

DESEMPEÑO DEL RECEPTOR GNSS DE MÚLTIPLES ANTENAS

Cogo, Jorge; Díaz, Juan G.; López La Valle, Gerardo R.; López, Ernesto M.; Puga, Gerardo L.; Rodríguez, Santiago; Scillone, Germán; Smidt, Javier A.; García, Javier G. y Roncagliolo, Pedro A.

Dpto. de Electrotecnia, FI-UNLP, 48 y 116, La Plata CC, 91 - Contacto:

jorgecogo@gmail.com

INTRODUCCIÓN

Los receptores de señales GNSS (Sistema Global de Navegación por Satélite) prestan servicio en una amplia variedad de aplicaciones donde es necesario determinar la posición, velocidad y hora precisa de un usuario o grupo de estos, ya sea en tiempo real o mediante postprocesamiento [1][2][3]. En general, para la correcta recepción de las señales electromagnéticas transmitidas por los satélites es suficiente contar con una única antena correctamente orientada. No obstante, en una gran variedad de vehículos aeroespaciales este requisito se torna difícil de satisfacer debido por un lado a los cambios en la orientación a los que se encuentra sometido el vehículo durante el vuelo, y por otro a que existen una serie de restricciones de diseño importantes sobre las posibles ubicaciones de la antena en el cuerpo del vehículo.

Una solución consiste en utilizar N antenas distribuidas espacialmente con diferentes orientaciones sobre la superficie del vehículo. Asociado a cada antena se requiere contar con una etapa de acondicionamiento en RF, una etapa de digitalización y una etapa de procesamiento digital, lo que implica diseñar un receptor *ad-hoc*. En [4] se presentó un trabajo con el diseño de un receptor GPS/GLONASS de cuatro antenas basado en estos requerimientos.

En todo proceso de desarrollo e innovación tecnológica resulta de particular importancia la planificación y realización de ensayos que permitan evaluar el desempeño, tanto en etapas tempranas a los efectos de introducir correcciones y mejoras, como en el diseño final a los efectos de validar el mismo. Para ello se requiere contar con el instrumental adecuado y diseñar correctamente los experimentos.

En este trabajo se presentan los experimentos más significativos que se realizaron, y los resultados que se obtuvieron, los cuales han permitido la evaluación del desempeño del prototipo desarrollado.

DESCRIPCIÓN DE LOS EXPERIMENTOS

Para llevar a cabo los experimentos se contó con un simulador de constelaciones GNSS, que permite generar las señales que recibiría un receptor GNSS en diferentes situaciones de trayectoria dinámica de usuario, condiciones atmosféricas, visibilidad de satélites, patrón de radiación de la antena receptora, etc. lo que se denomina *escenario de simulación*.

Para los ensayos se utilizaron tres escenarios diferentes, que consideran tres posibles situaciones del comportamiento del usuario:

1. Estático: posición por defecto, 0° de latitud, 0° de longitud, 0 m de altura sobre el elipsoide, que se mantiene constante durante todo el intervalo.
2. Dinámico:
 - a. De 0 a 120 segundos: posición estática por defecto.
 - b. A partir de 120 segundos: aceleración constante de 50 m/s² en la línea perpendicular al plano tangente local (coordenada x ECEF), hasta alcanzar una magnitud de velocidad de 8000 m/s (instante 280 segundos).
 - c. De ahí en adelante, se mantiene la velocidad constante.

Además, en diferentes ensayos se configuraron las potencias de señal transmitida por los satélites de las constelaciones GPS y GLONASS de manera que correspondan a diferentes valores de la relación de potencia de portadora a densidad espectral de potencia de ruido, C/N_0 , observados por el receptor. Este ajuste se realizó calculando de manera teórica los niveles de ruido y de señal presentes en la entrada de antena, en función de los valores configurados, y se validó relevando las estimaciones de C/N_0 que realizó el receptor durante el seguimiento de las señales.

Como ensayos representativos de la operación del receptor se seleccionan el ensayo de la tarea de adquisición, que permite verificar la correcta recepción de las señales así como la sensibilidad del receptor en diferentes escenarios de relación señal a ruido; y de la tarea de navegación puntual, que permite una verificación punta a punta de la operación del receptor.

Ensayo de Adquisición

La tarea de adquisición del receptor es la encargada de detectar y realizar el primer sincronismo de las señales GNSS presentes en la antena. Esta tarea se ejecuta cada vez para un determinado satélite que se desea adquirir, y presenta dos resultados posibles:

1. No se detectó la señal.
2. La señal fue detectada y sincronizada.

Asumiendo que el satélite que se está buscando está realmente presente, el resultado de la operación es una variable aleatoria que depende del valor de C/N_0 . Definimos la *Probabilidad de Adquisición*, P_a , como la probabilidad de que, dado que se está buscando un satélite que está realmente presente, se obtiene como resultado del algoritmo la detección y sincronismo de la señal, es decir, el resultado 2.

Se utilizó el escenario estático configurando la potencia de manera de observar 35, 36, 37, 38, 39, 40 y 45 dB de C/N_0 , en sucesivos ensayos; realizando en cada uno 100 intentos de adquisición, y relevando los resultados.

A los efectos de interpretar de manera más sencilla los resultados se configuró al receptor de manera que solamente realice la búsqueda de los satélites presentes en el escenario de simulación. Además, se introdujo una variación en el *software* para que una vez que se completa la tarea de adquisición con un resultado exitoso no se pase a seguimiento de señal (lo que se haría en operación nominal). De esta manera, el receptor sólo realizará la tarea de adquisición una y otra vez, recorriendo los satélites que se configuraron para búsqueda, lo que acorta el tiempo de realización del ensayo. Se agregó también la impresión de mensajes que indiquen el resultado obtenido en la adquisición.

Ensayo de Navegación Puntual

La navegación consiste en obtener, en determinados instantes separados regularmente, la posición y velocidad del usuario en base a las mediciones de los sistemas GNSS. En el receptor ensayado estos intervalos corresponden a 1 segundo (tasa de 1 Hz en la navegación). Denominamos navegación puntual cuando este cálculo se realiza en cada instante en base a únicamente las mediciones presentes en dicho instante; diferenciándose de la solución por filtrado, que involucra mediciones de diferentes instantes.

Para obtener esta solución se utilizan los algoritmos denominados de Bancroft [5] (posición) y mínimos cuadrados [2]; para la operación de los cuales se requiere de la información provista por una serie de tareas:

- Sincronización de cada una de las señales GNSS adquiridas a diferentes niveles, y obtención de los denominados *tiempos de transmisión*.
- Demodulación del mensaje de navegación (efemérides o parámetros orbitales de los satélites GNSS).
- Cálculo de posición y velocidad de los satélites GNSS involucrados en la navegación (en los instantes correspondientes a los *tiempos de transmisión*).
- Cálculo de las correcciones a aplicar a las mediciones.
- Armado de mediciones de pseudo-rango y delta-rango.

Básicamente, esta información consta de las mediciones de pseudo-rango y delta-rango [2] y de las posiciones y velocidades de los satélites, tanto para GPS como para GLONASS. Para el ensayo se utilizan los escenarios Estático y Dinámico, configurando las potencias de señal de modo de obtener 45 dB de C/N_0 , correspondientes a buena recepción de señal. En cada caso, se contrasta la solución de posición y velocidad obtenida por el receptor con los valores que se configuraron para el simulador.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se presentan los resultados de probabilidad de adquisición (adquisiciones correctas sobre un total de 100 ensayos) en función de la relación C/N_0 tanto para el caso de GPS como de GLONASS. Se presenta también la curva teórica de probabilidad de detección.

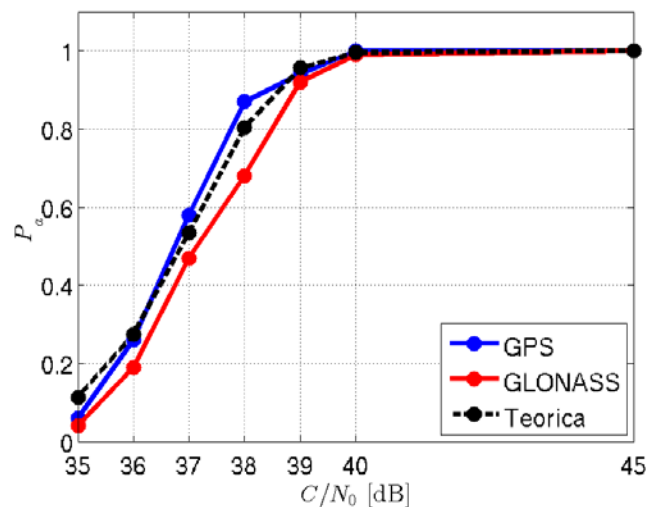


Figura 1: Resultados del ensayo de adquisición y comparación con los resultados teóricos.

En este ensayo se observó una buena correspondencia entre los resultados obtenidos con ambos sistemas contra la predicción teórica; lo cual permitió validar mediante el uso de simulador GNSS la correcta operación de las rutinas de adquisición de señal implementadas en el receptor.

En las Figuras 2 y 3 se presentan respectivamente el error de posición en las tres coordenadas, y el error de velocidad en las tres coordenadas en función del tiempo para el caso de un usuario Dinámico, utilizando las señales del sistema GPS. En ellas se agregan dos líneas punteadas en gris indicando los instantes de inicio y fin de la aceleración; 120 segundos y 280 segundos, respectivamente. Resultados similares se obtuvieron para el ensayo en condiciones estáticas (que no se presentan por cuestiones de espacio). Además, resultados similares se obtuvieron en caso de utilizar las señales de la constelación de GLONASS (que no se presentan por cuestiones de espacio).

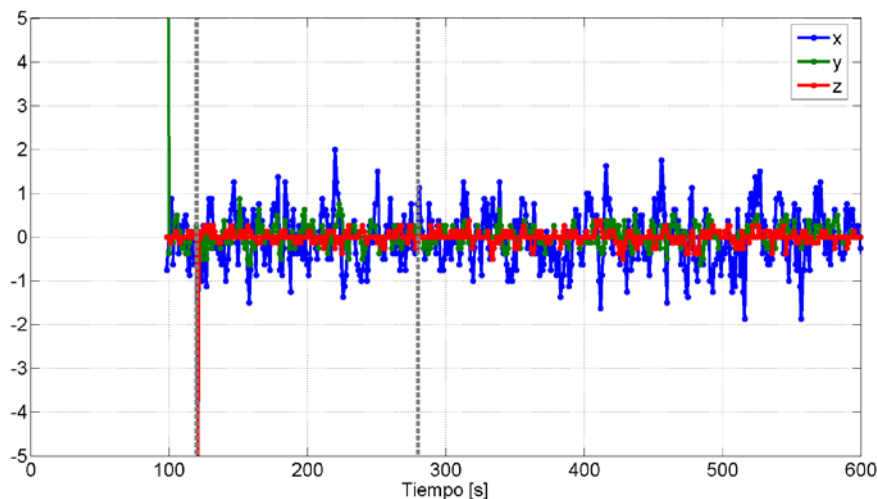


Figura 2: Error de posición en las tres coordenadas para el caso de GPS con usuario Dinámico [metros].

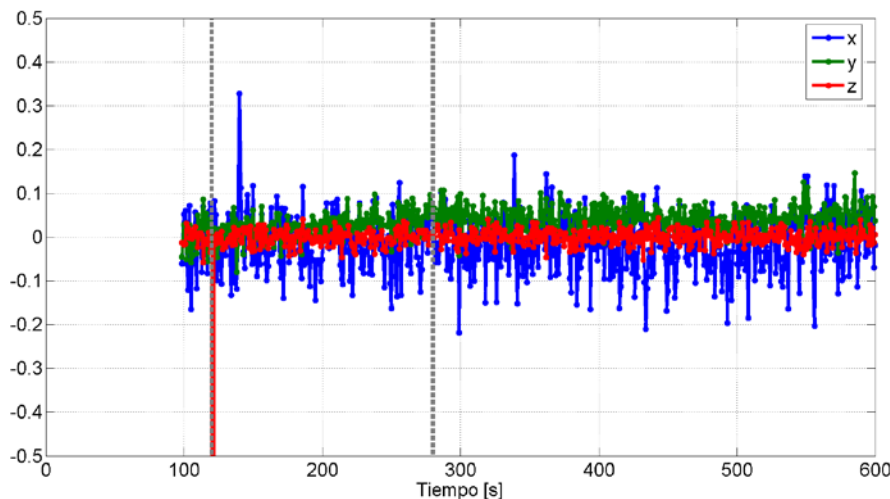


Figura 3: Error de velocidad en las tres coordenadas para el caso de GPS con usuario dinámico [metros/segundo].

Se puede observar que el error de posición se encuentra en el orden del metro y el error de velocidad en el orden de 0,1 metros/segundo. Estos resultados, obtenidos en una situación de alta dinámica, permiten verificar el correcto comportamiento de la navegación (y de todas las rutinas involucradas en ella). Una salvedad es que en el instante de aplicación de la aceleración se observa un error puntual tanto en posición (del orden de 5 metros) como en velocidad (del orden de 15 metros/segundo). Este comportamiento es esperable, dado que en ese instante se somete a los lazos de seguimiento de señal a una condición extrema (para la cual han sido diseñados, pero en la que presentan un transitorio que se traduce en error en las mediciones).

Finalmente, en las Figuras 4 y 5 se presentan en 3 dimensiones los errores en las soluciones de posición y velocidad observados en todo el intervalo analizado, para el caso de usuario dinámico, y utilizando las señales de las constelaciones GPS y GLONASS, respectivamente.

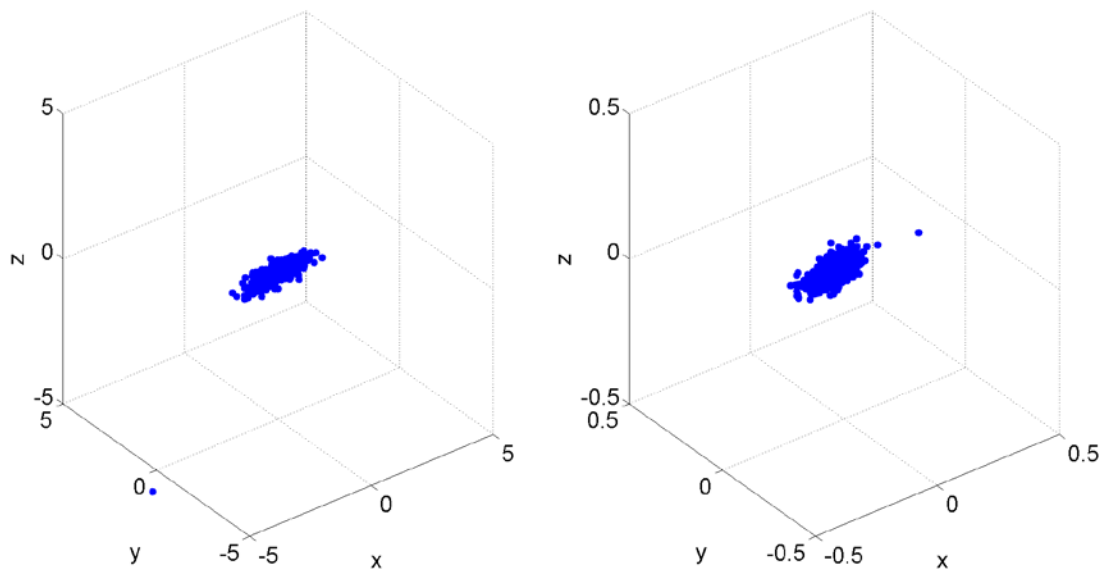


Figura 4: Errores de posición (izq.) y velocidad (der.) para el ensayo de GPS con usuario dinámico.

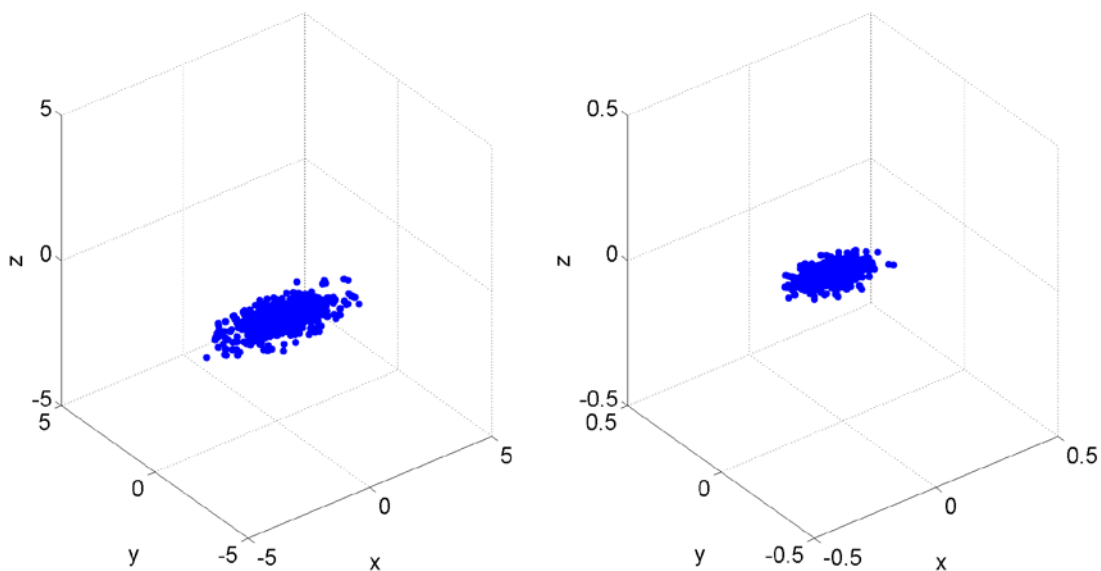


Figura 5: Errores de posición y velocidad para el ensayo de GLONASS con usuario dinámico.

Se puede observar que el comportamiento para ambos sistemas GNSS es adecuado. La mayor componente del error tiene lugar en coordenada x , lo cual es esperable por consideraciones geométricas, dado que esta componente corresponde a la coordenada local de altura, que resulta más difícil de resolver dado que todos los satélites se encuentran sobre la ubicación del receptor (condición natural de operación con señales GNSS). Por otra parte, la mayor dispersión del error observada en la solución con el sistema GLONASS responde simplemente a que se cuenta en promedio con un menor número de mediciones (la constelación GLONASS cuenta con una constelación de 24 satélites mientras que GPS posee 32).

CONCLUSIONES

Se observó una buena correspondencia entre los resultados obtenidos en la adquisición de señales de ambos sistemas, GPS y GLONASS, con la predicción teórica. Esto permitió validar la correcta operación y desempeño de las rutinas de adquisición de señal implementadas, y además verificar que no existían inconvenientes que perjudicaran la sensibilidad del receptor.

También se observó una muy buena correspondencia entre las soluciones de navegación provistas por el receptor, y las configuradas en el escenario de simulación, lo que demuestra un comportamiento adecuado de las rutinas de navegación en condiciones de alta dinámica. Esto permite validar en un ensayo de “punta a punta” la operación del receptor como sistema, ya que para obtener este desempeño todas las tareas y componentes involucrados deben operar correctamente.

Los resultados presentados corresponden a ensayos realizados una vez que se depuraron diferentes fuentes de error que daban lugar a distintas anomalías, destacando la importancia de contar con el instrumental adecuado, planificar de manera acorde y realizar este tipo de ensayos en todo proceso de desarrollo tecnológico.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Parkinson, Bradford W. and Spilker, James J. Jr. (editores); *Global Positioning System: Theory and Applications*; Vols. I y II; American Institute of Aeronautics & Astronautics; 1996.
- [2] Kaplan, Elliot D. and Hegarty, Christopher J. (editores); *Understanding GPS: Principles and Applications*; Second Edition; Artech House; 2005.
- [3] Hofmann-Wellenhof, Bernhard; Lichtenegger, Herbert and Wasle, Elmar; *GNSS – Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more*; Springer; 2008.
- [4] Jorge Cogo, Ramón G. López La Valle, Gerardo L. Puga, Javier A. Smidt, Juan G. Díaz, Javier G. García, Pedro A. Roncagliolo y Carlos H. Muravchik; *Receptor GNSS Multiantena Para Aplicaciones Aeroespaciales*; Segundas Jornadas de Investigación, Transferencia y Extensión; FI-UNLP; 2013.
- [5] Bancroft, S.; *An Algebraic Solution of the GPS Equations*; IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems; tomo AES-21; págs. 56–59; 1985.