



KOLLNER LABRAÑA & CIA. LTDA

Servicio Técnico SOKKIA
Laboratorio de Calibración
Arriendo y Venta

DESCRIPCION DEL SISTEMA GPS

El Departamento de Defensa Estadounidense (DoD) necesitaba de un sistema más eficaz que el de observaciones Doppler a los satélites TRANSIT. En 1973 se empezó a desarrollar el proyecto de la constelación NAVSTAR (NAVigation Satellite Timing And Ranging - satélite de navegación, cronometría y distanciometría), para poder hacer de forma continua y en tiempo real, navegación más precisa en tierra, mar o aire, en toda condición meteorológica y en un sistema unificado de cobertura global. Se llamó GPS, el 22 de Febrero de 1978 se lanzo el primer satélite.

Consta de 24 S.V. 21 activos y 3 de repuesto (spares). 4 S.V. por órbita. 6 órbitas 630 de inclinación respecto del Ecuador.

El sistema es fundamentalmente militar, pero los estamentos científicos civiles lo están aprovechando desde el comienzo de la década de los 80, porque el GPS es algo más que un mero sistema de navegación, con él se pueden hacer diferentes tipos de posicionamiento, del máximo interés en nuestras técnicas por la elevada precisión alcanzable.

FUNDAMENTO.

Todo el sistema GPS se fundamenta en la medición de la distancia satélite - receptor, cada distancia observada representa el radio de una esfera con (entro en el satélite, la intersección de 3 o 4 esferas (según sea 2 o 3 dimensiones respectivamente) nos dará la posición del receptor.

Según la teoría de la trigonometría para fijar un punto en dos dimensiones basta con la medición de dos distancias perfectas y si se trata de tres dimensiones con tres distancias perfectas, pero para conseguir esas distancias perfectas, los dos relojes, tanto el del receptor como el del satélite, no deben tener ningún tipo de error y estar perfectamente sincronizados, esto lo podemos conseguir con el reloj del satélite que es atómico y conocemos sus efemérides indicadas por el mensaje, pero en lo que concierne al estado del reloj del receptor. no podemos conocerlo, por este motivo y para evitar los errores producidos por el reloj del receptor se introduce una observación más, ya que si tres mediciones perfectas sitúan un punto en el espacio tridimensional, entonces cuatro mediciones imperfectas pueden eliminar cualquier desviación del tiempo (siempre que la desviación sea consistente).

Para que todo esto quede más claro hagamos un símil refiriéndonos a las distancias como tiempos y con un posicionamiento en dos dimensiones.

Supongamos que nuestro punto de estaciones esta a 4 seg. del satélite A y a 6 seg. del satélite B, estas dos distancias serán suficientes para situarnos en un punto.

Si por ejemplo nuestro reloj del receptor es imperfecto si se atrasa un segundo, el receptor indicara que estamos a 5 segundos del satélite A y a 7 segundos del satélite B, cortándose las circunferencias en un punto distinto.

El punto 2 nos parece una respuesta tan normal como cualquier otra, y nos sería prácticamente imposible deducir que es errónea. Por ello introduciremos una observación adicional, supongamos un satélite C a 8 segundos de nuestro receptor. Rápidamente se observa que no existe ningún punto que se encuentre a 5 segundos



KOLLNER LABRAÑA & CIA. LTDA

Servicio Técnico SOKKIA
Laboratorio de Calibración
Arriendo y Venta

del satélite A, a 7 segundos del satélite B y a 8 segundos de C en un mismo instante formando una zona de incertidumbre dentro de la cual se encontrara la solución verdadera.

Cuando se da un caso de estos, los ordenadores de los receptores suponen que la causa de error es que el reloj interno esta desviado, entonces comienzan a sumar y restar tiempo, la misma cantidad a todas las mediciones hasta que descubre que sustrayendo un segundo a las tres mediciones puede hacer que las circunferencias se corten en un punto.

SEGMENTOS QUE LO INTEGRAN.

El sistema GPS se puede considerar que se compone de tres partes bien diferenciadas.

La descripción del sistema GPS se rige la división usual para satélites de navegación:

- Segmento espacial. con satélites activos.
- Segmento de control. para el control del sistema y del tiempo así como también para la predicción de las órbitas.
- Segmento del usuario. con diferentes tipos de receptores.

En la ex Unión Soviética (hoy en día principalmente Rusia) se está desarrollando el sistema GLONASS, el cual es muy similar a GPS. GLONASS es considerado como un sistema complementario a GPS para aplicaciones futuras.

SEGMENTO ESPACIAL.

Los satélites están situados en órbitas casi circulares en seis planos orbitales, con una inclinación orbital de 550 inicialmente. 630 de inclinación finalmente respecto del Ecuador en 6 órbitas (A, B, C, D, E, F). La altitud orbital es de aproximadamente 20200 km., correspondiendo a los 26600 km. del semieje mayor. El periodo orbital es de exactamente 12 horas, medido en tiempo sideral, lo cual implica que esta constelación se repita cada día con una antelación de cuatro minutos respecto al tiempo universal. La disposición de satélites en la constelación completa, llamada constelación básica de 21 satélites (21 primary satellite constellation). La posición orbital de cada satélite en uno de los seis planos orbitales A hasta F está indicada por su número posicional. La separación en la ascensión recta del nodo ascendente entre dos planos orbitales es de 600. Se distinguen tres tipos de satélites.

Con la constelación definitiva, actualmente en curso (hay 21 satélites operativos, y 3 de repuesto) habrán en cualquier punto y momento entre 6 y 11 satélites observables con geometría favorable.

BLOQUES.

Se han planificado tres generaciones: el bloque 1 experimental o de desarrollo fuera de servicio, el bloque II y el II R en curso.

Once satélites del Bloque 1, NAVSTAR 1 hasta 11, fueron puestos en dos planos orbitales con 630 de inclinación, entre los años 1978 y 1985. Uno de ellos estaba



KOLLNER LABRAÑA & CIA. LTDA

Servicio Técnico SOKKIA
Laboratorio de Calibración
Arriendo y Venta

todavía en funcionamiento en junio de 1994. Una ventaja de los satélites prototipos es que no permiten una manipulación intencional de las señales de navegación (SA, AS).

El primer satélite de producción del bloque II fue lanzado en febrero de 1989.

En total 28 satélites operacionales del bloque II han sido planeados para apoyar la configuración de satélites 21 + 3. A partir de noviembre de 1989 se empezó a utilizar una versión ligeramente modificada del bloque IIA que se compone de satélites más pesados con sistemas redundantes.

La vida útil proyectada de los satélites operacionales del bloque II es de 7.5 años. La próxima generación, planificada para 1995, ya está siendo desarrollada. Veinte satélites de repuesto, llamados satélites del bloque JIR, van a reemplazar a los satélites actuales del bloque II cuando sea necesario.

La energía eléctrica es generada por dos paneles de celdas solares con una superficie de 7.2 m² cada uno. Cada satélite pesa 845 kg y tiene un sistema de propulsión para la estabilización posicional y para maniobras orbitales.

Cada satélite de producción del bloque II tiene dos patrones de frecuencia cesio y dos patrones de frecuencia rubidio. Las dos frecuencias portadoras en la banda L son derivadas coherentemente de la frecuencia fundamental de 10,23 MHz.

$$L1: 154 \times 10,23 \text{ MHz} = 1\,575,42 \text{ MHz} (= 19,05 \text{ cm})$$

$$L2: 120 \times 10,23 \text{ MHz} = 1\,227,60 \text{ MHz} (= 24,45 \text{ cm}).$$

Cada satélite transmite señales en ambas frecuencias, siendo éstas, las señales de navegación (códigos), y los datos de navegación y sistema (mensaje). Los códigos son modulados sobre la frecuencia portadora en forma de secuencias llamadas ruido pseudoaleatorio ("pseudo random noise") (PRN).

La señal L1 contiene los dos códigos: el código de alta precisión P y el código menos preciso CIA. La señal L2 contiene solamente el código P.

SATELITES.

A los satélites GPS se los identifica por dos esquemas de numeración distintos, el número de vehículo espacial SVN (Space Vehicle Number) basado en la secuencia de lanzamiento y el número seudocasual- PRN (Pseudo Random Noise) relacionado con la configuración orbital y con el segmento particular PRN asignado al satélite individual. A partir de SVN 14 (ambos esquemas de numeración son idénticos).

El desastre del transbordador Challenger en Enero de 1986 retrasó el lanzamiento del bloque II, cuyos satélites, empezados a fabricar en 1982, hubieran debido de completar la constelación en 1990, posteriormente se lanzaron con cohete MLV (Medium Launch Vehicle) Delta II. Todos incorporan reloj atómico. bloque II R, cuyos satélites forman parte de todos los satélites de repuesto y de sustitución.

Todos se recargan mediante paneles solares y acumuladores de níquel cadmio, que les permiten el funcionamiento mientras el satélite pasa por la sombra de la tierra.

RELOJES U OSCILADORES.

Para la fuente de frecuencia a bordo de un satélite, la terminología GPS adopta el



KOLLNER LABRAÑA & CIA. LTDA

Servicio Técnico SOKKIA
Laboratorio de Calibración
Arriendo y Venta

término reloj (clock) en lugar del más habitual de oscilador.

El funcionamiento de un reloj u oscilador atómico se basa en la transición descendente entre niveles de energía de átomos concretos que han sufrido una excitación previa. La transición produce una oscilación de frecuencia muy precisa y estable.

La precisión de un oscilador, su estabilidad, se caracteriza por dos valores: short term stability (estabilidad a corto periodo) y long term stability (estabilidad a largo periodo). La estabilidad a largo periodo se mide sobre un año y realmente representa la deriva del oscilador.

La estabilidad a corto periodo se mide sobre un segundo y realmente representa la dispersión de los valores de frecuencia o anchura de banda.

Los relojes de los satélites son osciladores atómicos, que pueden ser de rubidio, con precisiones de 10-12, o de cesio, de 10-13, hoy en día son osciladores atómicos de hidrogeno, con precisiones de 10-14 incluso de 10-15.

Debe reflexionarse qué representa una precisión de 10-13 como la mencionada:

10-13 segundos es lo que la luz invierte en recorrer 30 milésimas de milímetro, y esa precisión representa una variación de un segundo en 300000 años.

El reloj u oscilador de servicio de un satélite CJPS provee una frecuencia fundamental de 10.23 MHz sobre la que se estructura todo el conjunto de la señal radiodifundida por el satélite.

TIEMPO.

Para describir cuál es la escala de tiempo usada en GPS, que no coincide exactamente con ninguna de las actuales definidas y utilizadas, partamos de la definición de Tiempo Universal UT que genéricamente es el tiempo medio referido al meridiano de Greenwich.

El UTO es el tiempo universal deducido directamente a partir de observaciones estelares y considerando la diferencia entre día universal y sidéreo de 3 minutos 56.555 segundos.

El UT1 es el UTO corregido de la componente rotacional inducida por el movimiento del polo.

El UT2 es el UT1 corregido por variantes de corto período y estacionales en la velocidad de rotación de la Tierra.

Esta escala es equivalente a la GMT (Greenwich Mean Time).

El tiempo atómico internacional TAI es una escala de tiempo continuo y constante. Su unidad es el segundo atómico. definido como unidad del vigente Sistema Internacional.

En 1961 se introdujo el Tiempo Universal Coordinado UTC. Es un tiempo atómico uniforme, cuya unidad es el segundo atómico.

Es prácticamente equivalente al UT2, al que se aproxima muchísimo mediante pequeñas correcciones de +1 o -1 segundo, llamados segundos intercalares ("leap second"), motivados por irregularidades de hasta varios milisegundos diarios en el período de rotación de la Tierra.

El US Naval Observatory (USNO) dispone de 25 relojes atómicos que contribuyen a la definición del TAJ. Con sus relojes establece su propia escala interna de tiempo



KOLLNER LABRAÑA & CIA. LTDA

Servicio Técnico SOKKIA
Laboratorio de Calibración
Arriendo y Venta

atómico UTC, identificada como UTC (USNO).

En técnica de satélites es lógico usar una escala uniforme independiente de las variaciones rotacionales terrestres, dado que el movimiento de aquellos no depende de éstas. Para ello, el USNO también establece otra escala de tiempo atómico, que se llama GPS Time, cuya unidad es el segundo atómico internacional.

El origen de la escala GPS se fijó como coincidente con el UTC a las 0 horas del 6 de Enero de 1980. Como en ese momento el TAJ difería del UTC en 19 segundos, el GPS Time es equivalente al TAJ menos 19 segundos, y así ha de mantenerse, dado que ambas escalas son atómicas y uniformes y por tanto paralelas.

La diferencia entre el GPS Time y el UTC, de cero segundos el 6 de Enero de 1980, va siendo modificada por los "leap second". Su estado al comienzo de 1991. Por ejemplo, era de +7 segundos.

Un momento cualquiera en las técnicas GPS se identifica por el número de segundos transcurrido desde la precedente medianoche entre Sábado y Domingo, y el número de la semana GPS, que comenzó en el cero el 6 de Enero de 1980, siguiendo una numeración ascendente consecutiva.

PORTADORAS.

El reloj oscilador provee una frecuencia fundamental de 10.23 MHz sobre la que se estructura todo el conjunto de la señal radiodifundida por el satélite.

El satélite emite sobre dos portadoras: una es el resultado de multiplicar la fundamental por 154: 1575.42 MHz que es llamada U. La otra usa un factor 120: 1227.60 MHz y se llama L2. La "L" es porque los valores usados están en la banda L de radiofrecuencias que abarca desde 1 GHz a 2 GHz (1000 MHz a 2000 MHz).

El hecho de usar las dos frecuencias permite determinar por comparación de sus retardos diferentes, el retardo ionosférico, difícilmente predecible por lo que no se puede establecer un modelo matemático suficientemente preciso.

El retardo en el vacío es perfectamente estable y el troposférico no ofrece dificultad tomando parámetros meteorológicos, atmosféricos, radiométricos y creando un modelo matemático.

154* fundamental 1575.62 MHz. $\lambda = 19.05$ cm CIA (1.023 MHz) P (10.23 MHz)

120* fundamental 1227.60 MHz. $\lambda = 24.45$ cm P (10.23 MHz)

L3 Para inserción de datos a los satélites, 135* fundamental 1381.05 MHz.

CODIGOS.

Sobre las portadoras L1 y L2 se envía información como señales moduladoras:

Dos códigos y un mensaje, generados también a partir de la frecuencia fundamental. El primer código llamado C/A (Course/Adquisition) o S (Standard) es una moduladora usando la frecuencia fundamental dividida por 10, o sea de 1.023 MHz. El segundo código llamado P (Precise) modula directamente con la fundamental de 10.23 MHz.



KOLLNER LABRAÑA & CIA. LTDA

Servicio Técnico SOKKIA
Laboratorio de Calibración
Arriendo y Venta

Finalmente el mensaje se envía con la baja frecuencia de 50 Hz.

Los códigos sirven fundamentalmente para posicionamiento absoluto y son usados principalmente en navegación.

El C/A ofrece precisiones nominales decamétricas y se usa en el posicionamiento estándar SPS (Standard Positioning Service). El P (o su equivalente secreto Y) ofrece precisiones nominales métricas y se usa en el posicionamiento preciso PPS (Precise Positioning Service). El mensaje aporta toda la información necesaria para los usuarios del sistema.

La modulación de las portadoras con estos códigos (mediante modulación binaria bifase) genera un ruido que aparentemente no sigue ninguna ley y parece aleatorio, pero en realidad sus secuencias están establecidas mediante unos desarrollos polinómicos, el ruido se llama pseudoaleatorio (Pseudo Random Noise - PRLN) y puede correlarse con una réplica generada por el receptor en Tierra.

Cada código tiene una configuración propia para cada satélite en particular y constituye el PRN característico con que este es identificado.

Sobre ambas portadoras se modula el código P y el mensaje sobre la L1, además se modula el código C/A.

Para controlar las altas precisiones que permite en navegación el código P por ejemplo, para guiado de misiles) y evitar que medios hostiles puedan usarlo en momentos de crisis militar, es posible convertir el código P en el Y, inutilizable, a no ser que se posea el adecuado dispositivo decodificador, reservado a las fuerzas militares estadounidenses y aliadas. Esta técnica se llama antispoofing (AS).

MENSAJE.

El mensaje, modulado sobre ambas portadoras, tiene una duración de 12 minutos 30 segundos.

SE compone de 25 grupos de 1500 bites cada uno, transmitidos a una velocidad de 50 baudios (bites/s) que equivalen a 30 s. cada grupo.

El mensaje contiene las efemérides radiodifundidas que se usan para la obtención de resultados, un modelo ionosférico para usuarios monofrecuencia. El almanaque (que es una información expedita de las órbitas de todos los satélites y que se usa para planificar observaciones), el estado de relojes de los satélites, la condición de cada satélite (llamada salud, Health en terminología GPS: puede estar sano o enfermo, OK o UNHEALTHY), la antigüedad de la información transmitida y otras indicaciones.

Para limitar la precisión alcanzable en navegación formal, utilizando el código C/A, existe una manipulación, llamada Disponibilidad Selectiva (Selective Availability – S/A), que consiste en una degradación intencionada de la exactitud de las efemérides y de los estados de reloj o sincronismos de tiempo.

SEGMENTO DE CONTROL.

Segmento de Control - El segmento de control tiene la función de:



KOLLNER LABRAÑA & CIA. LTDA

Servicio Técnico SOKKIA
Laboratorio de Calibración
Arriendo y Venta

- Supervisar y controlar continuamente el sistema de satélites.
- Determinar el tiempo del sistema GPS.
- Predecir las efemérides satélites y el comportamiento de los osciladores en los satélites.
- Actualizar periódicamente la información de navegación para cada satélite en particular.

El segmento de control comprende la estación central de control (MCA "Master Control Station"), estaciones de supervisión (MS "Monitor Stations") distribuidas por todo el mundo y antenas terrestres (GA ground antennas) que tienen la función de cargar datos a los satélites.

En el sistema GPS, el segmento de control operacional (OCS "Operational Control Segment") está constituido por la estación central de control ("Master Control Station") cerca de Colorado Springs (EE.UU.), tres estaciones supervisoras ("Monitor Station") y antenas terrestres ("Ground Antennas") en Kwajaletn, Ascensión y Diego García, así como dos estaciones de supervisión ("Monitor Stations") adicionales en Colorado Springs y Hawaii.

Las estaciones monitor reciben todas las señales satélites y basándose en estos datos la estación máster control precomputa las efemérides de los satélites y el comportamiento de los relojes en los satélites, formulando los datos de navegación (mensaje). Los datos del mensaje son transmitidos a las antenas terrestres y enlazados por banda S con los satélites visibles.

El tiempo del sistema GPS se define por el oscilador de cesio de la estación monitor seleccionada. Para esta estación no se deriva ningún parámetro de reloj.

Están regularmente espaciadas en longitud y tienen coordenadas muy precisas.

SEGMENTO DE USUARIO.

Son los instrumentos utilizados para hallar coordenadas de un punto, hacer navegación o adquirir tiempos con precisión de oscilador atómico, usando las señales radiodifundidas desde los satélites.

El equipo esencial esta compuesto por una antena y un receptor unidos por un cable o unidos directamente.

ANTENA.

La antena consta de una antena receptora, un preamplificador y una bancada de estacionamiento.

La función de la antena es convertir una corriente electiva en una radiación electromagnética y viceversa.

El punto que realmente se posiciona es el centro radioeléctrico de la antena, que no coincide con el centro mecánico o físico, generándose un residuo por excentricidad.

Un elemento común en todas las antenas es el conocido como plano de tierra que evita la recepción de señales reflejadas en el suelo o en objetos cercanos, que empeorarían la calidad de la observación G.P.S.



KOLLNER LABRAÑA & CIA. LTDA

Servicio Técnico SOKKIA
Laboratorio de Calibración
Arriendo y Venta

RECEPTOR.

El receptor consta de una sección de recepción de radiofrecuencias, un procesador interno con software, una unidad de memoria magnética, teclado de control, pantalla de comunicación y teclado y siempre dos tomas de alimentación exterior.

Dependiendo de los modelos de receptor dentro de las opciones que nos ofrecen las diferentes pantallas, menús y zumbones hay diferencias, aunque casi todos ellos suelen disponer de las siguientes informaciones o utilidades.

- Tiempo transcurrido desde el encendido hasta la fijación de hora al recibir el primer satélite.
- Satélites en seguimiento. Acimut y elevación de satélite en seguimiento.
- Relación señal/ruido.

BONDAD DE LAS OBSERVACIONES.

En las técnicas GPS se consideran dos contribuciones diferentes al error previsible:

UERE y DOP.

Siguiendo la normalización propuesta por Paradisis y Wells, sus descripciones son:

- EURE.
- DOP.
- UERE (User Equivalenty Range Error - error equivalente en la distancia por el usuario): es la contribución al error en la medida de la distancia producida por una sola fuente de error, suponiendo que la fuente de error no está correlada con las otras fuentes de error.

Las fuentes individuales citadas son incertidumbres de efemérides, errores de propagación, marcha y estado de relojes y ruido de recepción.

Con un mismo equipo, podemos tener un UERE desfavorable un día que haya tormentas eléctricas, por ejemplo.

En un símil, puramente didáctico, correspondería a la precisión con que mediríamos los ángulos en una triangulación, dependiendo de la apreciación angular del instrumento que usáramos, del método de observación empleado, de la visibilidad existente, del observador, etc.

- DOP (Dilution Of Precision - dilución de precisión): es la contribución puramente geométrica a la incertidumbre de un posicionamiento.

Es un valor aritmético descriptivo de la "solidez" de la figura observable distanciométricamente constituida por el receptor y los vectores que determinan con los satélites a la vista. Su valor ideal es 1, y si la geometría empeora, el valor aumenta, llegándose a producir un outage o situación en la que, aunque haya sobrados satélites a la vista, deba suspenderse la observación porque el DOP llegue a exceder de cierto valor preestablecido, como 6, por ejemplo, como límite habitualmente empleado.

Realmente el DOP es un factor por el que debe ser multiplicado el error obtenido en las determinaciones de distancias a los satélites, para establecer el correspondiente error final de posicionamiento.



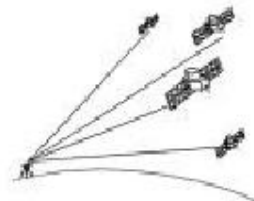
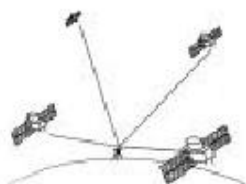
KOLLNER LABRAÑA & CIA. LTDA

Servicio Técnico SOKKIA
Laboratorio de Calibración
Arriendo y Venta

En la misma analogía antes mencionada de una triangulación clásica, correspondería a lo cercanos a 60 que fuesen los ángulos, cuanto más se separase el ángulo de 60, mayor sería el DOP. En una trisección inversa, el "DOP" sería muy grande si los vértices observados estuvieran agrupados y lejanos e infinito si estuvieran contenidos en el círculo peligroso, que como sabemos es la situación en la que los vértices observados y el de estación están contenidos en una circunferencia, no tiene solución por numerosos que fueran los vértices, dado que sus arcos capaces se superpondrían.

Los DOP más usados en GPS son:

- GDOP (Geometría)- Tres coordenadas de posición y estado de reloj.
- PDOP (Posición)- Tres coordenadas de posición.
- HDOP (Horizontal)- Dos coordenadas de precisión planimétrica.
- VDOP (Vertical)- Sólo altitud.
- TDOP (Tiempo)- Sólo estado de reloj.



Ejemplos de buen PDOP y mal PDOP

Para cada aplicación podría definirse su correspondiente DOP, según el efecto de la geometría de la observación en el tipo de medidas buscado. Los más en nuestras técnicas son PDOP, HDOP y VDOP.

COMO SE NOMBRAN LOS FICHEROS GPS.

Los ficheros en algunos receptores se forman a partir del número serie del receptor más (cuatro cifras), día natural del año es decir numero de días desde que empezó el año, Sesión empezando por la cero hasta la Z, automáticamente desde que se empiezan a abrir ficheros.

Nº SERIE RECEPTOR	Día (1 de febrero)	sesión
1652	032	0
1652	032	1

Podemos utilizar los cuatro primeros caracteres para renombrar los distintos ficheros.