

Calidad de la señal GPS para estaciones DGPS de bajo coste.

Pedro A. Revenga de Toro, Rafael Cambralla Diana, Ismael Senés García.

Dptos. de Electrónica y Teoría de la Señal de la E.P de la Universidad de Alcalá. 28806 Madrid. SPAIN

email: pedro.revenga@uah.es, rafael.cambralla@uah.es

Resumen

Trabajo basado en nuestra experiencia al desarrollar una estación base para GPS diferencial, utilizando receptores de código C/A de bajo coste y obteniéndose una precisión 2σ de 2m., partiendo de receptores que sean capaces de proporcionar (en L1 C/A) cadenas de datos de efemérides, pseudorángos y tiempo GPS. Con estos datos se diseñó una estación base de GPS diferencial (DGPS) capaz de generar correcciones según el estándar RTCM-104 tipo 1; además se pueden realizar correcciones diferenciales no sólo en tiempo real, también en la estación base en postproceso. Para dichos cálculos se utiliza un algoritmo de corrección aplicable a las pseudodistancias ayudándose de la fase de la portadora recibida. Después de la eliminación de la SA¹, las correcciones más influyentes para los cálculos son las ionosféricas.

1. Introducción

El sistema de **Posicionamiento Global por Satélite** (GPS) se basa en una constelación de 24 satélites que orbitan la tierra a gran altitud (20162.62Km desde la superficie de la tierra sobre un radio de 6378.137Km) y con un periodo orbital de 12-h tiempo sideral, y se distribuyen en seis planos orbitales con 55° de inclinación sobre el ecuador.

Los satélites transmiten señales precisas **GPS** en dos bandas L, 1.57542Ghz y 1.22676Ghz (L1 y L2 respectivamente), estas señales deben transmitir dentro de ellas en forma de mensaje de navegación tanto el tiempo preciso **GPS** como la posición del satélite, de modo que el receptor del usuario pueda determinar el tiempo del satélite t_{si} y la posición del satélite r_{si} en el instante de la transmisión. Estos datos de navegación son transmitidos al satélite por el segmento de control (**CS**) utilizando una banda **S** a cada satélite como parámetros de efemérides, que permiten conocer la posición del satélite en función del tiempo. Se incluye también una corrección para el error del reloj del satélite relativo al tiempo GPS. Se necesitan relojes extremadamente precisos a bordo de los satélites y la mayor parte de ellos son relojes atómicos de rubidio, de cesio, o de hidrógeno.

La señal generada de 10.23Mhz en el satélite (t_{clk}) y sincronizada con el tiempo GPS se utiliza para generar las señales L1 ($154 \times t_{clk}$) y L2 ($120 \times t_{clk}$). Estas señales son moduladas en espectro expandido, de forma que el nivel de la señal y sus características se han elegido para que los efectos de propagación, atenuación ionosférica y otros factores permitan recibirla en cualquier circunstancia meteorológica. El nivel de señal recibido es del orden de -160dBW (antena de 3dB de polarización circular).

¹SA disponibilidad selectiva son los errores intencionados añadidos por el gobierno de EEUU

Fuente de error	error 1- σ (m)			
	Bias	Rand	Tot	T SA
Datos de efemérides	2.1	0.0	2.1	2.1
Reloj del satélite	2.0	0.7	2.1	20
Ionosfera	4.0	0.5	4.0	4.0
Troposfera	0.5	0.5	0.7	0.7
Multitrayecto	1.0	1.0	1.4	1.4
Errores en el receptor	0.5	0.2	0.5	0.5
Error de pseudorango(rms)	5.1	1.4	5.3	20.6
Error filtrado	5.1	0.4	5.1	20.5
Er vertical 1-σ VDOP=2.5			12.8	51.4
Er horizontal 1-σ HDOP=2.0			10.2	41.4

Tabla 1: Modelo estándar de error sin SA

2. DGPS de área local con corrección de código

El sistema DGPS de área local consiste en el cálculo de la corrección por parte de una estación de posición conocida, y la posterior retransmisión, por un enlace de datos, de esa corrección al móvil. Este móvil aplica la corrección de la pseudodistancia para cada uno de los satélites visibles y comunes entre las dos estaciones, mejorando la estimación final en el cálculo de la posición. Los errores que se eliminan son los comunes.

Es muy útil representar los errores esperados por el usuario de manera que permitan un análisis de la precisión del sistema diferencial. Estos errores pueden ser correlados o incorrelados entre receptores distintos. Los distintos análisis de los posibles escenarios estándar de error en el modo SPS (sin aplicar correcciones) se muestran en la tabla 1 estando SA activada y SA desactivada, respectivamente. Sólo los errores correlados se pueden corregir con DGPS. Hay que tener en cuenta que los errores correlados pueden perder esta característica si se aplican a un receptor tarde (decorrelación temporal) o a mucha distancia de la estación de referencia (decorrelación espacial).

2.1. Calidad de la señal GPS necesaria.

La señal GPS recibida con una potencia de -160dbW es recuperada conociendo el código modulador, si el ruido impulsivo añadido y la atenuación debido a condiciones atmosféricas no lo imposibilita. Al resultado de multiplicar la diferencia de tiempos entre el reloj del receptor y el del satélite por la velocidad de la luz WGS-84² se le denomina pseudorango, y se expresa según la ecuación: $\rho = c * (t_{Au} - t_{Ts})$ siendo t_{Au} tiempo de llegada del mensaje del satélite medido por el usuario y t_{Ts} tiempo de transmisión del mensaje tal y como figura en el men-

²la velocidad de la luz en el sistema WGS-84 es exactamente de $c = 2.99792458 * 10^8 m/s$, y este como otros parámetros del sistema es muy necesario utilizar los valores exactos. Estos datos figuran en el documento[3]

saje de navegación, esto es, sin corregir. Para cada satélite tendremos una ecuación similar, no olvidemos que necesitamos al menos cuatro medidas para calcular una posición 3D y corregir nuestro reloj desfasado. Este pseudorange medido, es igual a la distancia geométrica D desde el usuario u al satélite s mas un desplazamiento desconocido entre el reloj del usuario b_u y el reloj del satélite B_s , siendo la ionosfera I , la troposfera T , y el ruido, el multitrayecto y los errores de interferencia entre canales en el receptor del usuario, ν .

$$\rho = D + c * (b_u - B) + c * (T + I + \nu) \quad (1)$$

La distancia geométrica se calcula (en coordenadas xyz ECEF³)

$$D = \sqrt{(x_s - x_u)^2 + (y_s - y_u)^2 + (z_s - z_u)^2} = |\overline{r}_s - \overline{r}_u| \quad (2)$$

donde \overline{r}_s es la posición del satélite s (incluida en el mensaje); \overline{r}_u es la posición real del usuario ; y \overline{I}_s es el vector unitario del usuario al satélites. El pseudorange de la ecuación 1 debe ajustarse para conformar el pseudorange corregido. Esto se consigue restando a la medida unas estimaciones de algunos de los errores:

$$\rho_{c_{u,s}} = \rho_{u,s} + c * \widehat{B}_s - c * (\widehat{T}_s - \widehat{I}_s) \quad (3)$$

donde $\widehat{}$ se utiliza para indicar que son valores estimados. Un usuario sin DGPS utiliza cuatro o más medidas y escribe la siguiente ecuación matricial:

$$G\widehat{x} = (A * \overline{R} - \overline{\rho}_c) \quad (4)$$

G se obtiene como las direcciones estimadas a cada uno de los satélites . A es la matriz de posiciones de los satélites calculada a partir del mensaje de navegación y ρ_c es el pseudorange corregido a cada satélite expresado como vector. Si derivamos la expresión y la reordenamos:

$$\Delta\widehat{x} = (G^T G)^{-1} G^T \Delta\overline{\rho} \quad (5)$$

El propósito de un sistema DGPS es el de minimizar el error de pseudodistancia, de forma que cuanto mas precisa sea está, mejor será la solución obtenida.

La señal transmitida se ve afectada actualmente en su trayectoria por errores cometidos en la estimación de la propagación ionosférica, ya que los errores intencionados de SA se eliminaron y como se observa en la tabla 1, el error predominante es el de propagación por la ionosfera.

La señal recibida es de mejor calidad de noche que de día, debido a que el sol introduce una cantidad apreciable de ruido en la ionosfera, y además el error es menor cuando el satélite se encuentra en la vertical y aumenta conforme se sitúa en ángulos de elevación pequeños.

³El sistema geométrico ECEF es un sistema de coordenadas geocéntrico y que rota con la tierra, esto es es fijo a la tierra y además se asocia también al sistema WGS-84 de coordenadas y dimensiones según figura en el documento [?]

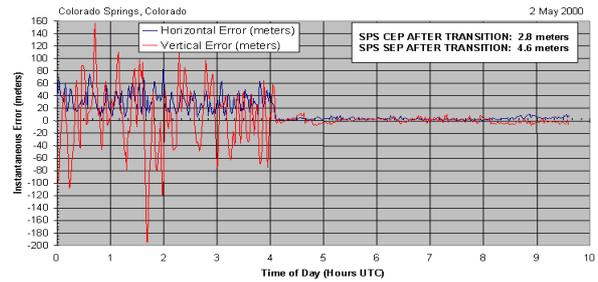


Figura 1: Eliminación de la SA

2.2. Conclusiones

Las condiciones atmosféricas en la troposfera no influyen de una forma significativa, excepto en dos situaciones, cuando existe una tormenta eléctrica local con gran número de descargas eléctricas y cuando la lluvia es muy intensa (superior a 50 litros/m2 en 1 hora). Estas dos circunstancias se produjeron durante las pruebas del sistema impidiendo la recepción de la señal. El receptor se saturaba de perturbaciones y los datos proporcionados eran extrapolaciones de las pseudodistancias anteriores. El impulso electromagnético generado por el rayo, ocasionaba pérdidas de ciclos en las mediciones mediante la fase de la portadora. En casos de lluvia muy intensa se produce una atenuación que en algunos casos ocasiona la pérdida de la señal por deterioro de la potencia recibida, la señal baja a -170dBm y la mayor parte de los receptores no son capaces de recuperar la información. Estos casos de lluvia intensa no se producen con mucha frecuencia y además la pérdida de señal se produce cuando el centro de la nube se sitúa en la línea de visión del satélite. Téngase en cuenta que el emisor se observa como una fuente puntual, y que cualquier obstáculo en la línea de visión interrumpe la señal. Los obstáculos móviles de alta velocidad como un avión, ocultan esta señal durante un tiempo muy pequeño, pero una nube interrumpe la señal durante un tiempo de unos 40 o 60 segundos, tiempo muy superior.

Por tanto la estación de referencia desarrollada permite la corrección, tanto en tiempo real, como en postproceso y permite obtener resultados buenos, con un equipo de bajo coste. La eliminación de la SA permite que muchos equipos consigan precisiones altas y permiten extender el campo de aplicación del GPS.

Referencias

- [1] Numerical Recipes in C: The art of scientific Computing (ISBN-0-521-43108-5). 1988-1992 Cambridge University Press.
- [2] Changdon Kee, Bradford W. Parkinson. Wide Area Differential GPS..Stanford University. Stanford, California.1991.Journal of the Institute of Navigation. Vol 38. No2.Summer 1991.
- [3] ICD-200. <http://www.usno.mil>