



FACULDADE • DE • CIÊNCIAS UNIVERSIDADE • DE • LISBOA



**GLONASS**



V. B. Mendes

## 1. INTRODUÇÃO

---



O sistema de navegação global por satélite (GLONASS, acrónimo da designação russa *Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema* ou da correspondente designação anglo-saxónica *Global Navigation Satellite System*) foi criado e desenvolvido pela ex-URSS

para substituição do sistema TSYKADA, um sistema de navegação que utilizava uma constelação de satélites de baixa altitude (cerca de 1000 km), operando em VHF (frequências de 150 MHz e 400 MHz), e com características semelhantes ao TRANSIT, desenvolvido pelos EUA. O GLONASS pertence e é operado pelas Forças Militares Espaciais do Ministério da Defesa da Rússia, mas a utilização do GLONASS em meios civis é da responsabilidade da Agência Espacial Russa. O sistema entrou em actividade em Outubro de 1982 (data de lançamento do primeiro satélite) e foi declarado operacional em Setembro de 1993. O GLONASS tem como objectivo proporcionar navegação (posição e velocidade) e informação horária de precisão, para todo o globo e de modo contínuo. Em termos de funcionamento e operação, o GLONASS apresenta grandes semelhanças com o GPS. Tal como neste sistema de posicionamento, o GLONASS apresenta 3 componentes principais: o segmento espacial, o de controlo e o do utilizador.

## 2. SEGMENTO ESPACIAL

---

A constelação (completa) GLONASS é constituída por 24 satélites, distribuídos regularmente por 3 planos orbitais (argumentos de latitude separados de  $45^\circ$ ), com inclinações relativamente ao Equador de  $64.8^\circ$ .

Os planos orbitais estão separados entre si de 120° em longitude. Os satélites GLONASS estão localizados a 19100 km de altitude e têm órbitas circulares (os valores referidos são valores nominais).

Os satélites GLONASS têm um período orbital de 11 horas e 16 minutos (8/17 de um dia sideral), pelo que aparecem sobre o mesmo local de 8 em 8 dias. Contudo, uma vez que cada plano orbital contém 8 satélites igualmente espaçados, um dos satélites aparecerá sobre o mesmo local no mesmo instante sideral, em dias consecutivos.

Tal como os satélites GPS, os satélites GLONASS podem ser identificados pelo número de designação internacional. Para além deste identificativo, podem também ser usados os números da série COSMOS, o número de sequência do lançamento, número de sequência GLONASS, posição no plano orbital e número do canal associado à frequência transmitida pelo satélite.

Nas gerações mais antigas, os satélites GLONASS tinham um tempo útil de vida que variava entre 2 anos e 5 anos, ou seja, inferior ao atingido pelos satélites GPS. Existem duas séries principais de satélites (Bloco I e II). O Bloco II apresenta três variantes (*a*, *b* e *c*), que reflectem diferentes tempos de vida útil. Os satélites são colocados em órbita, e num dado plano orbital, em grupos de 3, mas as primeiras séries de lançamentos não foram totalmente coroadas de êxito. Desde 2003 existe uma nova geração de satélites, denominados M (de Modernizados). Em Maio de 2010, a constelação GLONASS era constituída por 23 satélites, 21 operacionais e 2 em manutenção (ver <http://www.glonass-ianc.rsa.ru/pls/htmldb/f?p=202:20:2008793586818994::NO>). No futuro teremos duas versões de novos satélites, os satélites GLONASS-K1 (um destes satélites já está em órbita) e GLONASS-K2. Esta geração estão desenhados para terem um período de vida mais longo (10 anos) e relógios mais estáveis.

## 2.1 Estrutura do sinal GLONASS

Cada satélite GLONASS (legado GLONASS) emite sinais em duas frequências, localizadas na banda L do espectro electromagnético: L1 (~1.6 GHz) e L2 (~1.2 GHz), derivadas da frequência fundamental de 5 MHz do oscilador a bordo. As portadoras são moduladas com sequências pseudo-aleatórias, usando chave de comutação de fase binária (**BPSK** – *binary phase-shift keying*).

Contrariamente aos satélites GPS, os satélites GLONASS são identificados pela frequência em que emitem. O sistema usa a técnica de **acesso múltiplo por divisão de frequência (FDMA** – *frequency division multiple access*), que reduz a diafonia entre os diversos satélites. Os valores nominais atribuídos às frequências dos sinais rádio transmitidos para cada um dos satélites são dados por:

$$\begin{aligned} f_{k1} &= f_{01} + k\Delta f_1 \\ f_{k2} &= f_{02} + k\Delta f_2 \end{aligned}$$

onde  $k$  é o número de frequência ou **canal de frequência** ( $k = -13, \dots, +12$ ),  $f_{01} = 1602$  MHz,  $f_{02} = 1246$  MHz,  $\Delta f_1 = 562.5$  kHz e  $\Delta f_2 = 437.5$  kHz. O canal de frequência atribuído a cada satélite é transmitido no almanaque da constelação GLONASS. A razão entre as frequências das bandas L1 e L2 é de aproximadamente 7/9.

O plano de frequências inicialmente atribuído ao GLONASS foi sendo progressivamente modificado, como uma consequência de uma redistribuição do espectro electromagnético, seguindo as recomendações da União Internacional de Telecomunicações (ITU – *International Telecommunication Union*). Assim, no período 1998 – 2005, foram utilizados os canais de frequência  $k = 0, \dots, 12$ , sem qualquer restrição, sendo os canais  $k = 0$  e  $k = 13$  reservados para aplicações de carácter técnico. Após 2005, têm sido utilizados

os canais de frequência  $k = -7, \dots, +6$ , estando os canais  $K = 5$  e  $K = 6$  reservados a aplicações de carácter técnico.

O GLONASS emite dois códigos, um para uso civil (código C/A) e outro para uso militar (código P). Contudo, os mesmos códigos são usados por todos os satélites. Os utilizadores internacionais não têm acesso a códigos especiais modulados em L2.

As sequências pseudo-aleatórias usadas pelos satélites GLONASS são constituídas por 511 e  $5.11 \times 10^6$  dígitos binários, respectivamente para o código C/A e P. A frequência dos código C/A e P é de 0.511 MHz e 5.11 MHz, respectivamente.

O código C/A é modulado apenas na onda L1, enquanto que o código P é modulado em L1 e L2. Tal como no caso do GPS, a frequência do código C/A é 10 vezes inferior à do código P. As frequências dos códigos GLONASS são cerca de metade das correspondentes frequências GPS. Isto traduz-se numa precisão de medição distância ligeiramente inferior (regra geral, quanto mais baixas são as frequências dos códigos, menor é a precisão obtida na medição de distância).

Para além dos sinais FDMA, os novos satélites (geração K1) irão ter um sinal CDMA, de modo a garantir a interoperabilidade com os outros GNSS (GPS e GALILEO). Este sinal será transmitido em L3, na frequência 1205 MHz. Os satélites GLONASS-K2 irá ter sinais CDMA em L1, L2 e L3. Está também previsto uma série de satélites (GLONASS-KM), a lançar não antes de 2015.

## 2.2 Mensagem de Navegação

Cada satélite transmite uma mensagem de navegação, à taxa de 50 Hz, contendo informação relativa ao funcionamento dos satélites, dados relativos ao relógio do satélite e efemérides. Os satélites GLONASS transmitem o erro de sincronização existente entre o relógio desse satélite e o sistema de tempo GLONASS, que está relacionado com o UTC mantido por Moscovo. À

semelhança do GPS, a mensagem de navegação está formatada em estruturas, subestruturas e palavras. Um estrutura tem a duração de 150 s e contém 5 subestruturas, cada uma das quais dividida em 15 palavras de 2 s de duração.

Os dados incluídos em cada subestrutura estão divididos em duas secções, a primeira das quais contém as coordenadas e parâmetros do relógio do satélite transmissor e a segunda o almanaque para todos os satélites activos da constelação. O almanaque GLONASS é constituído pelos elementos keplerianos e permite calcular a posição de cada satélite com uma precisão de 100-200 m (tal como no GPS).

O GLONASS pode também ser usado para transferência de tempo. Os satélites GLONASS estão equipados com relógios de Césio, sincronizados entre si com uma exactidão superior a 20 ns. O tempo GLONASS ( $t_{\text{GLONASS}}$ ) é gerado com base num maser de hidrogénio (que apresenta uma estabilidade superior a  $5 \times 10^{-14}$ ), denominado Sincronizador Central GLONASS (CS – *Central Synchronizer*). A diferença entre o tempo GLONASS e o Tempo Nacional de Referência, UTC(SU), é inferior a 1  $\mu\text{s}$ , existindo, no entanto, uma diferença de 3 horas entre o tempo GLONASS e o UTC(SU):  $t_{\text{GLONASS}} = \text{UTC(SU)} + 3^{\text{h}}$ . As escalas de tempo dos satélites GLONASS são comparadas periodicamente com a escala de tempo do CS e as correcções são injectadas nos satélites pelo segmento de controlo 2 vezes por dia, permitindo uma sincronização entre os relógios dos satélites e o tempo do CS com uma exactidão superior a 10 ns. Contrariamente ao tempo GPS, o tempo GLONASS sofre a introdução de segundos intercalares, de forma sincronizada com o UTC.

A informação orbital dos satélites GLONASS é transmitida de 30 em 30 minutos e é constituída pelo vector de posição, de velocidade e de aceleração, para um sistema de coordenadas rectangular com origem no centro de massa da terra. Para outras épocas, o utilizador necessita de interpolar a posição (e as outras componentes, se necessário) com base na informação transmitida antes e

depois da época pretendida. Desde 1993, as coordenadas obtidas são referidas ao PZ-90 (Sistema de Parâmetros da Terra 1990). Antes desta data, o sistema de referência utilizado era o Sistema Geocêntrico Soviético 1985 (SGS85 - *Soviet Geocentric System*).

O PZ-90 é um sistema global com origem no centro de massa da Terra, o eixo dos ZZ dirigido para o Pólo Terrestre Convencional, o eixo dos XX dirigido para o ponto intersecção do plano equatorial terrestre e o meridiano de referência estabelecido pelo BIH e o eixo dos YY escolhido de forma a tornar o sistema directo. O elipsóide de referência é definido pelos seguintes parâmetros de forma:  $a = 6378\ 136\ \text{m}$  e  $f = 1/298.257\ 839\ 303$ .

No âmbito do processo de modernização, o referencial PZ-90 tem sofrido actualizações.

### 3. SEGMENTO DE CONTROLO

---

Tal como no caso do GPS, o segmento de controlo é responsável pelo cálculo das efemérides dos satélites e subsequente envio da mensagem de navegação, que é actualizada diariamente. O segmento de controlo é constituído pelo chamado Centro de Controlo do Sistema (estação de controlo principal, localizada em Moscovo) e pela rede de estações de rastreio e comando (S. Petersburg, Yeniseisk e Komsomolsk-on-Amur). As efemérides são geradas com base na observação de distâncias entre os diversos satélites GLONASS, a partir das estações de Moscovo e Komsomolsk-on-Amur. Cada satélite GLONASS tem um reflector laser que permite determinar distâncias e órbitas por técnicas independentes.

## 4. SEGMENTO DO UTILIZADOR

---

O GLONASS é um sistema essencialmente militar. A precisão proporcionada aos utilizadores civis é muito semelhante à do GPS. No entanto, a disponibilidade de receptores GLONASS é ainda reduzida. A utilização de técnicas diferenciais e o processamento da fase poderá vir a proporcionar precisões idênticas às obtidas com o GPS em posicionamento relativo. Para posicionamento absoluto, os valores divulgados são os seguintes:

- |                                       |               |
|---------------------------------------|---------------|
| □ posicionamento horizontal           | 100 m (95%)   |
| □ posicionamento vertical             | 150 m (95%)   |
| □ componentes do vector de velocidade | 15 cm/s (95%) |
| □ tempo                               | 1 $\mu$ s     |