

Navegando con satélites

MANUEL HERNÁNDEZ PAJARES*

Parece claro que nuestro futuro, en el que Europa está apostando fuertemente con el sistema GALILEO, está cada vez más en manos de la electrónica y de los satélites, los cuales a pesar de orbitar velozmente y a gran distancia, nos dejan saber “dónde estamos” con un precisión inusitada. Sin embargo, la aglomeración de satélites geoestacionarios (no es el caso de los GPS) ya apunta problemas de “espacio” que obligarán a poner “orden”.

Los sistemas de navegación por satélite constituyen un avance tecnológico que sin duda no tardará en sernos muy familiar. En particular el “Sistema de Posicionamiento Global”, conocido corrientemente como GPS, ha llegado a expandir el concepto de reloj, de

modo que en estos momentos ya es posible adquirir relojes de pulsera que junto a la hora proporcionan de forma continua las coordenadas geográficas tridimensionales. Estos “relojes”, constituidos como núcleos de mapas inteligentes, están llamados a facilitar y guiar el recorrido en automóvil por rutas óptimas.

El sistema GPS fue concebido hace cosa de treinta años por el Pentágono para uso militar, y ya ha sido usado ampliamente en las “guerras” del Golfo y de la antigua Yugoslavia. Dispone de una constelación de más de veinticuatro satélites que emiten señales a modo de radiofaros y que permiten navegar en todo momento, lugar del planeta y circunstancia meteorológica con un error del

* Profesor de la Universidad Politécnica de Cataluña.

orden de veinte metros. Cabe decir que estos satélites están orbitando alrededor de la Tierra a una altura media de 20.200 kilómetros sobre la superficie terrestre y con un periodo de unas 12 horas (dando dos vueltas cada día). Por otro lado, el cálculo de la posición se obtiene resolviendo un sencillo problema geométrico de triangulación, donde a partir de las distancias de al menos cuatro satélites GPS, medidas por el receptor (a partir de la señal emitida por los mismos) y de sus órbitas, se puede determinar la posición tridimensional del usuario con una precisión de unas decenas de metros.

En los años ochenta, la ciencia “civil” empezó a desarrollar con éxito nuevas estrategias de procesado de la señal GPS que permitieron un posicionamiento con errores centimétricos, y que se han aplicado de inmediato en ingeniería y topografía, así como en la monitorización de los movimientos de placas tectónicas (esto es, el movimiento o deriva de los continentes). Desde entonces son muchos y significativos los avances que se vienen obteniendo gracias a este sistema. Entre ellos está su uso como un gran “scanner” planetario que permite reconstruir tomográficamente la atmósfera terrestre, en concreto la parte superior llamada Ionosfera, que es la que más afecta a la señal GPS.

En el congreso del “Institute of Navigation” (ION-GPS99), uno de los más prestigiosos y exigentes en su campo, celebrado el pasado mes de septiembre en Nashville (Estados Unidos), se ha demostrado que con GPS es posible conocer con un error inferior a los diez centímetros la posición en tiempo real (es decir, inmediatamente) de cualquier móvil situado a centenares de kilómetros de la estación de referencia más cercana. Todo ello incluso en el caso de tormentas geomagnéticas, cuando la Ionosfera es

perturbada notablemente por la irrupción de partículas muy energéticas del viento solar.

Este avance no se podría comprender plenamente si se ignora la tensión de intereses contrapuestos entre militares y civiles en los Estados Unidos. Mientras los primeros procuran restringir la precisión a los usuarios no autorizados, los segundos intentan lo contrario. Paradójicamente, todos se nutren de la misma fuente de fondos públicos.

En este contexto se desarrolló hace más de diez años el concepto de “Differential GPS” (DGPS), que consiste en posicionar un receptor GPS respecto a otro que se toma como referencia y del que se conocen perfectamente sus coordenadas. De esta forma se consigue cancelar buena parte de los errores de reloj y propagación comunes.

Con la introducción del DGPS, y mediante la técnica denominada “Local Area DGPS” (LADGPS), se consiguen precisiones de unos cuantos centímetros para distancias inferiores a 10 kilómetros de la estación de referencia.

A escalas mucho más amplias, de unos 1.000 kilómetros, se ha establecido el sistema “Wide Area DGPS” (WADGPS) que permite un posicionamiento con errores del orden del metro para usuarios equipados con receptores adecuados.

La estrategia citada anteriormente — elaborada por el grupo Astronomía y Geomática de la Universidad Politécnica de Cataluña (gAGE/UPC), al que pertenezco, junto al Dr. Óscar Colombo (NASA)— permite extender las precisiones a escala local (LADGPS) a escalas continentales (WADGPS).

El éxito de la nueva técnica radica en una predicción muy exacta de los efectos

ionosféricos (alta atmósfera) sobre la propagación de la señal GPS. Mediante técnicas tomográficas similares a las usadas en medicina, se reconstruye la distribución tridimensional de electrones libres (véase figura 1). Los receptores de tierra, junto a la constelación de satélites GPS, forman un enorme escaner planetario que sondea continuamente la atmósfera y permite reconstruir, en tiempo real (inmediatamente), su distribución electrónica tridimensional.

Así, a partir de un conjunto de estaciones de referencia que recogen los haces de rayos procedentes de los satélites, se consigue reproducir la distribución tridimensional de los electrones libres que interactúan con las señales emitidas por los satélites GPS. Ello permite estimar en cualquier punto de la región de cobertura el efecto ionosférico con un error inferior a 2,7 cm; dentro del algoritmo de posicionamiento, esta cantidad constituye un valor límite para modelar con una exactitud superior al centímetro las pseudodistancias receptor-satélite con las que se resuelve el problema de navegación.

Una de las virtudes de la estrategia de navegación presentada es su buen comportamiento en condiciones de alta actividad solar. Actualmente nos encontramos próximos a un máximo de actividad solar, que alcanzará su valor más alto este año 2000. La variación de esta actividad, que se repite cíclicamente cada once años —el llamado ciclo solar—, está jugando un papel importante en la puesta al día de los resultados en posicionamiento GPS de precisión. La época de mayor efervescencia en el desarrollo de este tipo de aplicaciones ha coincidido con un periodo de baja actividad solar. A medida que ésta ha ido creciendo, buena parte de los modelos y algoritmos que involucraban a la Ionosfera y en su momento funcionaban, están dejando de funcionar.

El modelo tomográfico se ha puesto a prueba bajo diferentes condiciones de actividad geomagnética (que junto con la alta actividad solar constituyen el auténtico talón de Aquiles de los modelos ionosféricos). Para ello se han utilizado datos procedentes de estaciones permanentes GPS del norte de los Estados Unidos y el Canadá, correspondientes a la red de estaciones que desde principios de los años noventa mantiene el “International Geodynamical Service for GPS” (IGS) (se trata de una extensa base de datos con receptores distribuidos a lo largo de todo el planeta, y que son de libre distribución para la comunidad científica). El interés de utilizar un red de estaciones con latitudes altas, próximas al polo geomagnético boreal, radica en estudiar la respuesta del modelo en condiciones extremas.

En el ámbito de las aplicaciones civiles, un posicionamiento en tiempo real con exactitudes de unos centímetros, a escala continental, puede simplificar las tareas y abaratar costes en actividades de ingeniería y topografía. Para la aviación civil, genera notables expectativas de cara a proporcionar de forma muy económica a miles de aeródromos de Europa, Estados Unidos y el Japón, categoría de aproximación precisa III, que supone, por ejemplo, una exactitud “garantizada” en la coordenada vertical mejor que 60 cm.