnej konfiguracji satelitów
- Obecnie używa dwóch oddzielnych systemów (AEP & LADO) do kontroli działających (operacyjnych) i niedziałających (non-operationa) satelitów
- Wspierana przez w pełni sprawną alternatywną stację główną

Master Control Station - AEP

Architecture Evolution Plan

The Air Force currently commands and controls the operational GPS constellation through a system called AEP. The system is capable of managing all of today's GPS satellites.

- AEP odnosi się do Planu rozwoju architektury wdrożonego w 2007 roku. Zgodnie z tym planem, Air Force zastąpiło swoją oryginalną główną stację kontroli GPS (opartą na mainframe) nową, opartą na nowoczesnych technologiach IT.

Master Control Station - AEP

- W 2014, AEP został zaktualizowany do obsługi zmodernizowanych funkcji nawigacji cywilnej (CNAV), umożliwiając satelitom GPS Bloku IIR-M i IIF emisję przedoperacyjnych komunikatów nawigacyjnych na sygnałach L2C i L5
- W 2016, the AEP COTS zmodernizowano linie bazowe sprzętu i oprogramowania, zwiększając bezpieczeństwo cybernetyczne i ulepszono pomoc techniczną, aby wesprzeć operacje w latach 2020
- W 2019, AEP zostanie zaktualizowany do sterowania i kontroli satelitów GPS III za pomocą programu operacji awaryjnych GPS III (Contingency Operations - COps)
- W 2020, AEP zostanie uaktualniony, aby zapewnić podstawowe możliwości zmodernizowanego sygnału wojskowego GPS, znanego jako M-Code, dla użytkowników wojskowych GPS, w ramach programu M-Code Early Use (MCEU)

Master Control Station - LADO

the **L**aunch/early orbit, **A**nomaly resolution, and **D**isposal **O**perations system
System usuwania anomalii przy wystrzeliwaniu / początkowych orbitach, i operacji utylizacji w celu obsługi niedziałających satelitów GPS (bloku IIF / IIR / IIR-M, IIF). Operacje te obejmują:

- Nowo uruchomione satelity będące w trakcie wprowadzania;
- Satelity (okresowo) wycofane z eksploatacji w celu rozwiązania problemu anomalii;
- Pozostałe satelity przechowywane na orbicie; i
- Satelity wymagające (stałego) wycofania z eksploatacji.

Obsługuje trzy podstawowe funkcje:

- Pomiar telemetryczny, śledzenie i kontrolę;
- Planowanie i wykonywanie przemieszczania satelitów; oraz
- Symulacja różnych zadań telemetrycznych dla ładunków i podsystemów GPS

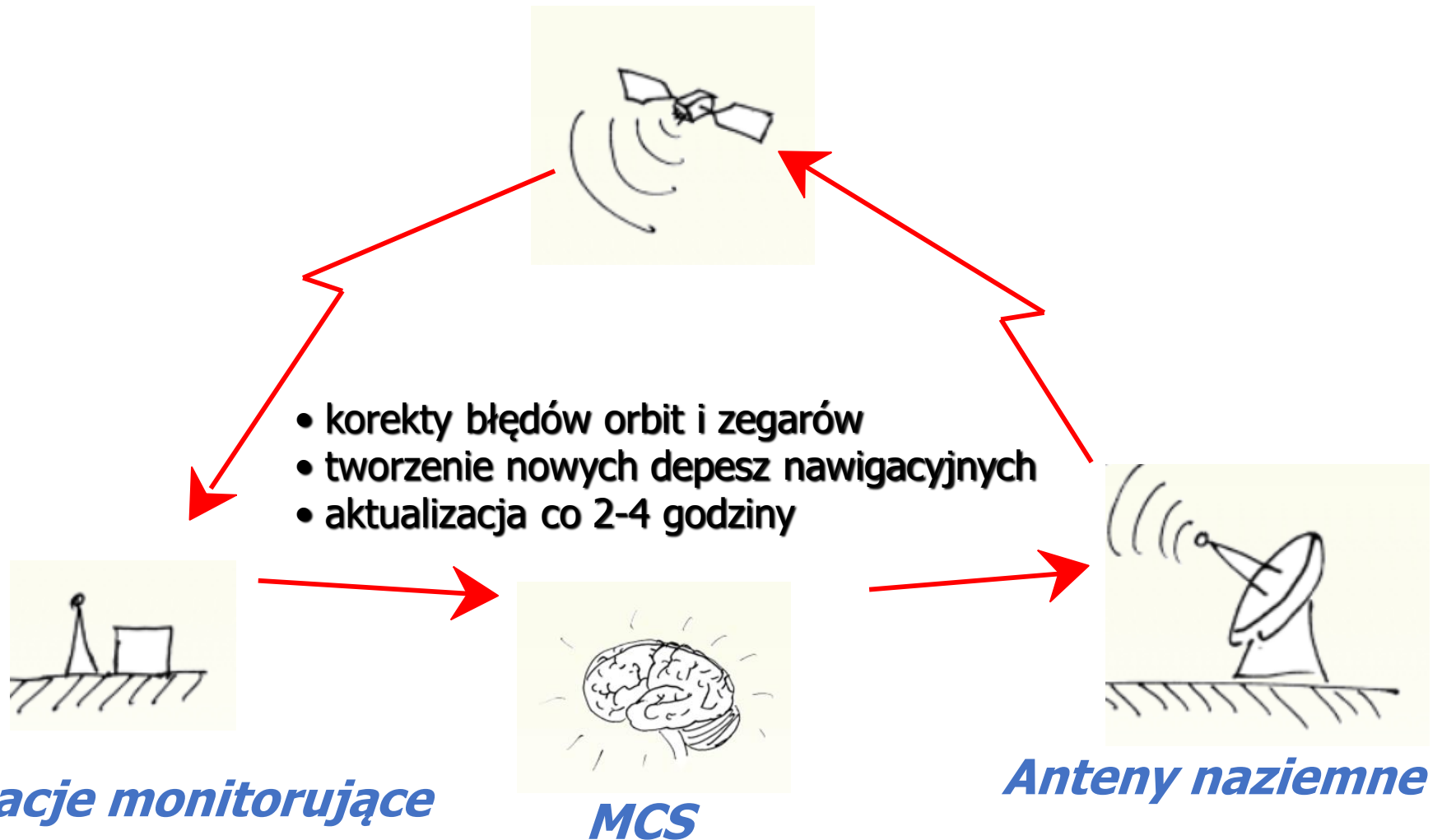
Stacje monitorujące

- Śledzą satelity GPS przelatujące nad nimi
- Zbierają dane z sygnałów nawigacyjnych jak również z pomiarów odległości, częstotliwości nośnej oraz atmosferycznych
- Przekazują te dane i obserwacje do stacji głównej
- Wykorzystują zaawansowane odbiorniki GPS
- Zapewniają globalne pokrycie dzięki 16 stacjom: 6 należącym do sił powietrznych USA oraz 10 NGA (National Geospatial-Intelligence Agency)
- Inicjatywa ulepszania dokładności, ukończona w 2008 r., zwiększyła liczbę stacji monitorujących w segmencie sterowania operacyjnego GPS z sześciu do 16.
- To potrojiło ilość danych zbieranych na temat orbit satelitów GPS, umożliwiając poprawę dokładności informacji transmitowanych przez satelity GPS o 10% do 15%

Anteny naziemne

- Przesyłają polecenia, dane nawigacyjne oraz oprogramowanie procesora na satelity
- Zbierają dane telemetryczne
- Komunikują się w paśmie S oraz wykonują pomiar odległości w paśmie S wspierając rozwiązywanie anomalii na początkowych (wczesnych) orbitach
- W skład wchodzi 4 dedykowane naziemne anteny GPS oraz 7 zdalnych stacji monitorowania należące do Air Force Satellite Control Network (AFSCN)

Segment naziemny



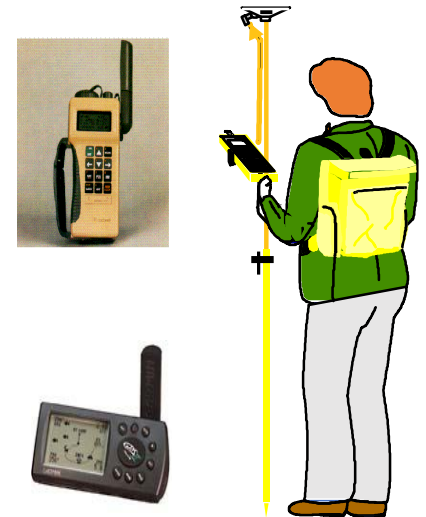
Instytucje wspomagające

- AFSCF – Air Force Satellite Control Facility
 - nadzoruje działanie satelitów należących do USA
- USNO - US Naval Observatory
 - Oblicza standardowy czas UTC
- DMA – Defence Mapping Agency
 - Oblicza dane dla określania orbit satelitów
- Jet Propulsion Laboratory
 - Obserwuje wpływ ciał niebieskich (głównie słońca i księżyca) na położenie satelitów

Segment użytkownika

Wszystkie odbiorniki wykorzystujące sygnały transmitowane przez satelity. Można je podzielić na następujące grupy:

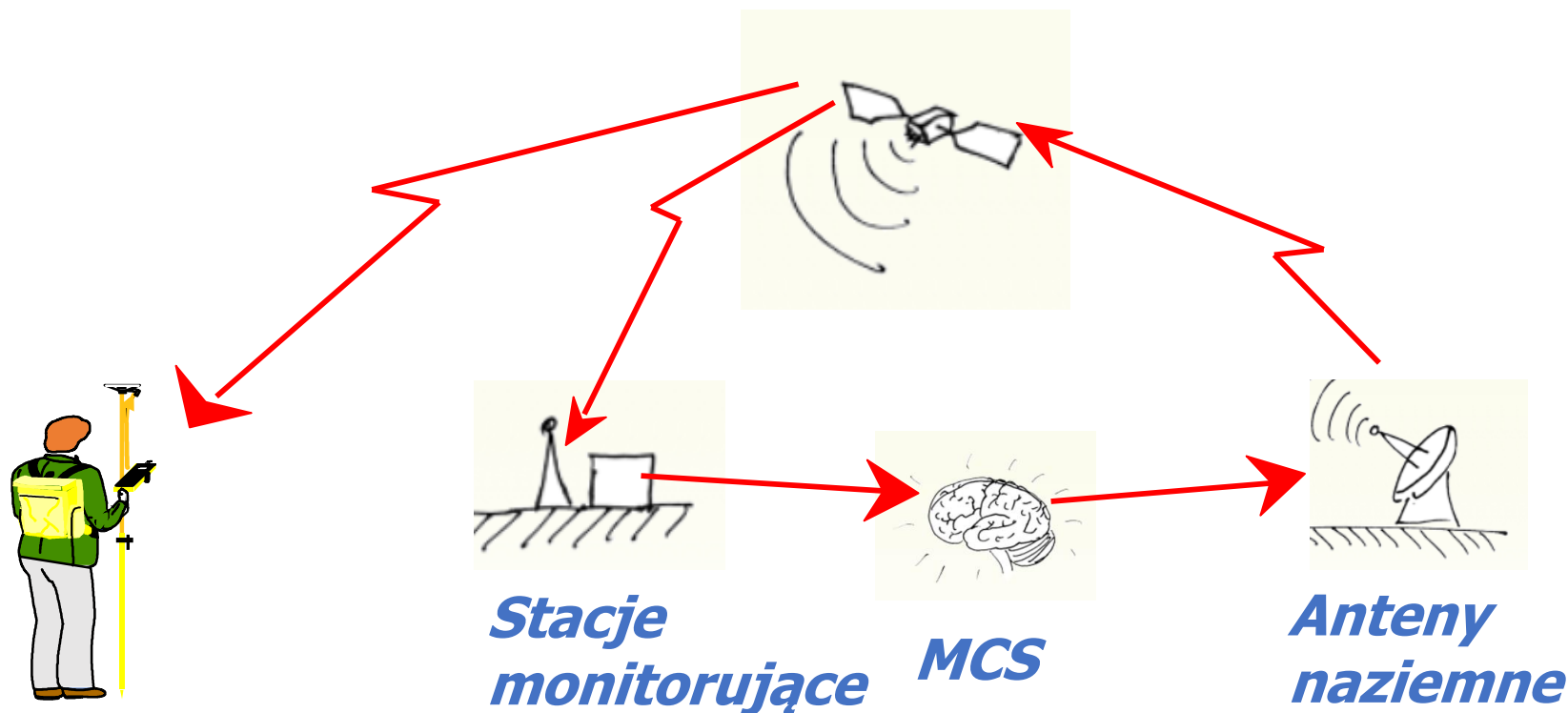
- W zależności od odbieranych sygnałów
 - cywilne
 - Militarne / autoryzowane
- W zależności od typu odbiornika
 - samodzielne
 - Zintegrowane / wbudowane w inne systemy
- W zależności od zastosowania, do:
 - Pozycjonowania
 - Pomiaru czasu
 - nawigacji: lotniczej, morskiej, lądowej etc.
 - Badań geodezyjnych
 - innych



Segment użytkownika

Odbiorniki GNSS zawierają:

- Oprogramowanie do odbioru oraz zdekodowania sygnałów satelitarnych
- Oprogramowanie do wyznaczania pozycji
- Oprogramowanie zależne od zastosowania odbiornika



The end