



FACULDADE • DE • CIÊNCIAS UNIVERSIDADE • DE • LISBOA



BeiDou



V. B. Mendes

1. INTRODUÇÃO



O Sistema BeiDou ou BDS (BeiDou Navigation Satellite System) é um sistema de navegação em desenvolvimento pela República Popular da China. O BeiDou (que significa Ursa Maior) começou a ser idealizado no início da década de 1980. Em 2000, uma versão de demonstração do sistema estava estabelecida, tornando-se o terceiro

sistema de navegação operacional. O BeiDou está com um bom ritmo de desenvolvimento, com um total de 16 satélites lançados até finais de 2012 (último lançamento no dia 25 de Outubro de 2012). A China prevê que a constelação completa fique concluída em 2020. O BeiDou permitirá à China satisfazer os requisitos de segurança nacional, desenvolvimento económico, avanços tecnológicos e progresso social, entre outros aspectos, ao mesmo tempo que assegura um serviço de navegação estável, fiável e de qualidade aos utilizadores de todo o mundo.

O BeiDou é constituído por 3 componentes: espacial, controlo terrestre e utilizador.

2. SEGMENTO ESPACIAL BeiDou

O BDS será constituído por 5 satélites de órbita geoestacionária (GEO - *Geostationary Earth Orbit*), 27 satélites de órbita média (MEO - *Medium Earth Orbit*) e 3 satélites com órbitas geoestacionárias inclinadas (IGSO - *Inclined Geosynchronous Satellite Orbit*).

Os satélites GEO estão colocados a uma altitude de 35786 km e posicionados nas longitudes 58.75°E, 80°E, 110.5°E, 140°E e 160°E, respectivamente. Os satélites MEO estão colocados a uma altitude de 21528 km e com uma inclinação de 55° relativamente ao plano equatorial, regularmente espaçados em 3 planos orbitais. Os satélites IGSO estão colocados a uma altitude de 35786 km e com uma inclinação de 55° relativamente ao plano equatorial. Actualmente (início de 2013), estão em órbita 3 satélites GEO, 4 satélites MEO e 5 satélites IGSO.

3. SEGMENTO TERRESTRE

O segmento terrestre é constituído por várias estações de controlo principais (MCS - *Master Control Station*), estações de injeção de dados (US - *Upload station*) e uma rede de estações monitoras globalmente distribuídas (MS - *Monitor Station*). As MCS recolhem os dados de cada MS, efectuem o seu processamento, geram informação diversa (mensagens de navegação, dados diferenciais e de integridade), executam o planeamento de missões e as operações de controlo e manutenção do sistema. As US fazem a injeção de dados gerados pelas estações MCS nos satélites. As MS fazem o rastreio monitorização dos satélites, recebem os sinais de navegação e enviam as observações MCS para posterior determinação de órbitas e sincronização de tempo.

O segmento do utilizador inclui os equipamentos BeiDou e outros equipamentos compatíveis com a utilização de outros GNSS.

4. SISTEMA DE REFERÊNCIA BeiDou

O sistema de referência BDS é denominado CGCS2000 (*China Geodetic Coordinate System 2000*). A definição deste sistema de referência é semelhante ao ITRS: (1) origem no centro de massa da Terra; (2) eixo dos ZZ na direção do Pólo de Referência do IERS (IRP - *International Earth Rotation and Reference System Service Reference Pole*); (3) eixo dos XX dirigido para a intersecção do Meridiano de referência do IERS (IRM - *IERS Reference Meridian*) e o plano que passa pela origem e que é ortogonal ao eixo dos ZZ; (4) eixo dos YY escolhido de modo a constituir um sistema dextrogiro.

Está também definido um elipsóide CGCS2000, com os seguintes parâmetros:

Semi-eixo maior: $a = 6378137.0$ m

Constante Gravitacional Geocêntrica (incluindo a massa da atmosfera):

$$GM = 3.986004418 \times 10^{14} \text{ m}^3\text{s}^{-2}$$

Achatamento: $f = 1/298.257222101$

Velocidade angular de rotação da Terra: $w = 7.2921150 \times 10^{-5}$ rad/s

5. ESCALA DE TEMPO BeiDou

O BDS tem uma escala de tempo própria (BDT - *BeiDou navigation satellite system time*), próxima do UTC (é, no entanto, uma escala contínua, sem introdução de segundos intercalares). O BDT iniciou-se às 00^h 00^m 00^s do dia 1 de Janeiro de 2006 de tempo universal coordenado (UTC) e relaciona-se com o UTC através do UTC(NTSC), sendo controlado de modo a manter-se a menos de 100 ns (o UTC(NTSC) é o UTC mantido pelo *National Time Service Center* da

3 •

Academia de Ciências da China). Os segundos intercalares são transmitidos na mensagem de navegação.

6. SINAL BeiDou

O sinal BeiDou é composto de ondas portadoras, códigos e mensagem de navegação. O sinal tem polarização circular direita (RHCP).

A frequência fundamental da portadora do sinal disponibilizado para fins civis (B1) é de 1561.098 MHz. O sinal B1 é constituído pela soma de dois canais, um quadratura (canal I e canal Q), com as mesmas características, sendo o canal Q reservado.

O sinal B2 também é constituído por dois canais (I e Q), sendo o canal Q reservado. A portadora B2 tem uma frequência de 1207.14 MHz, sendo modulado com um código I de 2.026 MHz; o sinal B2Q é modulado com o código de 10.23 MHz.

A portadora é modulada com código e mensagem de navegação, usando a técnica de modulação por deslocamento de fase em quadratura (QPSK - *Quadrature Phase Shift Keying*). Os diferentes códigos são transmitidos usando acesso múltiplo por divisão de código (CDMA - *Code Division Multiple Access*). O código B1I é constituído por 2046 dígitos binários, gerado à taxa de 2.046 MHz e com um período de 1 ms.

Mensagem de Navegação

A mensagem de navegação é de 2 tipos, denominadas D1 NAV (radiodifundida pelos satélites MEO/IGSO) e D2 NAV (radiodifundida pelos satélites GEO). A mensagem D1 NAV é transmitida à taxa de 50 Hz e é modulada com um código

secundário de 1 kHz. Esta mensagem inclui a informação básica: informação fundamental de navegação dos satélites, almanaque de todos os restantes satélites e cronometria (enviesamentos relativamente a escalas de tempo de outros GNSS). A mensagem D2 NAV é transmitida à taxa de 500 Hz e inclui informação básica de navegação e informação de serviços de aumento (integridade BDS, informação de grelhas ionosféricas).

Composição da mensagem D1 NAV

A mensagem D1 NAV é constituída por uma superestrutura, estruturas e subestruturas. A superestrutura tem 360000 bits (correspondente a 12 minutos de transmissão). Uma superestrutura é composta de 24 estruturas (24 páginas), com 1500 bits (30 s). As estruturas são constituídas por 5 subestruturas, com 300 bits (6 s). As estruturas são compostas de 10 palavras, com 30 bits (0.6 s).

A mensagem D1 NAV tem a informação básica do satélite transmissor (nas estruturas 1, 2 e 3): semana e segundos da semana BeiDou, indicador de índice de exactidão da distância (URA), indicador de estado de funcionamento do satélite, parâmetros para o modelo de correcção ionosférica, parâmetros orbitais, parâmetros de correcção dos relógios e diferencial de atraso de grupo. Para além desta informação, a mensagem inclui também o almanaque para os restantes satélites e informação de enviesamentos do tempo BeiDou relativamente a outras escalas de tempo (UTC e outros GNSS).

Os parâmetros orbitais constituem uma representação por elementos keplerianos, com representação (e algoritmo de cálculo da posição do utilizador no referencial BeiDou) idêntica à utilizada pelo GPS. Os parâmetros orbitais sendo actualizados com um intervalo de uma hora.

Composição da mensagem D2 NAV

A mensagem D2 NAV é constituída por uma superestrutura, estruturas e subestruturas. A superestrutura tem 180000 bits (6 min). Uma superestrutura é composta de 120 estruturas, com 1500 bits (3 s). As estruturas são constituídas por 5 subestruturas, com 300 bits (0.6 s). As estruturas são compostas de 10 palavras, com 30 bits (0.06 s).

7. SERVIÇO DE POSICIONAMENTO

Uma vez em operacionalidade completa, o BeiDou proporcionará posição, velocidade e tempo globalmente. Terá ainda capacidade de proporcionar serviços de aumento com incertezas inferiores a 1 m e serviços de mensagens curtas (SMS) com capacidade de 120 caracteres chineses. As especificações de incerteza para os serviços globais são: (1) posicionamento: < de 10 m; velocidade: <0.2 m s⁻¹; (3) cronometria: < 20 ns.

O sistema está a ser desenvolvido em 3 fases. A primeira fase (*Demonstration System*) iniciou-se em 1994. Em 2000 foram lançados dois satélites experimentais; seguiu-se o lançamento de um terceiro satélite em 2003, completando a constelação para esta fase de implementação do sistema. Os satélites desta constelação são geoestacionários, posicionados nas longitudes 80° E, 110.5° E e 140° E. O serviço proporcionado nesta fase abrange apenas a China e regiões próximas e as especificações de incerteza para os serviços: (1) posicionamento: < de 20 m; (2) cronometria: < 100 ns; (3) SMS: 120 caracteres chineses.

A segunda fase (*Regional*) iniciou-se em 2004 e abrange a mesma área geográfica, mas com capacidade operacional completa. No final de 2012, a

constelação BeiDou tinha 14 satélites, 5 GEO, 5 IGSO e 4 MEO. As especificações de incerteza para os serviços são: (1) posicionamento horizontal: < 10 m; (2) posicionamento vertical: < 10 m; (3) velocidade: < 0.2 ms⁻¹; (4) cronometria: < 50 ns; (5) SMS: 120 caracteres chineses.