

# LOS SISTEMAS DE NAVEGACION POR SATELITE

## 1.- Introducción.

El uso de constelaciones de satélites de órbita media o MEO, con relojes atómicos a bordo que transmiten a Tierra sus mensajes de navegación ha permitido al mundo militar y civil desde hace algunos años poder navegar por cualquier parte de la Tierra. A continuación se describen los sistemas de navegación por satélites GPS, GLONASS y el futuro sistema GALILEO.

## 2.- Sistema GPS

Una de las constelaciones de satélites de navegación más conocidas es la GPS (Global Positioning System) compuesta por 24 satélites ubicados en seis planos con cuatro satélites cada uno. El período de una órbita es la mitad de un día sideral, que corresponde a 11 hr y 58 minutos, cada órbita se encuentra separada a  $60^\circ$  y con una inclinación de  $55^\circ$  del plano ecuatorial. El radio de la órbita al centro de la Tierra es de 26.600 km.

Diferentes notaciones son usadas para referirse a los satélites en órbita. La primera corresponde a uno de los seis planos orbitales donde se ubicarán los satélites (A, B, C, D, E y F) y un número asociado en el plano en que se encuentran, que va del 1 al 4. La segunda notación usada se refiere a la asignación del número del satélite NAVSTAR dada por la Fuerza Aérea de los Estados Unidos. Así cada vehículo espacial tiene un número, ejemplo (SVN) 11 referido al satélite NAVSTAR 11. La tercera notación corresponde a los generadores de códigos pseudoaleatorios (PRN) que tienen los satélites a bordo para generar su señal de espectro ensanchado con un único código pseudoaleatorio por satélite. Cada satélite transmite a Tierra su código propietario que lo identifica y producen los códigos C/A usados en el campo civil y el código P(Y) usado para fines militares, donde este último entrega una mayor precisión de la posición en Tierra. El hecho que transmitan con espectro ensanchado (CDMA) permite que todos los satélites transmitan en la misma frecuencia. Al tener mas precisión con el modo P(Y) se requiere un ancho de banda cercano a 20 MHz para la banda L2 (frecuencia secundaria equivalente a  $120 f_0$ ) y 2 MHz para la banda L1 (frecuencia primaria equivalente a  $154 f_0$ ), donde  $f_0 = 10,22999999543$  MHz, frecuencia que se utiliza normalmente como frecuencia patrón en muchos sistemas de telecomunicaciones, industriales y científicos. Cuando se utilizan las dos bandas de frecuencias L1 y L2 permite medir el retardo ionosférico, midiendo la diferencia de tiempo de llegada de las dos frecuencias en el receptor de Tierra. Los mensajes de navegación de los satélites se transmiten a 50 bps, tanto los códigos C/A y los P(Y).

La antena del satélite tiene una ganancia de 13,4 dB y una potencia de 32,6 Watt de entrada a la antena en la banda L2 (modo C/A) y 6,61 Watt en la banda L2.

El sistema GPS proyecta mejorar su servicio al incorporar una nueva señal de banda angosta (L2) en la banda 1.215-1.240 MHz donde opera actualmente, y emitir una nueva señal de banda ancha (P(Y)) en la banda 1.164-1.188 MHz. De acuerdo con la información

disponible, estos planes proyectan ponerse en práctica a partir de 2003 y 2006 respectivamente, con lo que se obtendrá mas precisión en el futuro con el sistema GPS.

### 3.- Sistema GLONASS

También nos permite navegar el sistema Ruso GLONASS (Global Navigation Satellite System), que es menos conocido para muchos de los colegas. Esta constelación de satélites fue completada en el año 1995. Está compuesta por 21 satélites, mas 3 satélites de respaldo. Es muy similar al conocido sistema GPS.

Cada satélite transmite dos señales en la banda L. Inicialmente el sistema GLONASS fue manejado por las Fuerzas Espaciales Militares de Rusia, pasando posteriormente a ser administrado por el Departamento de Estado de asuntos del espacio (GUKOS).

Los satélites se encuentran ubicados en tres planos a  $120^\circ$ , con cinco satélites permiten tener visibilidad de mas del 99% de la superficie de la Tierra. Cada satélite se encuentra en órbitas circulares a 19.100 km. de la superficie de la Tierra, con planos inclinados respecto al Ecuador a  $64,8^\circ$ . El período orbital es un poco menor que el de los satélites GPS, de 11 hr. y 15 minutos.

El complejo de navegación a bordo del satélite, llamado (OBNC) es el corazón del satélite GLONASS. Esta compuesto por la unidad de complejo de información lógica (ILC), tres relojes atómicos, una unidad de memoria, un receptor de telemetría y control y transmisores de navegación. El OBNC genera dos señales de navegación en las frecuencias 1.246 a 1.257 MHz y de 1.602 a 1.616 MHz. Estas señales de navegación permiten proveer al receptor en Tierra la data con las efemérides de los satélites, la corrección del reloj atómico, y los datos del almanaque.

Cabe señalar que el número de usuarios del sistema GLONASS es muy pequeño comparado con el sistema GPS. La precisión en posición del sistema GPS en el último tiempo ha mejorado al eliminar el error pseudo aleatorio, llegando en el modo C/A a 10 metros y el GLONASS entre 26 y 100 metros para las aplicaciones civiles.

En la actualidad es tal la cantidad de equipos de navegación que dependen de la constelación GPS, así como sistemas de frecuencia patrón que se apoyan en la recepción de las señales GPS, que un corte en las transmisiones puede producir problemas serios en los sistemas que se soportan en ellos. Siempre estos sistemas han sido considerados estratégicos para los gobiernos que los desarrollaron.

### 4.- Sistema GALILEO

Recientemente, la Unión Europeo, encabezada por la Agencia Espacial Europea esta desarrollando un sistema de navegación por satélite de tipo civil, llamado GALILEO. Este sistema entregará alta precisión en la posición geográfica, cercana al metro.

Ha sido diseñado para entregar información de navegación con alta seguridad como para el manejo de trenes, automóviles y aterrizaje de aviones.

El primer satélite experimental será lanzado durante el año 2004, luego que resuelva los problemas de negociaciones por la compatibilidad electromagnética con otros sistemas de radiocomunicaciones, tales como los radares y sistemas radionavegación aeronáutica DME/TACAN, que usan las mismas bandas de frecuencias. La constelación se encontrará terminada y en operación en el año 2008.

La constelación GALILEO se compondrá de 30 satélites, de los cuales 3 se encontrarán en reserva. También se ubicarán en tres planos a  $120^\circ$  en una órbita media a 23.616 km. de altitud, con planos inclinados a  $56^\circ$  del Ecuador.

Podrá prestar servicio hasta  $75^\circ$  Norte de latitud.

El sistema GALILEO viene a satisfacer una necesidad que requiere la sociedad civil moderna, de un sistema que entregue una alta calidad de servicio, exento de cortes por problemas estratégicos de los gobiernos, y ofrecer una nueva alternativa al sistema GPS.

El sistema GALILEO operará en conjunto con el sistema GPS, se complementarán mutuamente.

La velocidad de transmisión del mensaje de navegación será entre 250 bps y 1500 bps. El uso de diversidad de recepción con dos frecuencias mejorará la recepción de la señal en ambientes donde existe fading urbano debido a las interferencias o a una pobre visibilidad a los satélites.

El corazón de GALILEO serán dos relojes atómicos, un estándar de Rubidio con una estabilidad de  $5 \times 10^{-13}$  sobre 100 segundos y un Maser de Hidrógeno pasivo con una estabilidad de frecuencia de  $1 \times 10^{-14}$  sobre 10.000 segundos, multiplexores de salida, amplificadores de RF con GaAs del tipo MESFETs de 50 watt de salida y una antena de navegación de 15 dBi de ganancia.

## 5.- El receptor

El nivel de potencia con que trabaja un receptor de navegación por satélite, o comúnmente conocido como receptor GPS, es muy baja, del orden de  $-160$  dBW o lo que es lo mismo que cero coma seguido de quince ceros y un uno, de Watt.

Hay que tener presente que la antena que utilizan los receptores es de poca ganancia, cerca de 3 a 4 dB, por lo tanto el gran trabajo lo realizan los correlacionadores para recuperar la señal sumergida en el ruido que viene con modulación de código y transmitida en espectro ensanchado por el satélite.

El receptor tiene como todo receptor típico su antena, un oscilador local o sintetizador, un

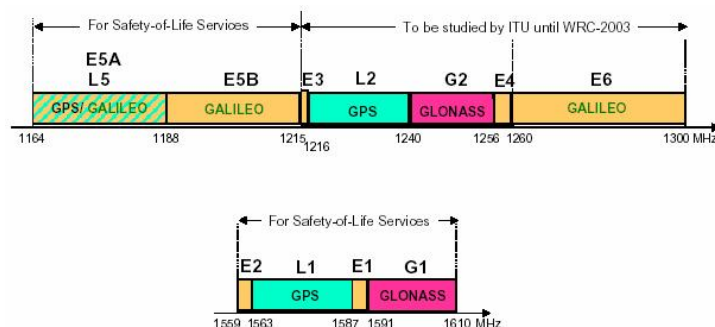


Figure 1. Galileo, GLONASS and GPS Frequency Bands

filtro pasa banda de entrada, un mezclador para obtener la frecuencia intermedia, un conversor análogo / digital, donde se obtiene una frecuencia intermedia digital que va a varios correlacionadores en paralelo, que permiten recibir varios satélites simultáneamente, un procesador de señales que finalmente calcula sobre la base de la información que viene en los mensajes de navegación que envían cada satélite a la vista, para determinar y presentar en una pantalla la posición geográfica donde se encuentra el receptor, la altura del lugar y otra información útil para la navegación. Estos receptores se han reducido a tamaños pequeños donde integran todas las funciones mencionadas en un formato SoC (System on Chip). El consumo se ha reducido de un par de Watt, en los primeros receptores comerciales, a menos de 27 miliwatt. Este bajo consumo de energía eléctrica y pequeño tamaño está permitiendo integrarlos en cualquier handy o transceptor móvil.

Finalmente, puedo comentarles a los colegas que los nuevos sistemas de navegación revolucionarán las comunicaciones móviles, como PCS, celulares, equipos de radio en general, al coexistir un receptor como el de GALILEO o GPS mejorado con un PCS (GSM u otro estándar). Así se podrá tener la posición exacta del transceptor de radio, un automóvil, guiar y aterrizar una aeronave o cualquier carga en movimiento casi en cualquier parte de la Tierra, donde exista visibilidad a los satélites, a muy bajo costo. La combinación entre sistemas de navegación y de radio será inseparable en las comunicaciones móviles del futuro.

CE3-LD, Italo Mazzei