

Recepción de señales de satélites GPS

A. Pérez Gómez¹, V. H. Ríos^{1,2}, J. F. Lagori¹ y G.A. Mansilla¹

¹Grupo de Geodesia Satelitaria de Tucumán, Instituto de Física,
Universidad Nacional de Tucumán, Argentina.

² CONICET, Argentina

RESUMEN

Este trabajo surge como una inquietud de un grupo de profesionales en el uso de una nueva e importante herramienta, la del Sistema de Posicionamiento Global conocido como GPS. Un satélite del sistema transmite dos portadoras de radiofrecuencia en la banda L, cuyas frecuencias son $L_1=1575.42$ MHz y $L_2=1227.6$ MHz, generadas a partir de la multiplicación de la frecuencia de un reloj patrón de Cesio (10.23 MHz). Estas portadoras son moduladas en fase por el mensaje de navegación (velocidad de transmisión=50 bps) y por dos códigos o secuencias binarias pseudoaleatorias denominadas P (10.23 MHz) y C/A (1.023 MHz). Una vez recibida la señal por la estación terrestre y luego del procesamiento de los datos se puede obtener una rica información. Por lo tanto una estación receptora debe constar de dos bloques o sistemas principales:

- (a) La antena y el receptor GPS propiamente dicho.
- (b) El sistema de adquisición, almacenamiento y procesamiento de datos.

Una primera etapa de nuestro trabajo es el estudio de las señales recibidas y entregadas por los diferentes tipos de receptores GPS y la posibilidad de adaptarlas mediante una interfase a un sistema del tipo (b), que se encuentra disponible de un proyecto anterior. Paralelamente se realiza un trabajo de costos y características de los receptores y antenas, disponibles en el mercado internacional.

PALABRAS CLAVE: comunicación por satélite, sistema de posicionamiento global.

ABSTRACT

This paper answers to the interest from our research group, in the use of the new and important tool, namely the Global Positioning System known as G.P.S. One of the satellite systems transmits two radio frequency carriers in the L band L_1 , at center frequency of 1575.42 MHz and L_2 at center frequency of 1227.6 MHz. These frequencies are coherently selected multiples of the 10.23 MHz standard Cs or Rb clock frequency. The two carriers are modulated in phase by a navigation message and by two pseudo-random binary codes or sequences called P (Precision Code) and C/A (Clear-Acquisition Code). After the signal has been received by the earth station, and the data processed, valuable information can be obtained. A receiver station should consists of the two main blocks or systems:

- (a) The actual G.P.S. receiver and antenna.
- (b) The data collecting, storing and processing system.

The first step in our research work is the study of the signal transmitted or received by the different types of G.P.S. receivers, and the possibility of adapting them by means of an interface to a system of the (b) type available from a previous project.

KEY WORDS: satellite communication, global positioning system.

INTRODUCCION

En una primera etapa nuestro grupo se abocó al estudio de: a) las señales emitidas por los satélites del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) y b) el diseño, a nivel bloques, de una futura estación receptora en la provincia de Tucumán.

A continuación se detalla la información analizada: El sistema GPS contará con 18 satélites en 6 órbitas casi circulares a unos 20,200 km de altura sobre la superficie terrestre. Estarán distribuidos en planos orbitales con inclinaciones de 55° y a razón de tres satélites por plano orbital. Los satélites describirán dos órbitas por día sidéreo con una velocidad tangencial de 3.9 km/s aproximadamente. Esta configuración es tal que, desde cualquier punto so-

bre la superficie terrestre, será posible observar simultáneamente 4 satélites. Se necesita además contar con el software necesario para la determinación aproximada de las órbitas de los satélites.

Un satélite transmite dos portadoras en la banda L, cuyas frecuencias son $L_1=1575.42$ MHz y $L_2=1227.6$ MHz, generadas a partir de la multiplicación de la frecuencia patrón de un reloj de Cesio o Rubidio (10.23 MHz) (Fig. 1).

Las portadoras L_1 y L_2 son moduladas en fase por el mensaje de navegación cuya velocidad se fijó en 50 bps, y por dos secuencias binarias pseudoaleatorias denominadas P(10.23 MHz) y C/A (1.023 MHz).

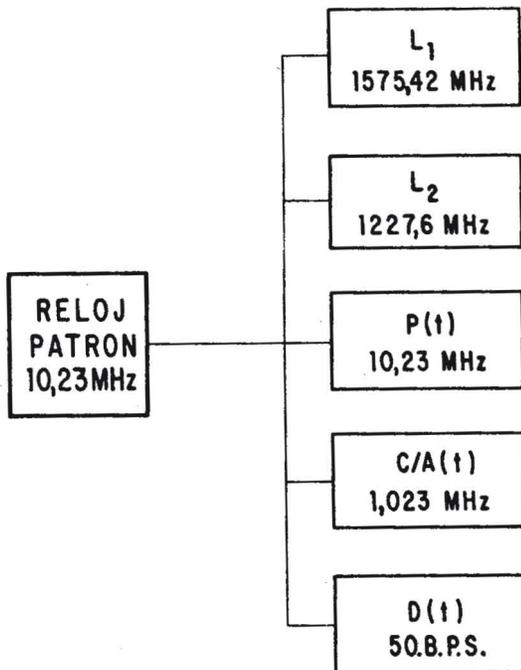


Fig. 1. Obtención de frecuencias a partir de un reloj patrón de cesio o rubidio.

MENSAJE DE NAVEGACION

El mensaje de navegación de los satélites GPS es la vía por la cual el usuario (o su receptor) obtiene la información del sistema para finalmente encontrar la posición del vehículo especial.

El mensaje de navegación está dispuesto en una ventana de 1500 bits, dividida en 5 subventanas de 300 bits, que se transmiten en 6 seg cada una (1500 bits en 30 seg). Cada subventana consta de 10 palabras de 30 bits.

El mensaje de navegación D(t) transmitido por el satélite contiene los siguientes datos:

- 1) Información para recepción del código preciso.
- 2) Efemérides y corrección del reloj del satélite identificado.
- 3) Efemérides de todos los satélites.
- 4) Mensaje alfanumérico para futuras aplicaciones.
- 5) Almanaque de todos los satélites.

CODIGO P

El código binario preciso P se transmite con una frecuencia de 10.23 MHz y su período entre transiciones es de 97.7 ns, equivalentes a 29.3 m a la velocidad de la luz. Esta información es de uso militar exclusivo. Se obtiene multiplicando otras dos ligeramente diferentes. La secuencia resultante tiene un período de aproximadamente 267 días, con tramos semanales reconocibles, lo que permite disponer de 37 códigos asignables a distintos satélites.

CODIGOS C/A

El código binario de acceso rápido (C/A) con una frecuencia de 1.023 MHz y un período entre transiciones de 977 ns, equivalentes a 293 m a la velocidad de la luz, es para uso civil o comercial. Esta secuencia tiene una duración de 1 mseg.

CARACTERISTICAS DE LA SEÑAL TRANSMITIDA

La señal transmitida es relativamente débil (10^{-13} mW - 130 dBm) y viene enmascarada por el elevado valor del ruido térmico ($\sim 165 \times 10^{-13}$ mW - 108 dBm) siendo la relación señal-ruido a 600° K y 1 MHz igual a -22 dB. Recordemos que la modulación con código de alta frecuencia produce el ensanchamiento del espectro (spreading) y que las antenas receptoras omnidireccionales dan poca ganancia.

Las portadoras L₁ (1575.42)MHz, (T=0.635 ns) contienen el mensaje de navegación D(t) y los códigos P y C/A, mientras que L₂ (1227.60) MHz, (T=0.81 ns) contiene el mensaje de navegación D(t) y sólo el código preciso P.

La expresión correspondiente a forma de ondas de las señales transmitidas es:

$$SL_1 = A_1 \times P(t) * D(t) \cos W_1 t + 2A_2 \times G(t) * D(t) * \sin W_1 t$$

$$SL_2 = A_2 \times P(t) * D(t) \cos W_2 t$$

El espectro transmitido se muestra en la Fig. 2.

Se transmiten dos frecuencias portadoras para corregir el retardo producido por la ionosfera, que según datos aproximados, es proporcional a $1/2 * f$. Estas oscilan entre 10 ns (3m) en la noche y 50 ns (15m) de día.

La ventaja de usar modulación por corrimiento de fases (BPSK), por dos secuencias binarias pseudoaleatorias, es que, por sus propiedades, permite:

- a) El uso de las técnicas de correlación en el receptor para trabajar con niveles bajos de señal y mejorar el rechazo a interferencia.
- b) Identificar un satélite de otros, simultáneamente presentes en la antena del receptor.
- c) Medir el tiempo de propagación desde el satélite a la antena (Pseudo Range).
- d) Ocultar la información mediante el ensanchamiento del espectro transmitido (spreading), siendo accesible únicamente al usuario que tenga la clave de los códigos.

Las secuencias de los códigos P y C/A son distintas para cada satélite y deben ser conocidas por el receptor para

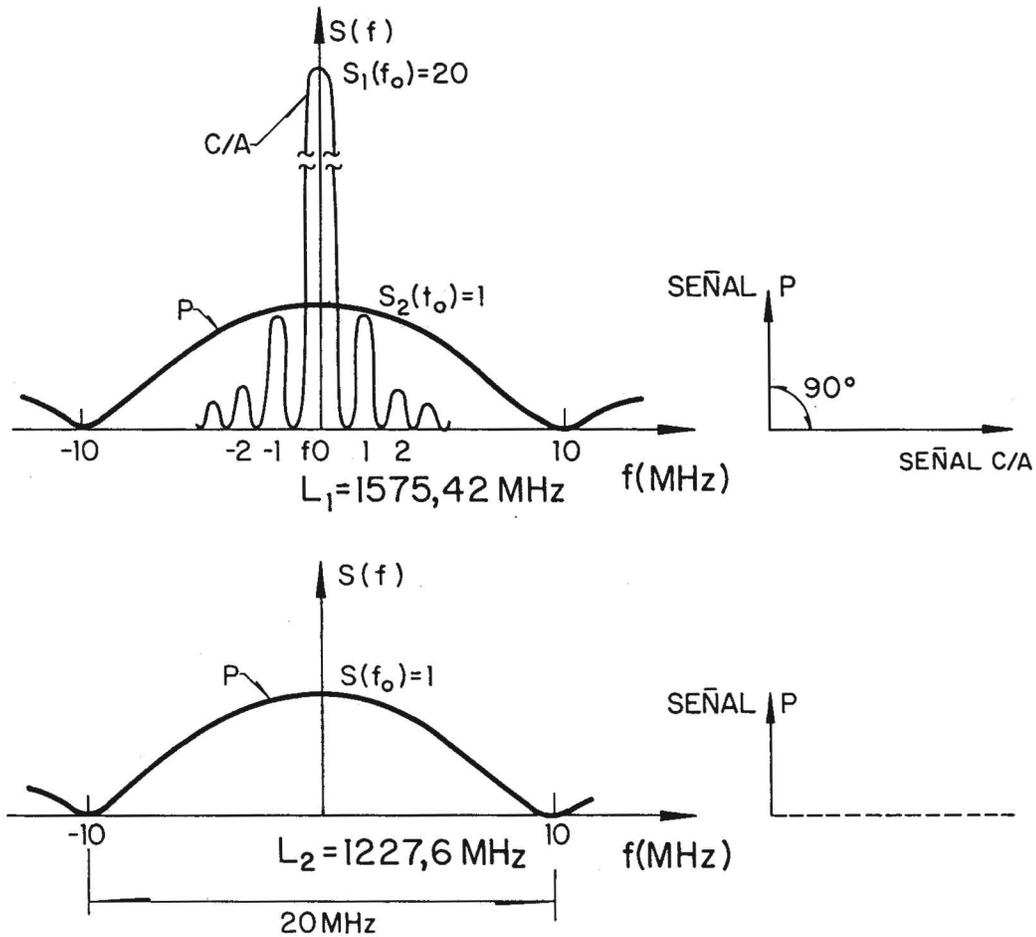


Fig. 2. Espectro y diagrama fasorial de la señal transmitida.

poder obtener la pseudodistancia y decodificar el mensaje de navegación.

COMPARACION DE LAS SEÑALES

En un bit del mensaje de navegación hay 200,000 transiciones del código P y 20,000 del C/A. Puesto que 1 bit se transmite en $t=1/50 \text{ seg} = 0.020 \text{ seg} = 20,000 \text{ ns}$ y el período para el código P es $T = 1/10.23 \times 10^6 \text{ seg} = 10^{-7} \text{ seg} = 10 \mu\text{s}$ y para el C/A $T=1/1.023 \times 10^6 \text{ seg} = 1 \mu\text{s}$.

Si estimamos el error de los correladores del receptor en 1/10 del tiempo de una transición del código utilizado, con el código P (100 ns/transición), se lograrían precisiones mejores que 3m (10ns), pero su complejidad protege su uso en aplicaciones estratégicas.

El código C/A es una secuencia pseudoaleatoria más lenta (1000 ns/transición), lográndose precisiones menores, del orden de 30 m (100 ns); pero permite un acceso más rápido, por ser más corta. Este código es de uso civil.

OBTENCION DE SECUENCIAS

Una secuencia puede obtenerse de la multiplicación de otras dos, ligeramente diferentes. La rapidez de la secuencia depende de la frecuencia del reloj que comanda el generador de la misma. Estas se obtienen básicamente usando un REGISTRADOR DE DESPLAZAMIENTO REALIMENTADO.

La repetición de una combinación de las salidas de los biestables marca el período de la secuencia. Cambiando estas salidas se obtiene la misma secuencia pero desplazada en el tiempo un número entero de transiciones.

PROPIEDADES DE AUTOCORRELACION PARA MEDIR PSEUDODISTANCIAS

Si multiplicamos una secuencia $S(t)$ por otra igual pero desplazada en el tiempo en n pulsos de reloj, obtenemos otra igual desplazada:

$$S'(t) = S(t) S(t+n) \quad (1)$$

La autocorrelación será en este caso

$$R(n) = \frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} S(t) S(t+n) dt \quad (2)$$

que corresponde al valor medio de la onda producto, vale +1 para $n=0$ y $\pm 1/T_s$ según que el número de pulsos positivos sea mayor o menor que el número de pulsos negativos para cualquier valor de n , entre $n=1$ y $n=T_s$. T_s equivale al número de transiciones en un período de la secuencia.

Esta propiedad nos permite construir un circuito (DLL) en el receptor, que genera una secuencia idéntica a la transmitida por el satélite, pero capaz de desplazarse en el tiempo buscando la correlación +1. Cuando la encuentra el sistema quedará "enganchado" de manera que esta secuencia es la misma que la anterior pero retrasada una cantidad que corresponde al tiempo de propagación (pseudodistancia).

La correlación entre secuencias distintas del mismo período da +1 para la gemela y es muy baja para las otras. Esto permite el reconocimiento del código correspondiente a un determinado satélite entre varios recepcionados simultáneamente.

SEÑAL RECEPCIONADA

La forma de onda de la señal en la antena de un receptor, suponiendo para simplificar, que transmite un solo satélite, es:

$$SR_1 = ARP(tr_1) D(tr_1) \cos_1 [(W_1+Wd_1)tr_1 + \phi_{1r}] + BRC/A$$

$$(tr_1) D(tr_1) \sin_1 [(W_1+Wd_1)tr_1 + \phi_{1r}]$$

$$SR_2 = ERP (tr_2) D(tr_2) \cos_1 [(W_2+Wd_2) tr_2 + \phi_{2r}]$$

W_1 y W_2 : frecuencia de las portadoras L_1 y L_2 .

AR, BR y ER: amplitudes relativa de las componentes

$Wd_1 = W_1 (1+v/c)$: corrimiento Doppler en L_1 .

$Wd_2 = W_2 (1+v/c)$: corrimiento Doppler en L_2 .

$tr_1 = t - T_1$: tiempo en el receptor, T_1 pseudodistancia para L_1 .

$tr_2 = t - T_2$: tiempo en el receptor, T_2 pseudodistancia para L_2 .

ϕ_{1r} y ϕ_{2r} : fases de la señal recepcionada para L_1 y L_2

P, C/A, D: códigos y mensajes de navegación.

De estos parámetros T_1 , T_2 , ϕ_{1r} , ϕ_{2r} , y el corrimiento Doppler son valores medibles por diferentes métodos obteniéndose distintas precisiones. Entre los receptores comerciales analizados se tienen distintas opciones para la medición y recepción de:

- Pseudodistancias para ambas portadoras
- Mensaje de navegación
- Coordenadas X_o , Y_o , Z_o de la estación receptora
- Tiempo GPS
- Corrimiento Doppler
- Fases de ambas portadoras
- Múltiple acceso de satélites simultáneamente
- Otras

Los receptores más sencillos no aptos para la navegación ofrecen sólo la fase de la portadora sin conocer los códigos; el precio de esta simplificación es resolver la ambigüedad de las mediciones de fase con recursos ajenos al receptor.

DISEÑO DE LA ESTACION RECEPTORA

Una estación receptora terrestre está compuesta por dos bloques fundamentales:

- 1) Antena y receptor propiamente dicho.
- 2) Sistema de adquisición, almacenamiento y procesamiento de la información.

Para su diseño se tuvo en cuenta las siguientes pautas:

- a) Elección del receptor adecuado a nuestros requerimientos, analizando desde el más simple al más sofisticado y teniendo en cuenta no sólo la cantidad o calidad de la información brindada al usuario, sino además los costos involucrados en ella.
- b) Estudio de posibilidades para su acoplamiento con sistemas convencionales de adquisición y almacenamiento de datos (Interfaces).

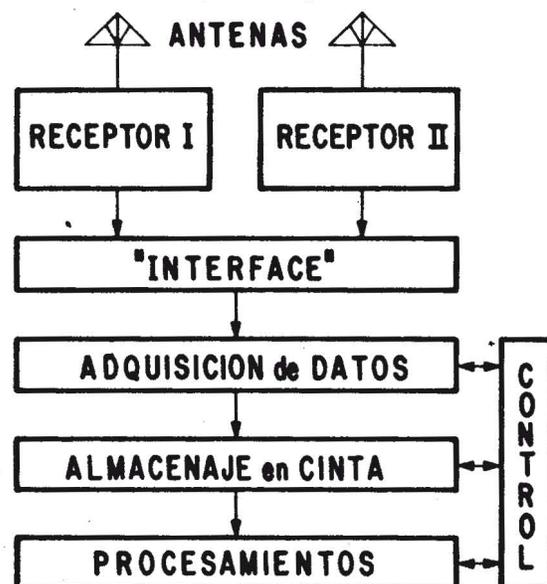


Fig. 3. Diagrama de bloques de una estación receptora GPS.

- c) Estudio y análisis de los métodos de procesamiento para lograr la máxima información con el mínimo error.

En la figura 3 se muestra, en diagramas de bloques, una estación receptora.

En estos momentos se hace el estudio para la compra de los receptores y antenas del sistema siguiendo los lineamientos antes enunciados, con el objeto de su futuro montaje en nuestra provincia.

CONCLUSIONES

- a) Este sistema constituye una poderosa herramienta para ser aplicada en un futuro cercano en el campo de la geodesia de alta precisión a nivel internacional y en la geofísica.
- b) De los primeros estudios y evaluaciones de la información que manejamos en comparación con los métodos de medición clásicos, el GPS aporta las ventajas siguientes:
- * No es necesaria la comunicación visual entre dos puntos.
 - * Independencia de las condiciones meteorológicas y se puede medir las 24 horas del día.
 - * Igual exactitud de posición para cada punto medido y elección de los mismos allí donde son necesarios.
 - * Posicionamiento diferencial de alta precisión.
- c) Los satélites transmiten dos portadoras con frecuencias en la banda L. Una de ellas (L_1) está centrada en 1575.42 MHz y la otra (L_2) en 1227.6 MHz. Estas son moduladas por dos señales binarias codificadas (BPSK)

conocidas como P y C/A. La señal $P_s = P \theta D(t)$ y $C/A = C/A \theta D(t)$ donde $D(t)$ es el mensaje de navegación.

- d) Las ventajas de la modulación por dos secuencias binarias pseudoaleatorias es que permite aplicar las técnicas de correlación en el receptor para trabajar con niveles muy bajos de señal y de la relación señal/ruido.
- e) GPS ofrece otra alternativa que es el aprovechamiento POD (Precise Orbit Determination) que continuamente cubre 4 o más satélites proveyendo la determinación de su posición geométrica y continuos datos de fase y distancias (range) típicos para linealizar los términos cinemáticos de mayor grado.

BIBLIOGRAPHY

- MAINE, R.E., 1982. A Marine NAVSTAR GPS receives. *Navigation*, 28, 4.
- SPIPKER, J.J., 1978. GPS signal structure. *Navigation*, 25, 2.
- VAN DIERENDONCK, A.J. et al., 1978. The GPS navigation message. *Navigation*, 25, 2.
- Recopilación Seminario GPS'88, La Plata.
- Revista *GPS World*, 1,2,3 y 4, 1990.
-
- A. Pérez Gómez, V.H. Ríos, J.F. Lagori y G.A. Mansilla
*Grupo de Geodesia Satelitaria de Tucumán,
Instituto de Física, Universidad Nacional de Tucumán,
Avenida Independencia 1800, 4000 Tucumán
Argentina.*