

GLONASS

GLOBAL'naya NAVigatsioannaya Sputnikovaya Sistema

Deutsche Übersetzung des russischen Acronyms GLONASS: Globales Navigations Satelliten System.

GLONASS ist das von den Streitkräften der ehemaligen UdSSR entwickelte Funknavigationssystem auf Satellitenbasis.

GLONASS ist ein Navigationssystem, welches weltweit von zivilen Nutzern genutzt werden kann. Das Genauigkeitspotenzial von GLONASS lässt auch geodätische Anwendungen zu. Betreiber von GLONASS ist die russische Raumfahrtagentur (Russian Institute of Space Device Engineering, Verteidigungsministerium) – Teilstreitkräfte Weltraum, auch wenn einige Stationen des Kontrollsystems auf dem Gebiet anderer Staaten liegen, die ehemals der UdSSR angehörten.

Die originäre Zielsetzung von GLONASS

GLONASS wurde ursprünglich als rein militärisches System betrachtet, deshalb wurden Informationen über GLONASS nicht veröffentlicht. Seit dem 02. Mai 1988 wurden die technischen Spezifikationen des Systems weitgehend offengelegt.

Mit Hilfe von GLONASS sollen beliebig viele Nutzer bei jedem Wetter 3-D-Positionierungen überall auf der Erde oder im erdnahen Raum durchführen können.

Zeitlicher Ablauf der Entwicklung

Beginn der Entwicklung 1972 in der damaligen UdSSR als Nachfolgesystem für das Doppler-Satellitensystem TSIKADA.

12. Oktober 1982 Start des ersten experimentellen GLONASS-Satelliten in eine Umlaufbahn.

18. Januar 1996 die geplante GLONASS-Konstellation ist erstmals vollständig verfügbar. Die geringe Lebensdauer der GLONASS-Satelliten führte in Verbindung mit ökonomischen Schwierigkeiten dazu, dass in der Folgezeit die Anzahl der verfügbaren Satelliten rasch abnahm. 1998 = 13 Satelliten, 2001 = 7 Satelliten, 2002 waren 6 von 7 Satelliten aktiv. Seit 2001 werden verbesserte Satelliten mit einer Lebensdauer von ca. sieben Jahren eingesetzt, dadurch steigt die Zahl der Satelliten wieder an. Im August 2006 waren zwölf funktionsfähige Satelliten im Orbit, zwei weitere waren abgeschaltet und zwei bereits im Umlauf befindliche Satelliten waren noch nicht aktiviert. Ende 2006 sollten 17 operative Satelliten zur Verfügung stehen, bis 2008 soll die vollständige Konstellation verfügbar sein.

Systembeschreibung

GLONASS-Konstellation (Raumsegment)

Das vollständige Weitraumsegment besteht aus 24 Satelliten (21 Satelliten plus 3 Reservesatelliten). Zur Zeit befinden sich 18 Satelliten im Orbit, die jedoch unterschiedliche Betriebszustände aufweisen.

Jeder Satellit verfügt über folgende jeweils mehrfach vorhandene Bordsysteme:

- Navigations- und Steuerungssysteme,*
- Signalgenerator,*
- Synchronizer (Referenzoszillator, Referenzsignalgenerator),*
- Empfänger und Übertragungssystem,*
- Telemetrie,*
- Bordcomputer,*

- Orientierungssystem,
 - Ausrichtung der Achse des Satelliten zum Erdmittelpunkt,
- Termisches Kontrollsystem,
 - Regelt Betriebstemperatur des Satelliten,
- Stromversorgungssystem

Die Sendeleistung der Satelliten beträgt etwa 60 W. Die Satelliten bewegen sich auf 3 Bahnebenen (1 - $\beta = 252^\circ$; 2 - $\beta = 12^\circ$; 3 - $\beta = 132^\circ$), pro Ebene 8 Satelliten in gleichen Abständen angeordnet. Die Bahnneigung beträgt $64,8^\circ$ gegen den Äquator mit einem Abstand der Bahnebenen in der Äquatorebene von 120° gegeneinander. Für einen Umlauf benötigen die Satelliten 11 Stunden, 15 Minuten, 44 Sekunden.

Die große Halbachse der Satellitenbahn beträgt = 25 510 km
 Die mittlere Entfernung vom Erdmittelpunkt beträgt = 25 460 km
 Die mittlere Bahnhöhe über der Erdoberfläche beträgt = 19 100 km

Signalaufbau

Die Trägerfrequenzen der GLONASS-Satelliten liegen im gleichen Frequenzbereich wie die Trägerfrequenzen der GPS-Satelliten (L-Band, $\lambda \approx 0,20$ m). Jeder Satellit nutzt eine eigene Frequenz – FDMA (Frequency Division Multiplex Access)-Technologie.

Die hochfrequenten Träger L_1 und L_2 werden von einer gemeinsamen Grundfrequenz abgeleitet.

$$\text{Signal } L_1 = \text{Frequenz } f_{01} = 1602 \text{ MHz} + \text{Kanalfrequenz } f_{(1)} * \Delta f_1;$$

$$\text{Signal } L_2 = \text{Frequenz } f_{02} = 1246 \text{ MHz} + \text{Kanalfrequenz } f_{(2)} * \Delta f_2;$$

Die Frequenzen für die einzelnen Satelliten werden paarweise für L_1 und L_2 als Kanalfrequenzen bezeichnet. Die Kanalfrequenz f wird nach folgender Beziehung bestimmt:

$$f = 178,0 + \frac{K}{16} Z.$$

Darin bedeuten:

$$\begin{aligned} K &= \text{ganze Zahl zwischen } -7 \text{ und } +4 \text{ (ab 2005),} \\ Z &= 9 \text{ für Träger } L_1, \\ Z &= 12 \text{ für Träger } L_2, \end{aligned}$$

Welcher Satellit welche Frequenz aussendet und welcher Wert für K dem Satelliten zugeordnet ist, wird in der Navigationsnachricht mitgeteilt.

Benachbarte Frequenzen haben einen Abstand von $\Delta f_1 = 0,5625$ MHz bei dem Träger L_1 und $\Delta f_2 = 0,4375$ MHz bei dem Träger L_2 . Da für den Zahlenwert von K bei 24 Satelliten nur 12 Zahlenwerte zur Verfügung stehen, erhalten je zwei Satelliten in entgegengesetzter Position auf der Umlaufbahn (Antipoden) die gleiche Frequenz.

Jeder Satellit sendet die Ortungs- und Navigationssignale gleichzeitig auf zwei Trägern mit unterschiedlicher Frequenz aus. Die damit erzielten Entfernungsmessergebnisse weisen wegen der unterschiedlichen atmosphärischen Laufzeitverzögerungen Differenzen auf. Diese Differenzen bieten die Möglichkeit einer Eliminierung der Messfehler.

Code-Signale

Den Trägersignalen werden durch Phasenmodulation Informationen aufmoduliert:

- Pseudo Random Nois Code (PRN-Code) zur Durchführung der Pseudostreckenmessung,
- Datencode zur Übertragung der Daten.

Codierung des L_1 -Signals

Dem L_1 -Signal werden zwei PRN-Codes aufmoduliert, ein Grobcode und ein präziser Code.

- *Grober Code:*
Chiprate: 0,511 MHz ($\lambda = 587$ m),
Länge der Codierung: 511 Chips entsprechen einem Zeitfenster von 1 ms.
Die Benutzung ist uneingeschränkt freigegeben.
- *Präziser Code:*
Chiprate: 5,11 MHz ($\lambda = 58,7$ m),
Länge der Codierung: $5,11 * 106$ Chips entsprechen einem Zeitfenster von 1 s.
Der Code ist bekannt, soll aber ohne Erlaubnis des russischen Verteidigungsministeriums nicht genutzt werden, da er jederzeit auf einen geheimen Code umgestellt werden kann.

Codierung des L₂-Signals

Das L₂-Signal kann nicht ohne besondere Vereinbarung genutzt werden, da dem L₂-Signal nur der P-Code aufmoduliert wird.

Navigationsnachricht

Die Navigationsmitteilung gibt dem Nutzer die für die Entfernungsmessung zu einem Satelliten erforderlichen Daten.

Es gibt zwei verschiedene Navigationsmitteilungen, die den beiden Codes angepasst sind und sich im Umfang der Daten unterscheiden:

- *C/A-Code-Navigationsmitteilung,*
 - *1 Rahmen mit 5 Unterrahmen, Übertragungsdauer 2,5 Minuten*
- *P-Code-Navigationsmitteilung,*
 - *1 Rahmen mit 72 Unterrahmen, Übertragungsdauer 12 Minuten*
Umfangreichere und genauere Daten als beim C/A-Code, Messergebnisse weisen geringere Fehler auf. Nachteil im ungünstigsten Fall können die Angaben zu einem bestimmten Satelliten erst nach 12 Minuten zur Verfügung stehen.

Kontrollsegment

Der bodengestützte Kontrollkomplex hat die folgenden Aufgaben zu lösen:

- *Messung und Voraussage der einzelnen Satelliten-Ephemeriden,*
- *Übermittlung der vorausgesagten Ephemeriden, der Uhrzeit-Korrektur und der Almanachinformationen an die einzelnen Satelliten,*
- *Synchronisation der Satellitenzeit mit der Systemzeit und der UTC(SU),*
- *Kontrolle des Betriebszustandes der Satelliten, sowie von Kurs und Lage*
- *Allgemeine Systemüberwachung.*

Diese Aufgaben werden von einer Reihe von Stationen wahrgenommen, die auf dem Territorium Russlands eingerichtet sind. Lasertracking-Stationen befinden sich auch in Kasachstan, der Ukraine und in Usbekistan.

- *Systemkontrollzentrum, Golitsyno bei Moskau (SKZ),*
 - *Koordinierung des gesamten GLONASS-Netzwerks,*
- *Zentrale Synchronisation, Moskau (ZS),*
 - *Bestimmung der GLONASS-Systemzeit,*
 - *Übermittlung der Signale an die PKS,*
- *Phasen-Kontroll-System, Moskau (PKS),*
 - *Überwachung der Zeit- und Phasensignale, die von den Satelliten mit den Navigationsmitteilungen gesendet werden,*
 - *Berechnung der Abweichung der Uhrzeit und des Phasensignals,*
 - *Vorhersage der Uhren- und Phasenkorrekturen,*
 - *Messungen und Übermittlung der Korrekturen erfolgt im 24-Stunden-Rhythmus,*

- Kommando- und Tracking-Stationen (KTS) – 5 KTS-Stationen, in Russland 3,
 - Übermittlung der Kontrollkommandos und Informationen an die Satelliten,
 - Bahnbeobachtung – aus den Messergebnissen werden die Ephemeriden 24 Stunden im Voraus berechnet,
- Laser-Tracking-Stationen (LTS) – 5 LTS-Stationen, davon arbeiten z.Zt. 2 Stationen
 - Messwerte zur Kalibrierung der mit funktechnischen Verfahren ermittelten Bahnwerte – erzielbare Genauigkeit maximal 1,8 cm in der Entfernung und maximal 2 Bogensekunden im Winkel,
 - Übermittlung der Messergebnisse über Richtfunk an das System-Kontrollzentrum, zu jeder Stunde,
- Monitorstationen, in Moskau und Komsomolsk
 - Überwachung der Navigationssignale aller Satelliten,
 - bei Abweichungen von den Sollwerten, Information an das System-Kontrollzentrum

Referenzsystem

Die mit GLONASS bestimmten Positionen sind Positionen im Conventional-Terrestrial-System (CTS). Die benutzte CTS-Realisierung trägt die Bezeichnung Parametri Zemli 90 (PZ 90) - Parametri Zemli = Erdparameter -. PZ 90 wurde zunächst als Sowjetisches Geodätisches System 1990 (SGS 90) eingeführt und dann in PZ 90 umbenannt. PZ 90 ist eine Weiterentwicklung des Sowjetischen Geodätischen Systems 1985 (SGS 85). Die Parameter des SGS 85 stimmen weitgehend mit den entsprechenden Parametern des WGS 84 überein, da es sich jedoch um voneinander unabhängige Entwicklungen handelt haben sich geringfügige Unterschiede ergeben.

<i>Parameter und Konstanten des PZ 90 Referenzsystems</i>			
<i>Winkelgeschwindigkeit der Erde</i>	ω	$7\,292\,115 * 10^{-11}$	<i>rad / s</i>
<i>Geozentrische Gravitationskonstante der Erde (einschließlich der Atmosphäre)</i>	GM	$398\,600,44 * 10^9$	m^3 / s^2
<i>Gravitationskonstante der Erdatmosphäre</i>		$0,35 * 10^9$	m^3 / s^2
<i>Lichtgeschwindigkeit</i>	c	299 792 458	<i>m / s</i>
<i>Zweiter zonaler Kugelfunktionskoeffizient des Schwerepotenzials</i>	C_{20}	$-1\,082,63 * 10^{-6}$	
<i>Große Halbachse des Ellipsoids</i>	a	6378136	<i>m</i>
<i>Reziproke Abplattung</i>	f	1/298,257	
<i>Normalschwere am Äquator</i>		978 032,8	<i>mgal</i>
<i>Korrektion der Normalschwerewerte in Meereshöhe, verursacht durch die oberhalb des Berechnungspunktes liegenden Luftmassen</i>		-0,9	<i>mgal</i>
<i>Quelle: Heinz Habrich, Geodetic Applications of the Global Navigation Satellit System (GLONASS) and of GLONASS/GPS Combinations, Universität Bern, 1999</i>			

Nach Untersuchungen kann eine Datumstransformation von PZ 90 nach WGS 84 mit folgenden Transformationen durchgeführt werden:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{WGS 84}} = \begin{bmatrix} 1 & -0,33'' & 0 \\ 0,33'' & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{PZ 90}}$$

Roszbach, U., Habrich, H., Zarraoa, N., 1996: Transformation Parameters Between PZ 90 and WGS 84, Proceedings of the 9th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institut of Navigation, ION GPS-96, Kansas City, Missouri

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{WGS 84}} = \begin{bmatrix} 0 \\ 2,5 \text{ m} \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & -0,39'' & 0 \\ 0,39'' & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{PZ 90}}$$

Misra, P. N., Abbot, R. I., Gaposchkin, E. M., 1996: Transformation Between WGS 84 and PZ 90, Proceedings of the 9th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institut of Navigation, ION GPS-96, Kansas City, Missouri

GLONASS – Systemzeit (GLONASST)

GLONASST wird von den Wasserstoff-Maser-Oszillatoren der Zentralen Synchronisation (ZS) erzeugt. Die tägliche Instabilität der Uhren liegt bei $5 * 10^{-14}$. Die Abweichung von GLONASST zu UTC (CIS) sollte höchstens eine Millisekunde betragen. Die Genauigkeit der Abweichung sollte unter eine Mikrosekunde betragen. UTC (CIS) wird laufendgehalten durch das Main Metrological Center of Russian Time and Frequency Service (VNIIFTRI) in Mendeleevo in der Region Moskau.

Wenn UTC um Schaltsekunden erweitert wird, so ist das auch bei GLONASST der Fall. Daher gibt es keine Differenzen in ganzen Sekunden zwischen GLONASST und UTC. Jedoch besteht ein ständiger Unterschied von drei Stunden zwischen GLONASST und UTC (CIS), damit entspricht GLONASS der Moskauer Zonenzeit.

$$\text{GLONASST} = \text{UTC (CIS)} + 3 \text{ Stunden, } 00 \text{ Minuten, } 00 \text{ Sekunden.}$$

Der Abgleich der GLONASS-Zeitskala mit der Zeitskala des russischen Zeitdienstes erfolgt zweimal jährlich (Mitternacht 30. Juni / 01. Juli und 31. Dezember / 01. Januar) gleichzeitig mit der Anpassung von UTC (CIS) an UT1.