



INTRODUCCIÓ AL SISTEMA GLOBAL DE POSICIONAMENT (GPS)

GPS és l'acrònim de **Global Positioning System**(sistema global de posicionament), un sistema format per una constel·lació de 24 satèl·lits, anomenats **NAVSTAR**, i 5 estacions repartides per la superfície terrestre. Aquests satèl·lits es troben en òrbites situades a 10.900 milles nàutiques (20.200 km, aproximadament) i realitzen una circumval·lació a la Terra cada 12 hores. Dels 24 en funcionament, 21 es troben en servei, mentre que els altres 3 estan de reserva. Cadascun d'aquests satèl·lits emet de manera contínua un senyal indicant la seva posició i l'hora dels seus rellotges atòmics.

Les estacions de terra es troben repartides en cinc punts del globus: Hawaii, Illa d'Ascensió, Diego García, Atolón de Kwajalein i Colorado Springs. Aquestes estacions s'encarreguen de vigilar l'estat operatiu dels satèl·lits i la seva correcta posició en l'espai. Una de les estacions compleix les funcions d'estació principal i transmet les correccions als satèl·lits. Gràcies a aquest sistema, un usuari pot determinar amb molt poc marge d'error la seva posició en l'esfera terrestre i l'altitud sobre el nivell del mar en les quals es troba. Per a poder gaudir d'aquest sistema, l'usuari únicament ha de disposar d'un receptor **GPS**. Actualment existeix una gran varietat de **GPS** en el mercat i avui dia podem disposar d'un receptor **GPS** a partir d'uns 100,00 euros.

Al començament dels anys 60, l'armada i la força aèria nord-americanes van decidir crear un sistema de localització per al seu armament, especialment el nuclear. Aquest sistema havia de ser molt precís, estar disponible de manera contínua, no veure's afectat per les condicions atmosfèriques, funcionar en qualsevol lloc del globus i de cost baix.

Després de realitzar inversions multimilionàries (14.000 milions de dòlars fins a 1994), investigar diversos projectes previs i dissenyar els satèl·lits que integrarien el sistema, en 1989 es van llançar els primers satèl·lits que formaven el sistema. El llançament dels satèl·lits originals va prosseguir fins a 1994, quan es va llançar el 24è satèl·lit del sistema. Aquests primers satèl·lits van ser fabricats per l'empresa nord-americana Rockwell.

Com a sistema dissenyat per a la guerra, no va ser fins a la guerra del Golf Pèrsic, en 1991 quan el sistema es va sotmetre a situació de combat. El **GPS** va complir el seu paper a la perfecció. De fet, en alguna ocasió algun general va arribar a comentar que, juntament amb la visió nocturna, el **GPS** va ser l'element d'equipament rellevant en aquesta guerra. Afortunadament, l'ús del **GPS** no és exclusiu de l'exèrcit nord-americà. Després d'un incident internacional ocasionat en 1983, el llavors president dels EUA, Ronald Reagan, va anunciar que el **GPS** també estaria disponible per a la comunitat civil internacional, si bé el sistema tindria una precisió inferior a la qual gaudia l'exèrcit nord-americà. En 2000, Bill Clinton va eliminar aquesta restricció i actualment s'assoleixen precisions de fins a 15 metres en usos civils. A pesar d'això, i atès que el sistema està sota el control, entre uns altres, del Departament de Defensa nord-americà,

els receptors no poden ser capaços de funcionar a més de 18.000 metres d'altitud ni a més de 900 nusos (1.667 km/hora) de velocitat. A més, el servei pot veure's sotmès a restriccions temporals.

Com ja s'ha esmentat en el primer capítol, el sistema està format per 24 satèl·lits i cinc estacions terrestres, a més del receptor de l'usuari. Aquests satèl·lits, a partir de la informació inclosa en ells i la que reben de les estacions, generen un senyal que transmeten als receptors. Una vegada els receptors reben aquest senyal, calculen la posició. La base per a determinar la posició d'un receptor **GPS** és la trilateració a partir de la referència proporcionada pels satèl·lits en l'espai. Per a portar a terme el procés de trilateració, el receptor **GPS** calcula la distància fins al satèl·lit amidant el temps que triga el senyal a arribar fins a ell. Per a això, el **GPS** necessita un sistema molt precís per a amidar el temps. A més, cal conèixer la posició exacta del satèl·lit. Finalment, el senyal rebut ha de corregir-se per a eliminar els retards ocasionats. Una vegada que el receptor **GPS** rep la posició d' almenys quatre satèl·lits i coneix la seva distància fins a cadascun d'ells, pot determinar la seva posició superposant les esferes imaginàries que generen. Podem comprendre millor aquesta explicació amb un exemple. Imaginem que ens trobem a 21.000 km d'un primer satèl·lit. Aquesta distància ens indica que podem trobar-nos en qualsevol punt de la superfície d'una esfera imaginària de 21.000 km de ràdio. Ara, imaginem que ens trobem a 24.000 km d'un segon satèl·lit. D'aquesta manera, també ens trobem en qualsevol punt de la superfície d'aquesta segona esfera imaginària de 24.000 km de ràdio. La intersecció d'aquestes dues esferes generarà un cercle que disminuirà les possibilitats de situar la nostra posició. D'altra banda, imaginem que un tercer satèl·lit es troba a 26.000 km. Ara les nostres possibilitats de posició es redueixen a dos punts, aquells on s'uneixen la tercera esfera i el cercle generat per les altres dues. Encara que un d'aquests dos punts segurament donarà un valor absurd (lluny de la Terra, per exemple) i pot ser rebutjat sense més, necessitarem un quart satèl·lit que determini quin d'ells és el correcte, si bé no és necessari per la raó anteriorment esmentada. A pesar de la seva aparent falta d'utilitat, aquest quart satèl·lit tindrà una funció crucial en el mesurament de la nostra posició, com es veurà més endavant. Però, com amida el receptor **GPS** el temps que triguen els senyals a arribar fins a ell? Tots sabem que la distància resulta de multiplicar la velocitat pel temps ($100 \text{ km/hora} \times 3 \text{ hores} = 300 \text{ km}$). Atès que en el **GPS** estem amidant senyals de ràdio, la velocitat que emprarem en els nostres càlculs serà la de la llum, és a dir, 300.000 km/s . Ara el problema es redueix a conèixer la durada del viatge que realitza aquest senyal. Aquest càlcul planteja alguns problemes ja que, entre uns altres, la seva durada és molt petita (en alguns casos pot arribar a ésser de 0,067 segons). Però assumint que disposem de rellotges molt precisos, com amidem aquest temps? Per a entendre com un receptor **GPS** amida aquest temps, vegem el següent exemple. Imaginem que al migdia poguéssim sincronitzar simultàniament el receptor i el satèl·lit. Una vegada sincronitzats, vam acordar que a partir d'un instant determinat receptor i satèl·lit comencen a realitzar un compte (1, 2, 3...). Quan el senyal procedent del satèl·lit arriba al receptor, aquesta arriba amb un cert desfasament com a conseqüència de la distància. AL receptor només li basta amidar aquest desfasament (podria ocórrer que el senyal amb el compte 100 arribi al receptor quan aquest va pel compte 170, la qual cosa representaria un desfasament de 70). Una vegada ha calculat aquest desfasament, només ha de multiplicar el temps desfasat per la velocitat de la llum (en el nostre exemple, i suposant que els comptes es realitzen en mil·lsegons, $300.000 \text{ km/s} \times 0,07 \text{ s} = 21.000 \text{ km}$). Per a realitzar aquesta sincronització i aquest compte, els emissors i els receptors del **GPS** utilitzen un mètode denominat "Pseudo-Random Code" (codi pseudo-aleatori) o PRC. El codi PRC és un element fonamental del **GPS**. Es tracta d'un senyal digital

(senyal elèctric que representa els valors "0" i "1") molt complicada que gairebé sembla aleatòria, d'aquí el seu nom. Aquest codi es transmet emprant un senyal transportadora a una freqüència de 1.575,42 MHz, i inclou un missatge d'estat (posició del satèl·lit, correccions horàries i altres estats del sistema). Els emissors també empen una segona freqüència a 1.227,60 MHz, però aquesta únicament té un ús militar, donada la precisió que permet el seu ús. El codi PRC és complex per a evitar errors accidentals, la seva falsificació per part d'un element hostil, la superposició dels senyals dels diferents satèl·lits i pel seu baix cost (de diners i d'espai). Gràcies a la complexitat d'aquest senyal, no és necessari emetre senyals molt potents ni transportar una antena parabòlica per a rebre el senyal del satèl·lit i distingir-la entre el soroll ambiental, com tradicionalment ocorre amb la televisió per satèl·lit. Per a distingir-la n'hi ha prou amb comparar-la amb el patró emmagatzemat en el receptor. Ja hem comentat que la precisió i l'exactitud en la mesura de la distància als satèl·lits són crucials per al perfecte funcionament del **GPS**. Per a això, hem de disposar de rellotges enormement precisos, ja que una mil·lèsima de segon a la velocitat de la llum pot suposar un error de 300 km. Per als satèl·lits això no suposa un problema ja que cadascun d'ells disposa d'un rellotge atòmic en el seu interior. Encara que el seu nom doni a entendre que funciona amb energia atòmica, aquest rellotge no utilitza aquest tipus d'energia. El seu nom prové del fet que utilitza les oscil·lacions d'un àtom determinat com "metrònom".

Lamentablement, donat el cost i la grandària, és impossible disposar d'un rellotge atòmic en un receptor. Per a solucionar aquest problema, els enginyers que van desenvolupar el **GPS** van tenir la brillant idea d'incloure (simular) un "rellotge atòmic" mitjançant la recepció del senyal d'un satèl·lit extra. La recepció d'un senyal extra permet que el receptor pugui calcular els errors produïts en el mesurament i comparança del temps i compensar-los, d'aquí la necessitat d'emprar quatre satèl·lits per al mesurament de la nostra posició, en lloc de tres com seria d'esperar en un sistema tridimensional. Gràcies a aquest "rellotge atòmic", els receptors poden emprar-se per alguna cosa més que el càlcul de posicions, com el calibratge d'altres sistemes de navegació, la sincronització de sistemes informàtics o altres equips, o la sincronització amb l'horari universal, entre uns altres.

Hem vist que podem calcular la nostra posició a partir de la posició coneguda de quatre o més satèl·lits, però, com podem conèixer la posició d'un satèl·lit que es troba a més de 20.000 km de distància i que fa un volt a la terra cada 12 hores? Atès que en l'espai no hi ha atmosfera, podem introduir satèl·lits en òrbites invariables que seguiran models matemàtics prèviament calculats. D'aquesta manera, sempre podrem conèixer la posició de cadascun dels satèl·lits en un moment donat. Per a això, els receptors **GPS** disposen d'uns almanacs programats que indiquen en quin lloc de l'espai es troben els satèl·lits a cada moment. A pesar que aquestes òrbites són suficientment exactes, les estacions de terra comproven constantment les seves posicions. Per a això empen radars molt precisos que permeten amidar la posició i velocitat exactes, i calculen els possibles errors. Aquests errors es denominen "errors de efemèrides" ja que afecten a l'òrbita dels satèl·lits o efemèrides. Aquests errors es produeixen com a conseqüència de l'efecte de les atraccions gravitacionals de la Lluna i el Sol o per la pressió de la radiació solar en els satèl·lits. Malgrat tot, aquests errors són mínims, si bé, si volem un sistema precís, hem de tenir-los en compte. A pesar de totes les correccions realitzades fins al moment, encara ens queda una sèrie d'errors per corregir. Fins a ara hem considerat que els senyals viatgen en el buit i sense cap obstacle. No obstant això, el nostre planeta està envoltat per l'atmosfera, que afecta considerablement a la recepció dels senyals. Per a reduir aquest error existeixen dues maneres de fer-lo. El primer d'ells passa per aplicar

un model matemàtic actualitzable a partir de la informació rebuda dels satèl·lits i que simula el comportament de l'atmosfera. El segon mètode consisteix en el mesurament dual de freqüències, un sistema que únicament empraven els receptors militars i que utilitza els dos senyals emeses pels satèl·lits. Una vegada que el senyal arriba a la superfície de la Terra, aquesta pot reflectir-se en diversos obstacles. D'aquesta manera, el receptor pot rebre un senyal directe del satèl·lit i, amb un lleuger desfasament, la mateixa procedent d'un reflex. A aquest error se li denomina error de trajectòria múltiple. Per a eliminar-lo, els receptors únicament tenen en compte el senyal que va arribar en primer lloc, la procedent directament del satèl·lit.

També poden produir-se errors en els satèl·lits com a conseqüència de desfasaments en els rellotges o desviaments en les trajectòries. A més, aquests errors poden magnificar-se per un principi denominat dilució geomètrica de la precisió o GDOP (Geometric Dilution of Precision). Per a reduir aquest error, els bons receptors determinen quins satèl·lits són els quals proporcionen el menor GDOP, que són aquells que es troben més distanciats.

Ja hem vist com funciona el **GPS** i quin és la seva funció principal: conèixer la nostra posició. Encara que conèixer la nostra posició pugui semblar una mica trivial, cada vegada més s'està convertint en un aspecte gairebé imprescindible en molts camps, ja siguin professionals o lúdics.

A grans trets, podem dividir els camps d'aplicació en cinc;

Posicionament: l'aplicació més òbvia del **GPS** és la de determinar una posició o localització. El **GPS** és el primer sistema que permet determinar amb un error mínim la nostra posició en qualsevol lloc del planeta i sota qualsevol circumstància.

Navegació: atès que podem calcular posicions en qualsevol moment i de manera repetida, coneguts dos punts podem determinar un recorregut o, a partir de dos punts coneguts, determinar la millor ruta entre ells dos.

Seguiment: mitjançant l'adaptació del **GPS** a sistemes de comunicació, un vehicle o persona pot comunicar la seva posició a una central de seguiment. Topografia: gràcies a la precisió del sistema, els topògrafs compten amb una eina molt útil per a la determinació de punts de referència, accidents geogràfics o infraestructures, entre uns altres, el que permet disposar d'informació topogràfica precisa, sense errors i fàcilment actualitzable.

Sincronització: donada la característica addicional de mesurament del temps que disposen els receptors **GPS**, podem emprar aquest sistema per a determinar moments en els quals succeeixen o succeiran determinats esdeveniments, sincronitzar-los, unificar horaris...

Actualment també hi han altres alternatives al sistema **GPS**, el **GLONASS** rus que fins ara es operatiu al territori nacional rus, però els problemes econòmics han impedit que fins el 2011 no estigui previst que es posi a l'abast internacional i el sistema **GALILEO** europeu que amb una constel·lació de 27 satèl·lits operatius i 3 de reserva a uns 23200 Km sobre la superfície terrestre estarà en funcionament en el 2010, aquest s'espera que pugui oferir una precisió de 1 metre a banda de tenir un concepte totalment civil i sense restriccions de caire militar com els altres. Alguns aparells ja comencen a incorporar la

possibilitat de rebre els senyals dels altres satèl·lits no GPS com a complement, el que fa que la precisió i l'estabilitat augmenti considerablement. Davant d'això els americans han anunciat que posaran en marxa un altre projecte per modernitzar la seva constel·lació amb la intenció d'augmentar-ne la precisió i superar als europeus en aquest sentit. El que es clar es que en poc temps la georeferenciació serà normalment utilitzada per infinitat de funcions i d'aparells que ara no podem imaginar.

Jaume Pinyot

C. E. 2x2 Santpedor