

# POSICIONAMENT GLOBAL VIA SATEL·LIT (SISTEMA GPS)

*XAVIER MARTÍ SENDRA*  
Departament de Comunicacions  
Universitat Politècnica de València

## INTRODUCCIÓ

Diverses aplicacions, que es comentaran més endavant, són les que han fet que en aquests darrers anys s'estigui escoltant molt, en diferents entorns, les sigles GPS ("Global Positioning System").

Es tracta d'un sistema de posicionament via satèl·lit amb cobertura global de la Terra.

El sistema GPS comença a desenvoluparse a mitjan dels anys 70, i fins al final d'aquella dècada no és utilitzat pel Govern dels Estats Units (propietari del sistema) per a aplicacions militars. Al final dels anys 80 se'n permet l'ús en aplicacions civils com a sistema de posicionament, fonamentalment en navegació marítima.

Actualment aquest sistema s'està aplicant en diferents àmbits com la navegació terrestre i aèria, els sistemes topogràfics, ...El desenvolupament d'aquest sistema en la dècada dels 90 es preveu espectacular, a jutjar pel caràcter de les darreres aplicacions que estan apareixent.

Cal destacar que la configuració del sistema no ha canviat pràcticament des d'un principi, no així els receptors GPS i els sistemes de processament que aquests incorporen, cosa que està permetent que es disposi de receptors especials per aplicacions determinades i no receptors de proposta general com els típics fins fa pocs anys. Així mateix, estan apareixent receptors GPS integrats en monolític (MMIC) per a aplicacions molt concretes, cosa que provoca una millora en les prestacions i un abaratament dels preus. Es preveu que un receptor de GPS sigui un equip d'electrònica de consum, com un aparell de televisió o un típic "cassete" d'anar per casa.

A continuació es passarà a fer una descripció del sistema GPS, els tipus de senyals que utilitza, es comentaran també com calcula la posició d'un punt a la Terra, així com els errors que apareixen en el procés de càlcul i mesura. Després es comenta breument el mode d'operació diferencial, per la gran millora de precisió que suposa, i per acabar es descriuen algunes aplicacions

típiques, en concret la que s'està desenvolupant al Departament de Comunicacions de la UPV, com és el cas del control de flotes de mòbils.

## DESCRIPCIÓ DEL SISTEMA I ELS SENYALS

El sistema està format per 21 satèl·lits en òrbita (18 d'actius i 3 de reserva) i 3 satèl·lits en Terra preparats per a llançar en cas d'una emergència de substitució. Aquests satèl·lits estan distribuïts en 6 òrbites circulars a una altura d'aproximadament 20.000 km, i inclinades  $60^\circ$  entre elles. Les òrbites són de 12 hores de període.

Els satèl·lits estan controlats des d'estacions terrenes (cinc) distribuïdes en llocs estratègics.

Des que es comença el disseny del sistema, els satèl·lits han anat evolucionant, i se'n poden distingir fins al moment tres tipus:

- **Bloc I:** Satèl·lits de recerca.
- **Bloc II:** Suport de 21+3 satèl·lits que donen operativitat al sistema.
- **Bloc IIR:** Satèl·lits de recanvi per al bloc II.

Hi ha un quart bloc III, que són satèl·lits que no estaràn en disposició fins al principi del proper segle.

El fet que hi hagi diversos tipus de satèl·lits ha provocat problemes en algunes marques de receptors, perquè no estan preparats per a adquirir dades d'aquests nous tipus.

Des de qualsevol punt del planeta hi ha almenys 4 satèl·lits visibles a qualsevol hora del dia, cosa que proporciona el caràcter de cobertura global. El fet que aquest nombre sigui 4 és perquè, com es veurà més endavant, es necessiten 4 satèl·lits per a obtenir la posició (x,y,z) d'un punt.

Quant als senyals que és transmeten, tots són dades digitals, i en concret el tipus d'informació són dades orbitals (efemèrides) i temps absolut. Les freqüències que s'utilitzen apareixen a la figura 1.

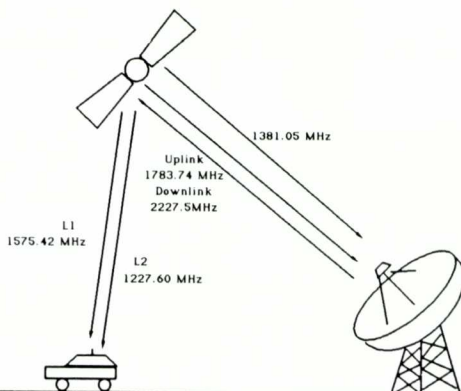


Fig. 1. Freqüències portadores del sistema GPS.

Les portadores L1 i L2 (figura 1) es modulen en fase/quadratura mitjançant seqüències pseudoaleatòries que codifica el senyal:

**\* Portadora L1 (1575.42 MHz)**

- **Codi C/A (“Coarse/Adquisition”)**: d’ús públic, amb una velocitat de 1023 Mbps i un període de repetició d’1ms.
- **Codi P (“Precision”)**: d’ús restringit (encriptat) amb velocitat de 10.23 Mbps i un període de repetició de 267 dies. Aquest codi s'utilitza per aplicacions militars.

**\* Portadora L2 (1227.6 MHz)**

- **Codi P:**

Aquests senyals donen lloc a un espectre com el de la figura 2.

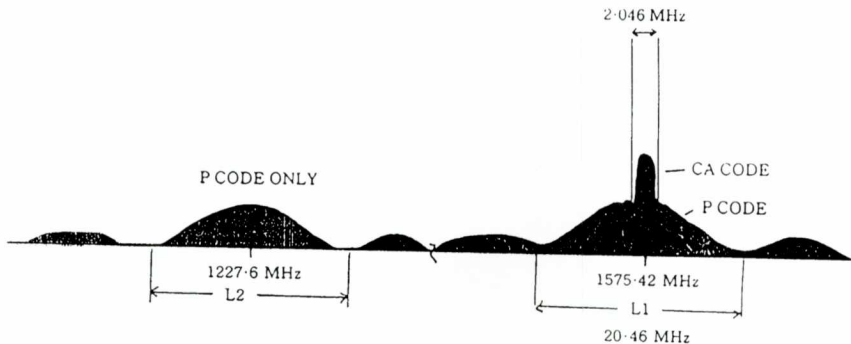


Fig. 2. Espectre del senyal GPS que arriba a l'usuari.

La utilització de dues freqüències (L1 i L2) és per a corregir l'error que produeix la Ionosfera i la Troposfera, degut al fenomen físic de la refracció (l'índex de refracció disminueix amb l'alçada i provoca una curvatura del feix electromagnètic).

**FUNCIONAMENT. CÀLCUL DE LA POSICIÓ**

El GPS proporciona dos serveis de posicionament:

- **“SPS” o posicionament estàndard:** s'utilitza en aplicacions comercials i la precisió és fixada pel DoD (Departament de Defensa) dels EUA.
- **“PPS” o posicionament precís:** s'utilitza en aplicacions militars i l'accés està limitat per criptografia (codi P vist abans).

El receptor GPS calcula la seva posició mitjançant l'estimació dels anomenats *pseudoranges*, que és la distància que separa el receptor del satèl·lit del que rep el senyal. Amb la posició dels 4 satèl·lits i la informació temporal es tracta de resoldre un sistema de 4 equacions i 4 incògnites d'aquesta forma:

$$(x_i - U_x)^2 + (y_i - U_y)^2 + (z_i - U_z)^2 = (R_i - c \cdot \Delta t_{ri})^2$$

per  $i = 1, 2, 3, 4$ , que es correspon amb els 4 satèl·lits.

La resolució d'aquest sistema d'equacions ens proporciona  $U_x$ ,  $U_y$ ,  $U_z$ ,  $\Delta t_{ri}$  (*offset* del rellotge del receptor respecte al del sistema GPS), i s'obté així la posició d'un punt.

Evidentment si es tracta de navegació 2D, no ens interessa la coordenada Z, per la qual cosa el receptor ens demana un valor d'aquesta coordenada. Així és pot obtenir la mesura de la latitud ( $\theta$ ) i la longitud ( $\alpha$ ) rebent només 3 satèl·lits:

$$\theta = \cos^{-1} \frac{\sqrt{U_x^2 + U_y^2}}{|U|} \qquad \alpha = \text{tg}^{-1} \frac{U_y}{U_x}$$

#### ERRORS EN EL SISTEMA GPS

Hi ha diversos errors en el sistema GPS que degraden la precisió. Principalment es consideren:

- Retard produït per la ionosfera i la troposfera. Es pot corregir comparant els retards en les freqüències L1 i L2.
- Fluctuacions en els rellotges dels satèl·lits.
- Soroll en els receptors. Per a augmentar la sensibilitat dels receptors sol utilitzar-se un preamplificador a la base de l'antena.
- Errors produïts per reflexions que pot patir el senyal que viatja des del satèl·lit fins al mòbil. Aquest error és més acusat en navegació 2D terrestre en entorns urbans, on en un determinat moment hi pot haver més d'un satèl·lit (dels 3 necessaris) que no és “visible” directament, sinó que el senyal arriba mitjançant reflexions en edificis principalment; això produeix el

molt conegut “*fading multipath*”. Quan un mòbil perd un satèl·lit (senyal rebut per sota del nivell de llindar), el receptor commuta a calcular amb la informació d'un altre satèl·lit que té en l'almanac, que ha elaborat en el període de posada en marxa quan es connecta. Aquesta commutació pot ésser directa (si treballa amb un canal dedicat) o multiplexada (si treballa en el mateix canal per a tots els satèl·lits).

- Errors de “GDOP” (dilució geomètrica de la precisió). En el càlculs del “*pseudoranges*” hi ha una imprecisió deguda a la geometria que formen els satèl·lits i el punt on és l'usuari. Aquesta imprecisió es coneix per PDOP (dilució de la precisió en la posició), que conjuntament amb la imprecisió temporal pels retards (TDOP), dóna un factor que és el GDOP.
- Disponibilitat Selectiva. Aquest concepte és degut al fet que en una determinada i desconeguda època, el DoD d'USA degrada la precisió intencionadament perquè possibles usuaris enemics no puguin utilitzar el sistema GPS amb molta precisió. Aquesta degradació la produeixen transmetent errors en les posicions dels satèl·lits, que com hem vist abans s'utilitzen en el càlcul de la posició. Aquesta degradació té un caràcter aleatori de mitjana zero; per tant, si es fan mitjanes durant algunes hores s'aconsegueix eliminar l'error. Aquesta forma d'eliminar l'error fa que el sistema no sigui operatiu en temps real. La degradació de la precisió passa d'uns 20 metres, quan no hi ha disponibilitat selectiva, a 200 metres quan és activa.

## GPS DIFERENCIAL

Es tracta d'un mode d'operació per a corregir principalment la disponibilitat selectiva. El funcionament s'esquematitza a la figura 3.

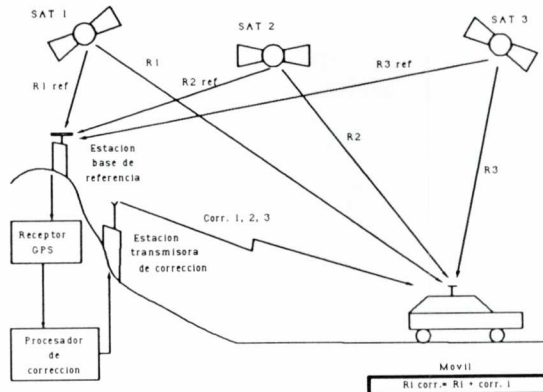


Fig. 3. GPS diferencial.

Com apareix a la figura, hi ha una estació de referència formada per un receptor GPS convencional, software de correcció i un transmissor típic de radiocomunicacions.

A l'estació de referència cal introduir la seva posició de forma molt precisa (mètodes geodèsics o simplement fent la mitjana algunes hores de l'error). Aquesta estació rep informació dels satèl·lits, calcula la posició amb aquesta informació i la compara amb la posició real. Així obté en cada moment el factor de correcció, que és el que transmet a la resta d'usuaris, perquè puguin corregir en temps real la posició errònia que han calculat.

Amb aquest sistema s'obtenen precisions de posició d'un metre (àdhuc menys) i de velocitat de 0.1 m/s.

## APLICACIONS

Les aplicacions més típiques són:

### Navegació 2D

- \* Navegació marítima: és la més típica i la més desenvolupada fins ara. Es tracta d'obtenir informació de la posició i la velocitat en vaixells. Amb aquesta informació i el corresponent processat es calculen rumbos i es fixen punts de pas del vaixell.
- \* Navegació terrestre: En la navegació terrestre s'utilitza principalment el GPS com ajuda a la navegació (optimització de rutes) i control de flotes de mòbils com autobusos, taxis, ambulàncies, bombers,... També s'utilitza per obtenir rutes recorregudes per mòbils d'empreses de transport i repartiment. Es comentarà especialment l'aplicació al control de flotes. Aquesta aplicació està desenvolupant-se en el Departament de Comunicacions de l'UPV i consisteix a tenir monitoritzada en temps real la flota d'autobusos de la ciutat de València. Cada autobús disposa d'un receptor de GPS i d'un sistema TX (VHF) que li permet de transmetre la informació de posició a l'estació base diferencial que aplica la correcció oportuna i enmagatzema les dades per a presentar-les sobre un mapa de la ciutat. A més, cada autobús disposa de diversos sensors distribuïts que permeten obtenir informació de combustible, oli, ... que també és transmesa a l'estació base només en cas d'alarma d'una mesura.

### Navegació 3D

Les aplicacions del GPS a la navegació 3D són d'ajuda a l'aterratge i aproximació i també de determinació de posicions des de l'aire en casos com perimetratge d'incendis, posicionat d'accidents i catàstrofes, a més de les ja intrínseques d'indicador de velocitat i alçada.