

# GPS: Introducció

1

*Joan Oliver*  
*Departament de Microelectrònica i*  
*Sistemes Electrònics*  
*Universitat Autònoma de Barcelona*  
(joan.oliver@uab.es)

Joan Oliver®. Bellaterra (Barcelona), Gener 2005



## Introducció històrica (I)

2

### ◆ Precursors

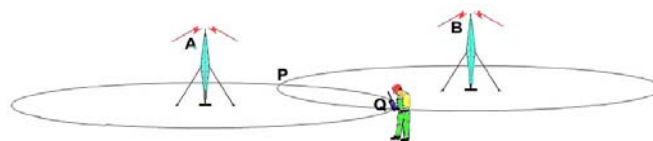
- Les fites dels camins i el coneixement del medi (rius i muntanyes) va ser la primera guia de posicionament utilitzada.

### ◆ L'ús de les estrelles

- El coneixement del moviment de les estrelles va potenciar enormement els grans viatges i la navegació marítima ja que per primer cop es va poder saber la posició en entorns desconeguts. Inicialment es va emprar el coneixement de la posició de les estrelles. Posteriorment, amb la mesura de la posició relativa de les estrelles i amb l'ajut de cartes complexes es millora la determinació de la posició. ...però sempre amb l'esperança que no s'ennuvolés!

### ◆ Posicionament per ràdio

- Amb el naixement de la ràdio els científics varen descobrir que mesurant el temps que trigaven les ones de ràdio en arribar a un dispositiu receptor es podia conèixer la situació del dispositiu. Coneixent la posició exacta dels emissors, un receptor pot inferir la seva posició.
- La mesura precisa passa per tenir emissors temporals molt precisos, donat que l'error d'1  $\mu$ s significa un error en distància de 300m



Joan Oliver®. Bellaterra (Barcelona), Gener 2005



## Introducció històrica (II)

### ◆ El LORAN (*Long Range Navigation*)

- Cada LORAN està constituït per 4 transmissors (emetent a una freqüència determinada) que cobreixen una àrea d'unes 500 milles. Àrees majors es cobreixen emprant cadenes LORAN.
- Cada LORAN té un freqüència de treball. Un receptor sintonitzat al LORAN (que té la posició exacta dels 4 emissors) pot calcular la seva posició.
- Tot i ser un sistema innovador,
  - El LORAN operacional només passa a cobrir una petita part de la superfície terrestre i la seva operativitat està sota control dels governs. En total cobreix un 5% de tota la superfície terrestre.
  - Aporta informació bidimensional (latitud, longitud), fet que l'impossibilita per a ser útil en navegació aèria.
  - La precisió, en general, està limitada a 250m.

### ◆ L'edat dels satèl·lits

- Per superar aquestes limitacions es va pensar en l'ús dels satèl·lits com a bases per a situar els emissors. Els satèl·lits actuen com a punts de referència i la posició tridimensional (latitud, longitud i altura) es calcula determinant la distància a ells, és a dir, calculant la intersecció de tres o més esferes.
- En el posicionament per satèl·lit, i degut a què en aquest cas es tracta d'estacions emissores mòbils, es fa necessari disposar també d'una xarxa terrestre de monitorització i control del comportament dels satèl·lits què, amb una antelació de 24 hores, prediu i corregeix els desfasaments en emissió que tindrà cada satèl·lit.
- L'edat dels satèl·lits es pot dir que comença l'any 1960.



## Introducció històrica (III)

- **1960: National Aerospace and Space Administration (NASA) i Department of Transportation (DOT) desenvolupen Transit un sistema de posicionament per satèl·lit que ha de tenir les característiques:**
  - Cobertura global
  - Operació contínua i sota qualsevol condició meteorològica
  - Habilitat per servir plataformes dinàmiques
  - Molt precís
- **1964: Transit esdevé operacional, però per plataformes no dinàmiques: permet obtenir una posició fixa cada 15-30min en plataformes no dinàmiques**
- **Al mateix temps la URSS desenvolupa Tsikada, amb característiques similars**
- **Anys següents, el Naval Research Lab porta a terme experiments basats en rellotges espacials altament precisos sota el nom de Timation. Permetia conèixer una posició bidimensional de forma molt precisa.**
- **La Air Force també experimentava amb un sistema (el 621b) de posicionament per satèl·lit en òrbites el·líptiques a 0°, 30° i 60°.**
- **1969: El Department of Defense (DoD) estableix el programa Defense Navigation Satellite System amb l'objectiu d'unificar esforços. En surt el Navstar GPS (Navigation System with Timing and Ranging Global Positioning System)**



## El GPS: bases (I)

5

- ◆ **Requeriments per a un sistema de posicionament global.**
    - Permetre globalitat d'ús, tant per militars com per civils, des d'aproximacions 'grosses' fins a les 'fines' i sense alterar la configuració bàsica de funcionament
    - Fàcil d'emprar i amb costos d'ús 'baixos'
    - Accés no restringit a tots els usuaris
    - Satisfent les necessitats militars en tot tipus de plataformes (navegació aèria, marítima i terrestre), amb posicionament en temps real (amb determinació de posició, velocitat i temps, en tot tipus de condicions metereològiques i sense detecció de l'usuari).
- ➔ Aquest és el sistema GPS actualment emprat!

Joan Oliver®. Bellaterra (Barcelona), Gener 2005



## El GPS: bases (II)

6

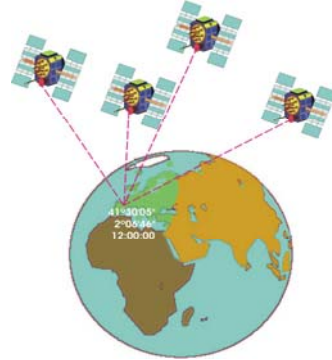
- ◆ Sistema de Posicionament Global que compleix amb els requisits imposats el 1960.
- ◆ També proporciona un sistema coordinat de temps universal (UTC)
- ◆ Format per una constel·lació de 24 satèl·lits ordenats en 6 plans orbitals inclinats a 55°, a una altura de 20180Km i amb 4 satèl·lits per pla.
- ◆ Amb control i monitorització terrestre de la salut del sistema
- ◆ Proporciona servei passiu a un nombre il·limitat d'usuaris
- ◆ Transmissions referenciades amb senyals altament precisos emprant rellotges atòmics on-board i sincronitzades amb un sistema temporal base
- ◆ Els satèl·lits emeten codis d'identificació i dades en dues freqüències emprant el Code Division Multiple Access (CDMA) anomenades L1 (1575.42MHz) i L2 (1227.6MHz)
- ◆ El receptor pot conèixer la seva posició a partir de la informació del temps de sortida del senyal subministrat pels satèl·lits
- ◆ La mesura de les dades de 4 satèl·lits permet conèixer la posició del receptor i l'offset del rellotge

Joan Oliver®. Bellaterra (Barcelona), Gener 2005



## El GPS: bases (III)

- ◆ El GPS dóna dos serveis:
  - El Precise Positioning Service (PPS), amb precisions de 22m (2 drms, 95%) en horitzontal i 27.7m en vertical. Inicialment només dóna servei a usos militars i agències governamentals.
  - El Standard Positioning Service (SPS), amb precisions de 100m (2 drms, 95%) en horitzontal i 156m en vertical. Tothom hi té accés
  - Millores al servei.
- ◆ Els requeriments inicials han estat àmpliament superats i, avui en dia, a través del DGPS s'arriba a precisions inferiors al metre
- ◆ La URSS, sota el nom de GLONASS, ha desenvolupat un sistema de posicionament global amb característiques similars.
- ◆ La UE està desenvolupant, sota el nom de Galileo, un altre sistema similar
- ◆ També proporciona una mesura precisa del temps amb un rang de 60ns a 5ns.



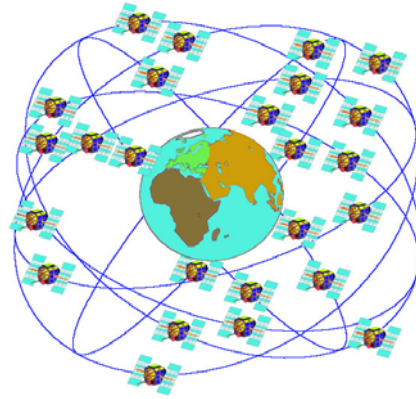
## GPS: Fonaments

*Joan Oliver*  
*Departament de Microelectrònica i*  
*Sistemes Electrònics*  
*Universitat Autònoma de Barcelona*  
 (joan.oliver@uab.es)



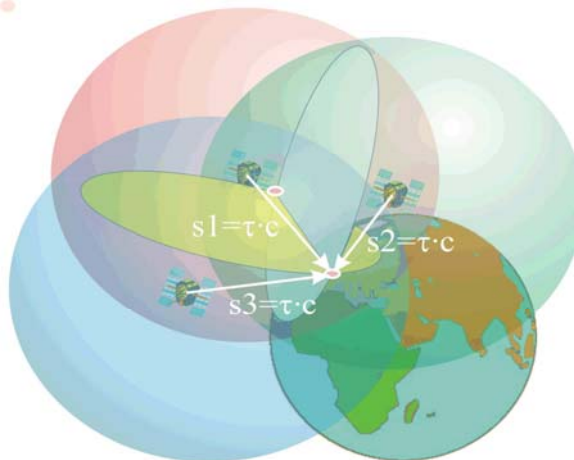
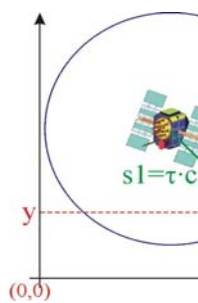
## La navegació per satèl·lit

- ◆ **Generació del senyal pel temps de trànsit**
  - El GPS funciona mesurant el temps de trànsit des que un senyal és emès pel satèl·lit fins que arriba al receptor.
  - Temps de trànsit = distància \* vel. llum**
  - Els 28 satèl·lits estan inclinats 55° respecte a l'Equador terrestre, a 20180Km en 6 òrbites diferents i donen una volta cada 11h58min.
  - Cada satèl·lit porta 4 rellotges atòmics (precisió > 1s/30000anys) sincronitzats amb punts de control terrestres per a millorar la seva precisió.
  - Cada satèl·lit transmet la seva posició i temps a una freqüència de 1575.42MHz, i triga uns 67.3ms en arribar a la terra,
  - Comparant el temps emès pel satèl·lit amb el temps del receptor (també amb un bon rellotge) es pot determinar el temps de trànsit.
  - Amb la recepció de senyal per part de 4 satèl·lits es determina la posició en un espai 3D



## La navegació per satèl·lit (II)

- ◆ **Determinació de la posició**
  - En un pla
  - En l'espai



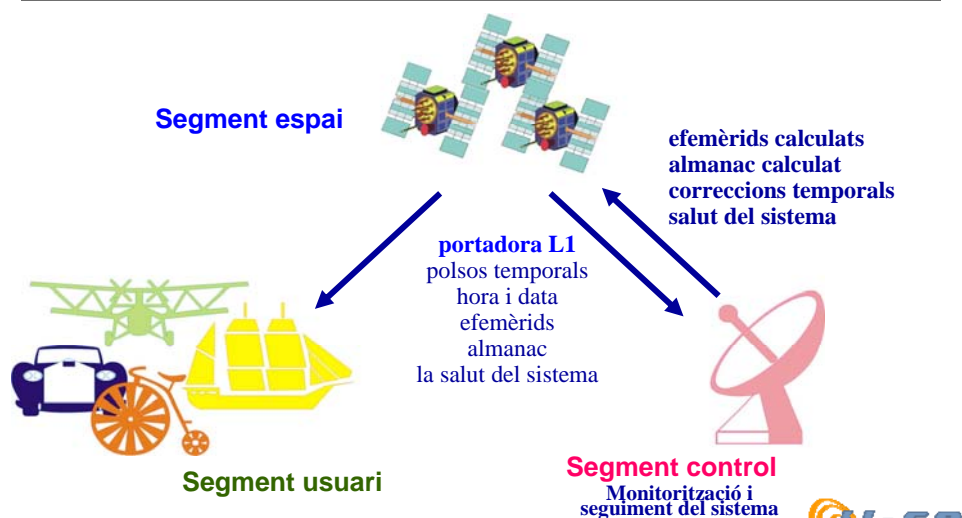
## La navegació per satèl·lit (III)

### ◆ ...però es necessiten 4 satèl·lits!

- Per a obtenir la posició sense error caldria realitzar una mesura lliure de retards. Però
  - Els tres satèl·lits, tot i de disposar de 'bons' rellotges, aquests porten associat un (petit) error, que és 'similar' per tots.  
Un error de 1  $\mu$ s provoca un error de 300m !
  - El temps de trànsit mesurat és imprecís en tant que el rellotge del receptor no és tant precís.
  - Per tant, apart dels paràmetres x, y, z ens apareix una quarta variable que cal considerar: el  $\Delta t$ .
- Com a conseqüència, tenim un sistema de 4 incògnites que es pot resoldre si es tenen 4 equacions, és a dir, ...  
... considerant 4 satèl·lits.



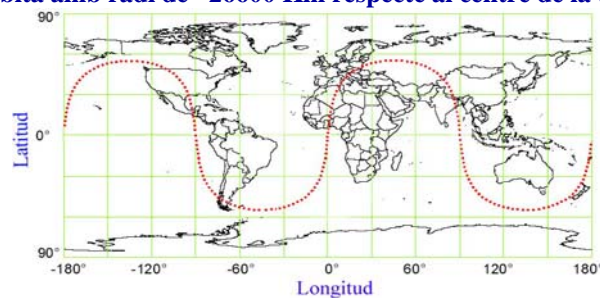
## El sistema GPS



## El sistema GPS: el segment espai

### ◆ Constel·lació de satèl·lits

- Formada per 24 (+4) satèl·lits
- Centrats en 6 òrbites planes
- Amb període orbital de 11h58m
- Separades de l'Equador per 60° i amb inclinació relativa de 55°
- Amb òrbita amb radi de ~26600 Km respecte al centre de la terra



Joan Oliver®. Bellaterra (Barcelona), Gener 2005

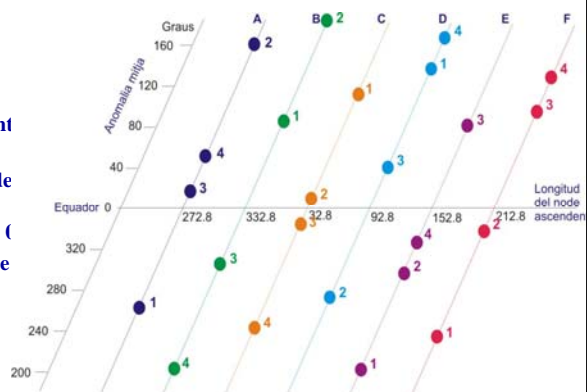


## El sistema GPS: el segment espai (II)

### ◆ La figura mostra una projecció planar de la distribució dels satèl·lits

(referenciada a 1 de juliol de 1993, 00:00)

- La pendent de cada òrbita representa la inclinació respecte a l'Equador (55°)
- L'eix de l'ascensió representa la posició longitudinal de cada òrbita, i es defineix en el punt d'intersecció amb l'Equador
- El Meridià de Greenwich defineix el punt 0 de l'ascensió
- L'anomalia mitja és la posició angular de cada satèl·lit dintre de cada òrbita, amb l'Equador com a punt d'anomalia mitja (
- Es pot observar que la fase relativa entre satèl·lits 'juntets' de diferents òrbites és d'aproximadament 40°
- La figura mostra una de les nomenclatures emprades en la referenciació dels satèl·lits



Joan Oliver®. Bellaterra (Barcelona), Gener 2005



### El sistema GPS: el segment espai: el satèl·lit

- ◆ Els 28 satèl·lits transmeten senyals temporals sincronitzades a una freqüència de 1572.48MHz.
- ◆ La mínima potència de senyal de rebuda a la terra està fixada en  $\sim -158\text{dBW}$  a  $-160\text{dBW}$  (d'acord amb les especificacions la màxima potència correspon a uns  $-153\text{dBW}$ ).
- ◆ Per assegurar aquesta potència, la portadora L1 del satèl·lit (modulada amb codi C/A) emet amb una potència de 21.9W.

	Guany(+)/Pèrdua(-)	Valor absolut
Potència del transmissor (satèl·lit)		13.4dBW (21.9W)
Guany antena satèl·lit	+13.4dB	
<i>Effective Integrated Radiate Power</i>		26.8dBW
Pèrdua de polarització (degut a mismatch)	-3.4dB	
Atenuació de senyal en l'espai	-184.4dB	
Atenuació de senyal en l'atmosfera	-2.0dB	
Guany en l'antena de recepció	+3.0dB	
Potència a l'entrada del receptor		-160dBW (-130 dBm= $100 \cdot 10^{-18}\text{W}$ )

Joan Oliver®. Bellaterra (Barcelona), Gener 2005



### El sistema GPS: el segment control

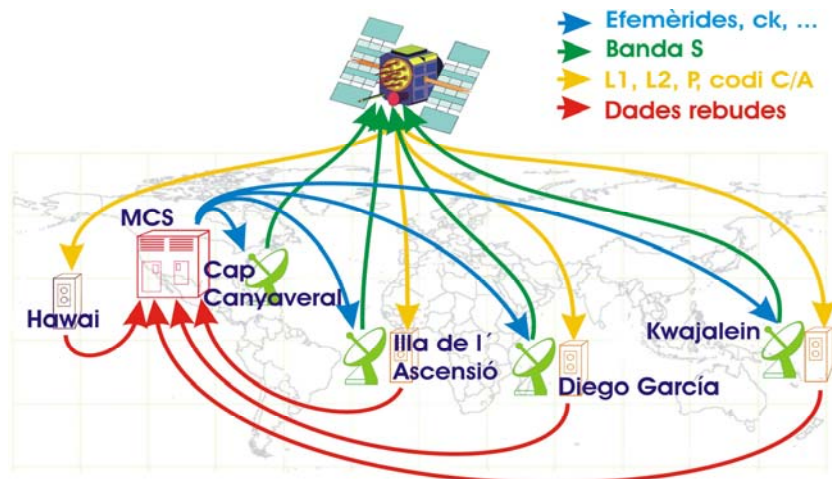
- ◆ El *Operational Control Segment (OCS)* té la responsabilitat de mantenir els satèl·lits en les seves òrbites precises i monitoritza la salut del sistema així com també monitoritza l'estat des components de bord (combustible de maniobra, estat de bateries, arrays solars, ...)
- ◆ Actualitza els rellotges dels satèl·lits, almanacs i efemèrides un cop per dia.
- ◆ Els missatges de navegació s'emmagatzemen en el satèl·lit per períodes de 14 a 210 dies (segons versió satèl·lit) actualitzant-se cada 4-5 h.
- ◆ L'almanac és una versió reduïda de l'efemèrides (conté 7 dels 15 paràmetres orbitals). Permet fer un primer posicionament aproximat ràpid.
- ◆ Supervisa la distorsió dels senyals (SA, Selective Availability) per degradar la precisió del sistema per usos civils. Es va emprar, políticament pel DoD, fins el maig del 2000
- ◆ El OCS està comprès per la Master Control Station (MCS) situada a Colorado, 5 estacions monitores terrestres equipades amb rellotges atòmics i situades prop l'Equador i antenes.

Joan Oliver®. Bellaterra (Barcelona), Gener 2005





## El sistema GPS: el segment control (II)

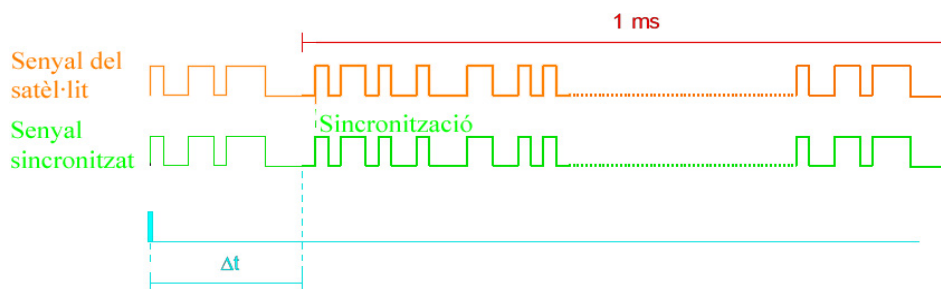


Joan Oliver®. Bellaterra (Barcelona), Gener 2005



## El sistema GPS: el segment usuari

- ◆ Els receptors processen els senyals de banda L emesos pels satèl·lits. Aquests senyals triguen uns 70 msec en arribar al receptor.
- ◆ Els satèl·lits emeten els senyals en un codi pseudoaleatori (cada satèl·lit amb el seu) tots amb la mateixa banda L1. El receptor reconeix el codi del satèl·lit del qual rep senyal per sincronització amb el codi emès, però amb un cert retard  $\Delta t$ . Per conèixer el seu PVT el receptor necessita conèixer el temps de trànsit de 4 satèl·lits.



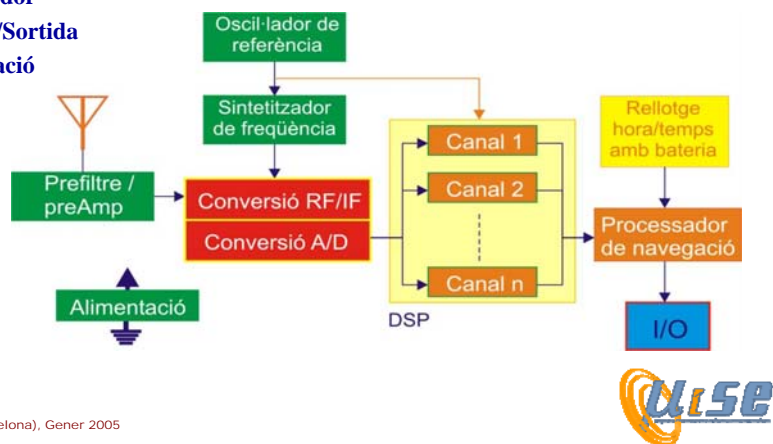
Joan Oliver®. Bellaterra (Barcelona), Gener 2005



## El sistema GPS: el segment usuari: el receptor

### ◆ El receptor GPS consta de 5 elements principals:

- Antena
- Receptor
- Processador
- Entrada/Sortida
- Alimentació



Joan Oliver®. Bellaterra (Barcelona), Gener 2005



## El senyal GPS

*Joan Oliver*  
*Departament de Microelectrònica i*  
*Sistemes Electrònics*  
*Universitat Autònoma de Barcelona*  
 (joan.oliver@uab.es)

Joan Oliver®. Bellaterra (Barcelona), Gener 2005



## El senyal GPS: fonament

- ◆ Els satèl·lits transmeten dues portadores: L1 (fprimària) i L2 (fsecundària)
- ◆ Les portadores són modulades per dos codis d'espectre ampla amb codi PRN únic.
- ◆ Tots els satèl·lits transmeten a les dues mateixes portadores però amb PRN altament no correlacionats. Això permet que els senyals puguin ser separats i descodificats mitjançant tècniques CDMA (Code Division Multiple Access)
- ◆ Per replicació dels codis PRN (que són coneguts) els receptors poden reconèixer el vehicle d'emissió.
- ◆ Les dues freqüències d'emissió permeten detectar els retards ionosfèrics (donat que aquests es comporten de forma diferent en funció de la freqüència). Els usuaris que només reben el senyal L1 han de suposar el retard a partir de models.



## El senyal GPS: fonament (II)

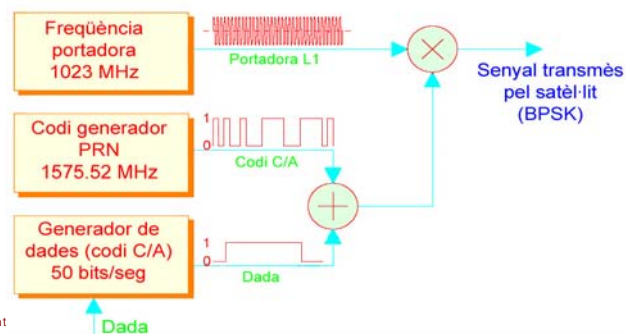
- ◆ El missatge de navegació transporta la següent informació:
  - Temps del satèl·lit i senyal de sincronisme
  - Dades orbitals precises (efemèrides)
  - Informació de correcció temporal per determinar el temps exacte del satèl·lit
  - Informació orbital aproximada de tots els satèl·lits (almanac)
  - Senyals de correcció per a calcular el temps de trànsit
  - Dades sobre la ionosfera
  - Informació de la salut del sistema
- ◆ El temps necessari per a transmetre tota la informació és de 12.5 minuts. Amb el missatge de navegació el receptor pot determinar la posició del satèl·lit i el temps en què s'ha emès el missatge.
- ◆ El codi PRN és únic per a cada satèl·lit. Consisteix de 1023 *chips*. Aquest codi (d'1 ms de duració) serveix d'identificació i de senyal de mesura del temps de trànsit.



## El senyal GPS: generació del senyal

### ◆ Aproximació simplificada:

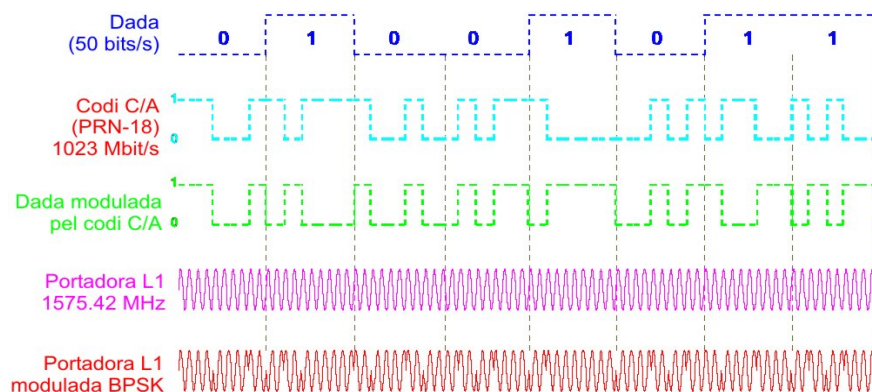
- Un dels rellotges atòmics del satèl·lit sincronitza tots els senyals: les dades a 50 Hz, el codi C/A a 1023MHz i la portadora L1 a 1575.42MHz.
- La dada modulada pel codi C/A modula al seu temps la portadora L1 emprant Bi-Phase-Shift-Keying (BPSK). A cada canvi en la dada modulada es produeix un canvi de  $180^\circ$  en la fase de la portadora L1.



Joan Oliver®. Bellat



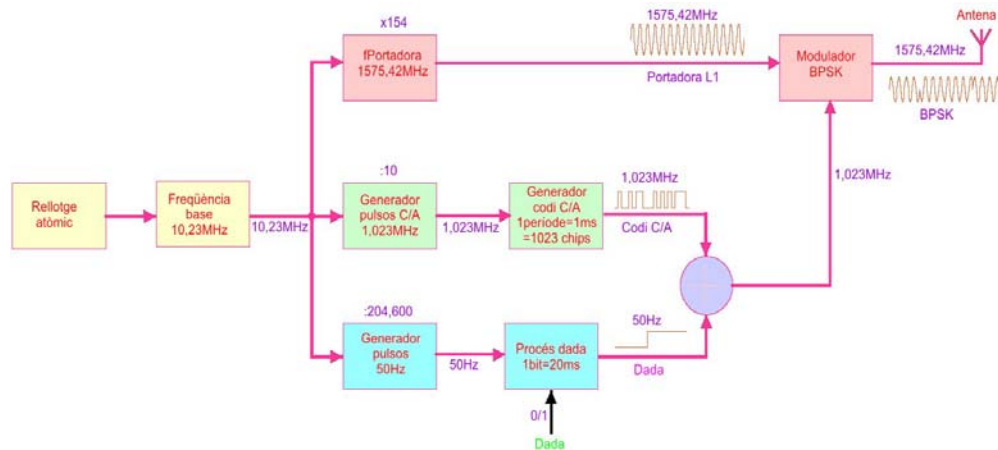
## El senyal GPS: generació del senyal: exemple



Joan Oliver®. Bellaterra (Barcelona), Gener 2005



## El senyal GPS: generació del senyal: esquema de blocs



Joan Oliver®. Bellaterra (Barcelona), Gener 2005



## El missatge de navegació

*Joan Oliver*  
*Departament de Microelectrònica i*  
*Sistemes Electrònics*  
*Universitat Autònoma de Barcelona*  
 (joan.oliver@uab.es)

Joan Oliver®. Bellaterra (Barcelona), Gener 2005



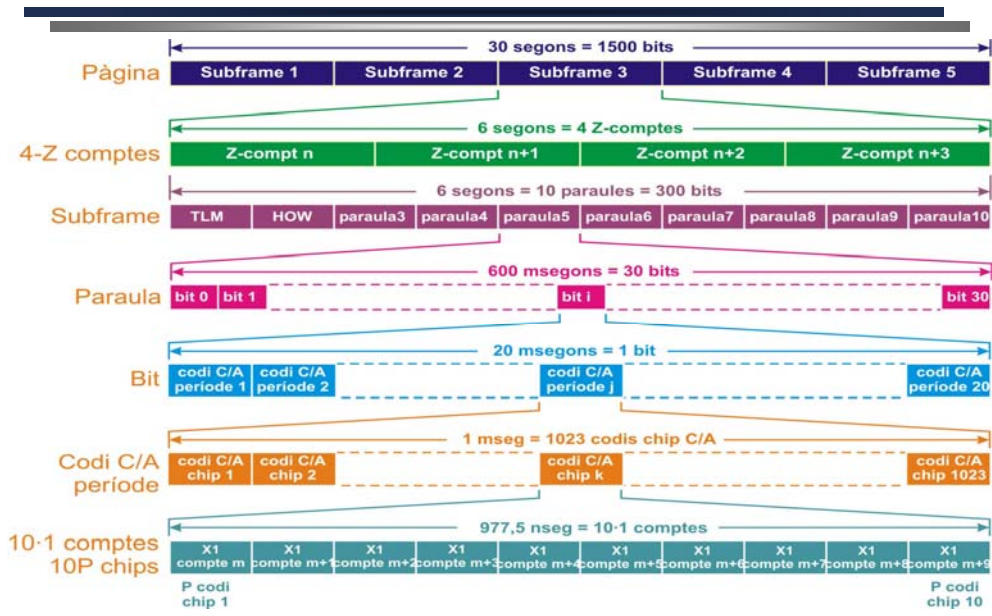
## El missatge de navegació

- ◆ El missatge de navegació es transmet a una velocitat de 50 bits per segon.
- ◆ Entre la informació que transporta hi ha:
  - El temps d'emissió en el satèl·lit i les correccions temporals
  - L'efemèrides. És a dir, informació orbital molt precisa
  - L'almanac: informació orbital aproximada dels altres satèl·lits
  - La salut del sistema, ...
- ◆ Aquesta informació és necessària per calcular la posició dels satèl·lits i determinar el temps de trànsit del senyal.
- ◆ Les dades es transmeten agrupades en unitats lògiques denominades pàgines (*frame*). Cada pàgina conté 1500 bits i triga 30 segons en transmetre's.
- ◆ Cada pàgina es subdivideix en 5 subpàgines de 300 bits i triga 6 segons en transmetre's
- ◆ Un almanac complet conté 25 pàgines. Triga, per tant, 12,5 minuts en transmetre's
- ◆ Per la inicialització del GPS es necessita tenir, com a mínim, un almanac

Joan Oliver®. Bellaterra (Barcelona), Gener 2005



## Transmissió del missatge



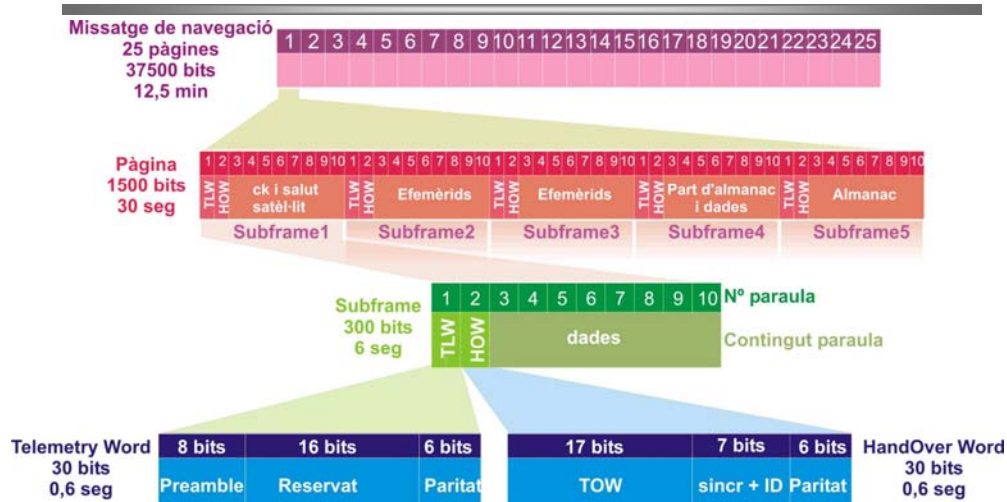
## Informació transmesa per les pàgines

- ◆ Un missatge necessita 25 pàgines i dura 12.5 minuts.
- ◆ La pàgina es divideix en 5 subpàgines. Els *subframes* 1 a 3 contenen la mateixa informació per les 25 pàgines, fet que permet que el receptor tingui el temps complet i l'efemèrides del satèl·lit transmissor casa 30 segons.
- ◆ La informació dels *subframes* és:
  - El *subframe* 1 conté informació del temps del satèl·lit, paràmetres de correcció dels retards temporals, informació sobre la salut del satèl·lit i una estimació de la precisió posicional del satèl·lit. També transmet el número de la setmana (*10-bit week number*): el temps del GPS començà el diumenge 6 de gener de 1980 a les 00:00:00. Cada 1024 setmanes el número recomença a 0
  - Els *subframes* 2 i 3 contenen l'efemèrides del satèl·lit que transmet. És informació precisa de l'òrbita del satèl·lit
  - El *subframe* 4 conté l'almanac dels satèl·lits 25 a 32 (cada *subframe* transmet dades d'un únic satèl·lit), la diferència entre els temps UTC i del GPS i informació sobre retards provocats per la ionosfera
  - El *subframe* 5 envia l'almanac dels satèl·lits 1 a 24 (cada *subframe* transmet informació d'un satèl·lit). Les 25 planes transmeten informació juntament amb la salut dels satèl·lits 1 a 24

Joan Oliver®. Bellaterra (Barcelona), Gener 2005



## Estructura del missatge



Joan Oliver®. Bellaterra (Barcelona), Gener 2005



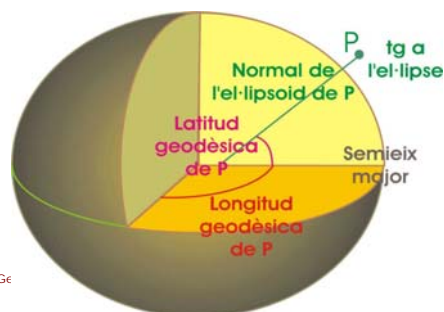
## Efemèrides i posició

*Joan Oliver*  
*Departament de Microelectrònica i*  
*Sistemes Electrònics*  
*Universitat Autònoma de Barcelona*  
 (joan.oliver@uab.es)



## Sistemes coordenats de referència

- ◆ Els sistemes coordenats han estat emprats durant els segles per especificar llocs de la superfície de la terra. En la geodèsia occidental, s'ha fet emprant l'equador, els tròpics de càncer i de capricorn i les línies de longitud i latitud. Cartògrafs orientals han emprat, des del 270dc, sistemes rectangulars
- ◆ El sistema més emprat avui en dia és el de latitud, longitud, alçada, emprant com a plans de definició de la latitud i la longitud, l'Equador i el Meridià de Greenwich
- ◆ Per a modelar correctament la terra s'empen models el·lipsoidals





## Sistemes coordenats de referència (II)

- ◆ **En la formulació de problemes de navegació per satèl·lit cal treballar amb un sistema coordinat de referència que permeti representar els estats del satèl·lit i del receptor.**
- ◆ **En aquest cas, per a la representació dels vectors posició i velocitat se sol treballar amb un sistema coordinat cartesià (angles rectes entre eixos). Entre aquests, els més utilitzats solen ser:**
  - **Earth-Centered Inertial (ECI) Coordinate System**
  - **Earth-Centered Earth-Fixed (ECEF) Coordinate System**
  - **World Geodetic System (WGS-84)**



## Sistemes coordenats de referència (III)

- **Earth-Centered Inertial (ECI) Coordinate System**
  - L'eix de la terra com a centre de masses facilita el càlcul de les òrbites seguides pels satèl·lits
  - S'obeeixen les lleis del moviment i de la gravetat de Newton: les òrbites del satèl·lit poden modelar-se com si fossin no accelerades
  - La determinació i propagació de les òrbites dels satèl·lits usen el sistema ECI
  - El pla xy coincideix amb el pla Equatorial de la terra i l'eix z passant pel pol nord i fixa en l'esfera celest, representant un sistema coordinat inercial.
  - Però el moviment de la terra no és ben bé inercial degut als efectes gravitatoris del sol i la lluna
  - La solució passa per considerar com a fix el sistema en un moment (època) determinat. A efectes de GPS s'agafa l'1 de gener del 2000 com a base
- **Earth-Centered Earth-Fixed (ECEF) Coordinate System**
  - Pels càlculs en un receptor GPS sol ser més convenient emprar un sistema que roti amb la terra
  - En aquest cas, l'eix x apunta en la direcció 0 de longitud, l'eix y en la longitud 90° (E) i l'eix z cap al nord geogràfic.
  - Facilita la determinació de la posició del receptor però implica la transformació (mitjançant matrius) de la posició dels satèl·lits (descrits en ECI) a ECEF
  - Per a trobar la posició en format (lat, long, h) cal tenir, però, un model de la terra



## Sistemes coordinats de referència (III)

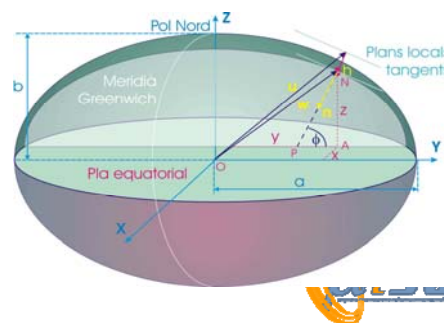
### ○ World Geodetic System (WGS-84)

- Per aplicacions amb GPS el model de la terra emprat és el World Geodetic System 1984 (WGS-84), essent un model detallat de les irregularitats gravitacionals de la terra, informació necessària per calcular de forma precisa l'efemèrides dels satèl·lits
- Però, per a trobar la (lat, long, h) de la terra, el WGS-84 proporciona un model el·lipsoïdal de la terra.
- El model és circular en el pla equatorial i el·lipsoïdal en l'eix z. El semieix major de l'el·lipse 'a' és el mateix del radi mitjà en el pla equatorial (6378,137 Km); el semieix menor correspon al radi polar de la terra (6356,7523142 Km), l'excentricitat 'e' i la planaritat 'f' són, per tant,

$$f = 1 / 298.257223563 \text{ (WGS-84)}$$

$$e^2 = 0.00669437999013 \text{ (WGS-84)}$$

$$e = \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}}, \quad f = 1 - \frac{b}{a}$$



Joan Oliver®. Bellaterra (Barcelona), Gener 2005

## Coordenades geodèsiques de l'usuari

El sistema ECEF i el WGS-84 estan acoblats i comparteixen l'origen de coordenades

Longitud, latitud i alçada es poden donar respecte a l'el·lipsoide de referència que, definits així, s'anomenen coordenades geodèsiques

Donat  $u$  (posició de l'usuari) en el sistema ECEF, la longitud geodèsica pot donar-se en funció de l'angle  $\lambda$  entre l'usuari l'eix x (mesurat en el pla xy)

$$\lambda = \begin{cases} \arctg \frac{u_y}{u_x}, & u_x \geq 0 \\ 180^\circ + \arctg \frac{u_y}{u_x}, & u_x < 0 \text{ i } u_y \geq 0 \\ -180^\circ + \arctg \frac{u_y}{u_x}, & u_x < 0 \text{ i } u_y < 0 \end{cases}$$

Latitud i alçada es defineixen en relació a la normal de l'el·lipsoide en el punt de l'usuari, punt que no apunta al centre de la terra (excepte estant en el Pol Nord o en l'Equador)

Al mateix temps, l'alçada sobre el nivell del mar i la derivada del GPS poden ser força diferents degut a la diferència entre el geode en el punt local i la de l'el·lipsoide de referència → S'han de tenir en compte les diferències entre el datum local i el del WGS-84

Alçada geodèsica (h): mínima distància entre l'usuari i l'el·lipsoide de referència

Latitud geodèsica ( $\phi$ ): angle entre  $n$  i la projecció de  $n$  en el pla equatorial

Joan Oliver®. Bellaterra (Barcelona), Gener 2005



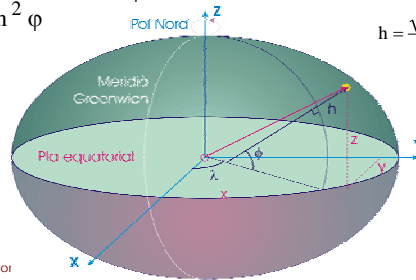
## Conversió entre sistemes coordenats

### De cilíndriques a cartesianes

$$\begin{cases} x = \frac{a \cdot \cos \lambda}{\sqrt{1 + (1 - e^2) \operatorname{tg}^2 \varphi}} + h \cdot \cos \lambda \cdot \cos \varphi \\ y = \frac{a \cdot \sin \lambda}{\sqrt{1 + (1 - e^2) \operatorname{tg}^2 \varphi}} + h \cdot \sin \lambda \cdot \cos \varphi \\ z = \frac{a \cdot (1 - e^2 \cdot \sin^2 \varphi)}{\sqrt{1 - e^2 \cdot \sin^2 \varphi}} + h \cdot \sin \varphi \end{cases}$$

### De cartesianes a cilíndriques

$$\begin{aligned} \varphi &= \operatorname{tg}^{-1} \frac{z + \left[ e^2 \cdot b \cdot \left( \sin \left( \operatorname{tg}^{-1} \frac{z \cdot a}{b \cdot \sqrt{x^2 + y^2}} \right) \right)^3 \right]}{\sqrt{x^2 + y^2} - \left[ e^2 \cdot a \cdot \left( \sin \left( \operatorname{tg}^{-1} \frac{z \cdot a}{b \cdot \sqrt{x^2 + y^2}} \right) \right)^3 \right]} \\ \lambda &= \operatorname{tg}^{-1} \frac{y}{x} \\ h &= \frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{\cos \varphi} - \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \cdot \sin^2 \varphi}} \end{aligned}$$



Joan Oliver®. Bellaterra (Barcelona)



## Efemèrides: Òrbita del satèl·lit: potencial gravitatori

- El moviment del satèl·lit respon a la llei de Newton d'atracció de cossos.
- En el model simple (atracció de dos cossos)

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a} = -G \cdot \frac{m \cdot M}{r^3} \vec{r} = -\frac{\mu \cdot m}{r^3} \vec{r}, \quad r = |\vec{r}|$$

- Un model del potencial gravitatori més precís de la terra (que té en compta que el model gravitatori de la terra no és uniforme) donat en coordenades esfèriques  $(r, \phi', \alpha)$  ve donat per

$$\frac{d^2 \vec{r}}{dt^2} = \nabla V, \quad V = \frac{\mu}{r} \left\{ 1 + \sum_{l=2}^{\infty} \sum_{m=0}^l \left( \frac{a}{r} \right)^l \cdot P_{lm} \cdot \sin \phi' \left[ C_{lm} \cdot \cos(m \cdot \alpha) + S_{lm} \cdot \sin(m \cdot \alpha) \right] \right\}$$

- Apart, cal tenir present forces de tercers cossos (lluna, sol), la pressió solar i la pèrdua de gasos en el satèl·lit, les mares terrestres, ... que fan que

$$\frac{d^2 \vec{r}}{dt^2} = \nabla V + \vec{a}_d$$

- Aleshores, a partir d'una posició donada  $r_0 = r_0(t_0)$  i d'una velocitat  $v = v(t_0)$  en un temps de referència  $t_0$  es pot trobar  $r(t)$  i  $v(t)$  en un temps  $t$ .
- De totes formes, tot i coneixent la posició inicial, el conjunt de forces actuant sobre el satèl·lit fa que fins i tot la predicció de la posició i la velocitat s'hagi de fer a partir de mètodes de càlcul numèric i només per un cert temps  $t$  posterior

Joan Oliver®. Bellaterra (Barcelona), Gener 2005



## Efemèrides: Òrbita del satèl·lit

- Per a trobar velocitat i posició el sistema GPS opta per un model de resolució kepleriana de les 6 equacions:
  - El satèl·lit fa una òrbita el·líptica al voltant del focus que és la terra (per tant, sistema coordinat ECEF o ECI)
  - El satèl·lit és en una referència (època) en  $t_0$ . A  $t_0$  és el temps de l'efemèrides
  - El punt més proper a la terra, P, és el perigeu, sent  $\tau$  el temps en què el satèl·lit hi passa
- En conseqüència  $a$  (semieix major),  $e$  (excentricitat de l'el·lipse) i  $\tau$  defineixen l'el·lipse
- Un altre paràmetre emprat és l'anomalia mitja que varia linealment amb el temps. Es troba a partir de

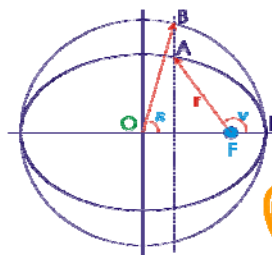
$$M = \varepsilon - e \sin \varepsilon$$

- I aleshores,  $M_0$  és l'anomalia mitja en el temps  $t_0$ , donada per

$$M_0 = -\sqrt{\frac{\mu}{a^3}} \cdot (\tau - t_0)$$

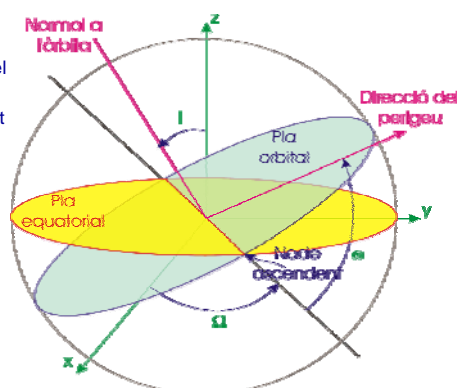
- I un període orbital

$$P = \frac{2\pi}{n}, \quad n = \text{moviment mig} = \frac{dM}{dt} = \sqrt{\frac{a^3}{\mu}}$$



## Efemèrides: Òrbita del satèl·lit (II)

- La figura mostra els altres tres elements orbitals keplerians (en el sistema ECEF del GPS)
  - $i$  = inclinació de l'òrbita: angle d'inclinació entre el pla equatorial de la terra i el pla orbital del satèl·lit
  - $\Omega$  = Longitud del node ascendent. És l'ascensió certa del node ascendent
  - $\omega$  = argument del perigeu. És l'angle del node ascendent en direcció al perigeu de l'òrbita
- Donat que el moviment del satèl·lit ve modelat per un model pertorbat, els elements keplerians "oscil·len" entorn al seu valor promig i s'han de recalculer en tot moment. Però aquest moviment és lent donat que el primer harmònic (degut a l'atracció de la terra) és altament dominant.
- Els paràmetres passats a l'efemèrides inclouen els elements oscil·lants, però no tots els pertorbadors. Per tant, per a obtenir informació precisa de la posició i velocitat del satèl·lit cal que l'efemèrides es passi sovint. A partir de l'efemèrides el receptor pot recalculer la posició i velocitat dels satèl·lits.



## Efemèrides: resum

### ○ En conseqüència, el conjunt de paràmetres que formen l'efemèrides del satèl·lit són:

- $t_{0e}$  → Temps de referència de l'efemèrides
- $a^{1/2}$  → Arrel quadrada del semieix major
- $e$  → Excentricitat
- $i_0$  → Angle d'inclinació (en el temps  $t_{0e}$ )
- $\Omega_0$  → Longitud del node ascendent (en l'època setmanal)
- $\omega$  → Argument del perigeu (en el temps  $t_{0e}$ )
- $M_0$  → Anomalia mitja (en el temps  $t_{0e}$ )
- $di/dt$  → Raó de canvi de l'angle d'inclinació
- $\Omega$  → Raó de canvi de longitud del node ascendent
- $D_n$  → Correcció mitja del moviment
- $C_{uc}$  → Amplitud de la correcció del cosinus en l'argument de la latitud
- $C_{us}$  → Amplitud de la correcció del sinus en l'argument de la latitud
- $C_{rc}$  → Amplitud de la correcció del cosinus del radi orbital
- $C_{rs}$  → Amplitud de la correcció del sinus del radi orbital
- $C_{ic}$  → Amplitud de la correcció del cosinus en l'angle d'inclinació
- $C_{is}$  → Amplitud de la correcció del sinus en l'angle d'inclinació

Joan Oliver®. Bellaterra (Barcelona), Gener 2005



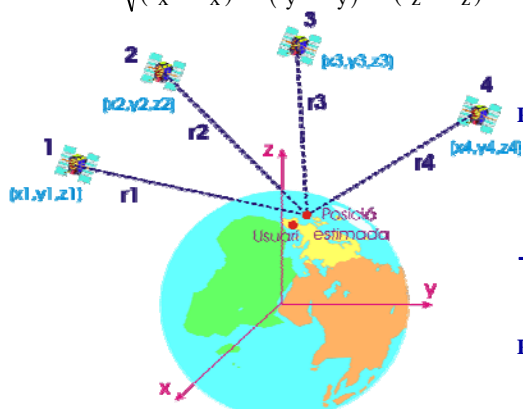
## Càlcul de la posició

### Posició de l'usuari en un sistema de referència ECEF

$$\mathbf{r} = \mathbf{s} - \mathbf{u}$$

$$r = \|\mathbf{s} - \mathbf{u}\|$$

$$r = \sqrt{(s_x - u_x)^2 + (s_y - u_y)^2 + (s_z - u_z)^2}$$



Però

- la posició de l'usuari té tres desconeguts
- ...i degut a errors en els rellotges dels satèl·lits respecte al receptor s'introdueix un quart desconegut

→

Coneixent la posició de 4 satèl·lits es determina la posició de l'usuari

Per tant,

$$PSR = \mathbf{r} + \Delta t_0 \cdot \mathbf{c}$$

Joan Oliver®. Bellaterra (Barcelona), Gener 2005



## Càlcul de la posició (II)

Trobar el pseudorang (PSR) passa, per tant, per resoldre:

$$r_1 = \sqrt{(x_1 - u_x)^2 + (y_1 - u_y)^2 + (z_1 - u_z)^2} + c \cdot \Delta t_0$$

$$r_2 = \sqrt{(x_2 - u_x)^2 + (y_2 - u_y)^2 + (z_2 - u_z)^2} + c \cdot \Delta t_0$$

$$r_3 = \sqrt{(x_3 - u_x)^2 + (y_3 - u_y)^2 + (z_3 - u_z)^2} + c \cdot \Delta t_0$$

$$r_4 = \sqrt{(x_4 - u_x)^2 + (y_4 - u_y)^2 + (z_4 - u_z)^2} + c \cdot \Delta t_0$$

Normalment els receptors resolen aquest sistema d'equacions emprant un filtre Kalman.

Una resolució senzilla i ràpida (però no tant precisa) passa per linealitzar el sistema d'equacions.

→ Aplicant Taylor sobre el punt  $x$  amb un  $\Delta x$

$$f(x) = f(x_0) + \frac{f'(x_0)}{1!} \cdot \Delta x + \frac{f''(x_0)}{2!} (\Delta x)^2 + \dots$$

→ ...i agafant el terme lineal

→ ...i a partir d'una posició estimada per  $x, y, z$ , amb errors  $\Delta x, \Delta y, \Delta z$



## Càlcul de la posició (III)

→ ...agafant com a distància genèrica per a cada satèl·lit

$$r_i = \sqrt{(x_i - u_x)^2 + (y_i - u_y)^2 + (z_i - u_z)^2} + c \cdot \Delta t_0$$

→ ...aleshores

$$\text{PSR}_i = r_i + \frac{\partial(r_i)}{\partial x} \cdot \Delta x + \frac{\partial(r_i)}{\partial y} \cdot \Delta y + \frac{\partial(r_i)}{\partial z} \cdot \Delta z + c \cdot \Delta t_0$$

$$\text{PSR}_i = r_i + \frac{u_x - x_i}{r_i} \cdot \Delta x + \frac{u_y - y_i}{r_i} \cdot \Delta y + \frac{u_z - z_i}{r_i} \cdot \Delta z + c \cdot \Delta t_0$$

Amb les quatre equacions plantejades es pot trobar  $\Delta x, \Delta y, \Delta z$  i  $\Delta t_0$ .

$$\begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \\ \Delta t_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{u_x - x_1}{r_1} & \frac{u_y - y_1}{r_1} & \frac{u_z - z_1}{r_1} & c \\ \frac{u_x - x_2}{r_2} & \frac{u_y - y_2}{r_2} & \frac{u_z - z_2}{r_2} & c \\ \frac{u_x - x_3}{r_3} & \frac{u_y - y_3}{r_3} & \frac{u_z - z_3}{r_3} & c \\ \frac{u_x - x_4}{r_4} & \frac{u_y - y_4}{r_4} & \frac{u_z - z_4}{r_4} & c \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \text{PSR}_1 - r_1 \\ \text{PSR}_2 - r_2 \\ \text{PSR}_3 - r_3 \\ \text{PSR}_4 - r_4 \end{bmatrix}$$

A partir de  $\Delta x, \Delta y, \Delta z$  i  $\Delta t_0$  es recalcula la posició fins que s'arriba a l'error desitjat (p.e. 0.1m).

$$x_j = x_{j-1} + \Delta x$$

$$y_j = y_{j-1} + \Delta y$$

Normalment es necessiten de 3 a 5

iteracions per arribar a errors de l'ordre de cm.

$$z_j = z_{j-1} + \Delta z$$



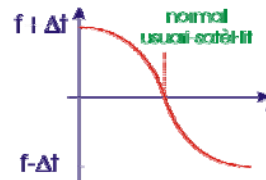
## Càlcul de la velocitat

- La velocitat es calcula per estimació de la variació Doppler en la freqüència emesa
- Donat que la velocitat del satèl·lit  $\mathbf{v}$  s'obté a partir del model orbital contingut en l'efemèrides, la freqüència rebuda  $f_R$  en funció de la transmesa  $f_T$  ve donada per

$$f_R = f_T \cdot \left(1 - \frac{\mathbf{v}_R \cdot \mathbf{a}}{c}\right), \quad \mathbf{v}_R = \mathbf{v} - \dot{\mathbf{u}}$$

amb

- $\mathbf{v}_R$  = velocitat relativa del satèl·lit respecte a l'usuari
- $\mathbf{a}$  = vector unitari apuntant de l'usuari al satèl·lit
- $\mathbf{v}$  = velocitat del satèl·lit
- $\mathbf{u}'$  = velocitat de l'usuari, tot en un sistema coordinat ECEF



- Aleshores, l'offset Doppler és (l'equació és vàlida per a cada satèl·lit)

$$\Delta f = f_R - f_T = -f_T \cdot \frac{(\mathbf{v} - \dot{\mathbf{u}}) \cdot \mathbf{a}}{c}$$

- Per tant, la freqüència rebuda del satèl·lit j-èsim és

$$f_{Rj} = f_{Tj} \cdot \left(1 - \frac{(\mathbf{v}_j - \dot{\mathbf{u}}) \cdot \mathbf{a}_j}{c}\right)$$



Joan Oliver®. Bellaterra (Barcelona), Gener 2005



## El filtre de Kalman

- El filtre de Kalman és un algorisme recursiu que estima la solució de forma òptima basat en mesures estadístiques
- El filtre conté un model dinàmic del receptor que permet estimar la PVT i les variacions en l'error associat. Pot ser derivat a partir de l'expansió en sèrie de Taylor de la posició certa del receptor
- Si  $\mathbf{u}(t)$  representa la posició de l'usuari en  $t_0$ , en  $t$  (poc) després de  $t_0$  el receptor estarà en

$$\mathbf{u}(t) = \mathbf{u}(t_0) + \left. \frac{d\mathbf{u}(t)}{dt} \right|_{t=t_0} \cdot (t - t_0) + \frac{1}{2!} \left. \frac{d^2\mathbf{u}(t)}{dt^2} \right|_{t=t_0} \cdot (t - t_0)^2 + \frac{1}{3!} \left. \frac{d^3\mathbf{u}(t)}{dt^3} \right|_{t=t_0} \cdot (t - t_0)^3 \dots$$

on

$$\left. \frac{d\mathbf{u}(t)}{dt} \right|_{t=t_0} = \text{velocitat}$$

$$\frac{1}{2!} \left. \frac{d^2\mathbf{u}(t)}{dt^2} \right|_{t=t_0} = \text{acceleració}$$

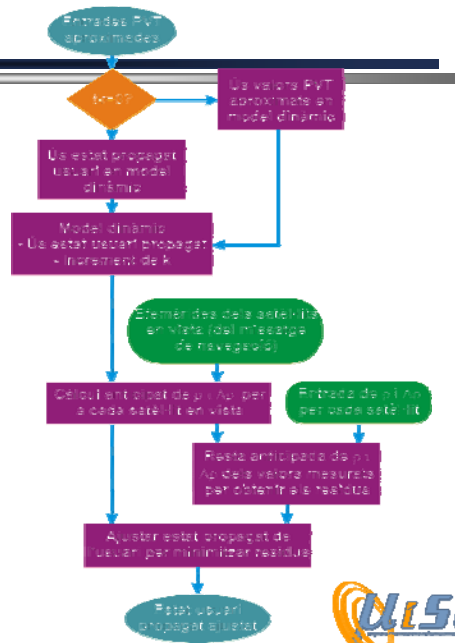
$$\frac{1}{3!} \left. \frac{d^3\mathbf{u}(t)}{dt^3} \right|_{t=t_0} = \text{'jerk'}$$

Joan Oliver®. Bellaterra (Barcelona), Gener 2005



## El filtre de Kalman (II)

- Els filtres que determinen el PVT normalment estimen 8 estats:  $(x_u, y_u, z_u)$ ,  $(x_u', y_u', z_u')$ ,  $t_u$  i  $t_u'$ .
- Un exemple de filtre és el següent. Sovint és inicialitzat a valors estimats.
- Avantatges del filtre Kalman:
  - Pot operar amb conjunts parcials de dades, ajustant els estats estimats per sospesar la incidència del soroll.
  - Té capacitat per operar amb menys de 4 satèl·lits
  - En cas d'increment de soroll, pot rebaixar el pes de la mesura donant més importància a l'estimació



## Errors en la recepció del senyal

*Joan Oliver*  
*Departament de Microelectrònica i*  
*Sistemes Electrònics*  
*Universitat Autònoma de Barcelona*  
 (joan.oliver@uab.es)





## Consideracions en l'error

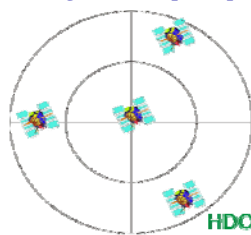
- **Causes que poden contribuir en l'error en la recepció del senyal**
  - Els rellotges dels satèl·lits  
Tot i la replicació de rellotges de cada satèl·lit, una variació de 10ns provoca 3 m d'error
  - Les òrbites dels satèl·lits  
La seva posició és coneguda entre 1 m i 5 m
  - La ionosfera i la troposfera  
Provoca un alentiment de la velocitat de la llum de fins a 4 m i 0.7 m, respectivament
  - Mesura del temps de trànsit  
El període de mesura influeix i pot ser de fins a 10-20 ns, fet que provoca un error de fins a 2.1 m  
També hi pot influir el multicamí, amb un error de 3 a 6 m
- **Tot provoca un error RMS de prop de 9.5 m**
- També cal considerar la geometria dels satèl·lits que intervenen en la mesura. Aquests efectes es coneixen com a GDOP (Geometric Dilution of Precision)
  - Error vertical (1 sigma, 68.3%, VDOP = 2.5) = 12.8 m
  - Error vertical (2 sigma, 95.5%, VDOP = 2.5) = 25.6 m
  - Error horitzontal (1 sigma, 68.3%, HDOP = 2.0) = 10.2 m
  - Error horitzontal (2 sigma, 95.5%, HDOP = 2.0) = 20.4 m
- **Les mesures fetes per la US Federal Aviation Administration indiquen que sobre un temps llarg el 95% de les mesures horitzontals estan dintre un error de 7.4m, i les verticals en 9.0m**

Joan Oliver®. Bellaterra (Barcelona), Gener 2005

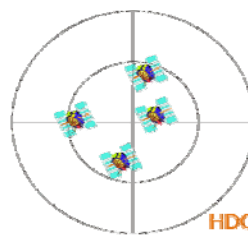


## DOP – Dilution of Precision

- La precisió de la posició depèn de la precisió en la mesura del pseudorang i de la distribució geomètrica dels satèl·lits.
- Aquesta és una mesura escalar coneguda amb el nom de DOP. Diferents termes emprats són:
  - GDOP: Geometrical DOP → Posició en l'espai 3-D, desviació temporal
  - PDOP: Positional DOP → Posició en l'espai 3-D
  - HDOP: Horizontal DOP → Posició en un pla
  - VDOP: Vertical DOP → Només alçada
- El PDOP s'entén com el valor recíproc del volum del tetraedre forma pels satèl·lits  
**La millor solució geomètrica passa per volum màxim (PDOP mínim)**



HDOP = 1,2  
DOP = 1,3  
PDOP = 1,8



HDOP = 2,2  
DOP = 6,4  
PDOP = 6,8

Joan Oliver®. Bellaterra (Barcelona), Gener 2005



## Sistemes coordenats i projeccions planars

51

*Joan Oliver*  
*Departament de Microelectrònica i*  
*Sistemes Electrònics*  
*Universitat Autònoma de Barcelona*  
(joan.oliver@uab.es)

Joan Oliver®. Bellaterra (Barcelona), Gener 2005



## El·lipsoïdes, geoides, *datums* !

52

- ◆ Quan es vol calibrar un mapa per usar en el GPS un se'n adona que hi ha molts models de referència de la superfície de la terra. Tot depèn del model el·lipsoidal i el *datum* amb què es treballa
- ◆ Existeixen més de 100 sistemes de referència per mapes (*datums*). Una elecció incorrecta pot suposar errors de 100's de metres
- ◆ El motiu n'és que la terra no és exactament rodona com deia Colom. Molts models, intentant ser precisos, s'han emprat al llarg de la història
- ◆ Actualment un geoida representa una aproximació a la superfície: la superfície de la terra i el mar no estan en una superfície amb formes definibles.
- ◆ Un geoida és un cos teòric llur superfície intersecta les línies gravitacionals en angle recte a tot arreu
- ◆ El geoida s'agafa com a referència de superfície per a mesurar l'alçada.

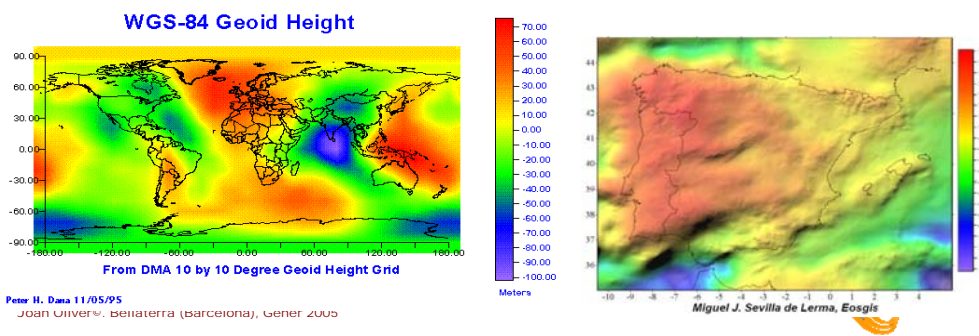


Joan Oliver®. Bellaterra (Barcelona), Gener 2005



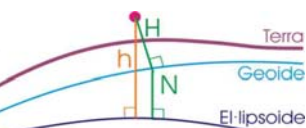
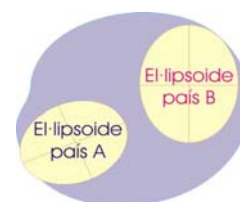
## Models de superfície

- ◆ La superfície terrestre és molt irregular. Els models de la superfície són necessaris per a la navegació
- ◆ Els models topogràfics modelen les variacions físiques de la superfície
- ◆ Els models gravitatoris i geoides modelen les variacions locals que afecten la definició de la superfície. Per exemple, les forces gravitatòries i tiduals poden fer variar la superfície del mar en diferents punts del planeta en fins a cent metres positius o negatius
- ◆ Els geoides volen representar la superfície de la terra com si fos la resultant d'actuar només les forces gravitatòries. El geoid WGS-84 defineix les alçades de forma global a tot el planeta



## El·lipsoide i datums

- ◆ Però és difícil treballar amb un geoid en el dia a dia. Per això es treballa amb el·lipsoïdes.
- ◆ Però les normals del geoid i de l'el·lipsoïde no coincideixen, i a més el punt de la superfície terrestre està mal projectat.
- ◆ Per mantenir la deflexió a un mínim es treballa amb esferoides no geocèntrics. ...i cada país té el seu !
- ◆ S'agafen semieixos  $a$  i  $b$ , i centre de l'esferoïde de forma que s'aproximin al màxim esferoïde i el·lipsoïde en el territori abastat per l'el·lipsoïde.
- ◆ Els mapes nacionals o territorials basats en aquest tipus d'el·lipsoïdes s'anomenen **datums**. Exemples en són l'Europeu 1950, a Espanya, el WGS-84 com a global, ... Això permet descriure un sistema coordenat referenciat a l'el·lipsoïde en graus de longitud i latitud. En quan a l'alçada s'agafa referenciada respecte al geoid o a l'el·lipsoïde de referència. Es coneix com a **ondulació del geoid**  $N$  a la diferència entre l'alçada el·lipsoïdal  $h$  i l'alçada ortomètrica mesurada respecte al geoid  $H$ .



## Datums: Sistemes de referència nacionals

- ◆ Hi ha, per tant, 3 superfícies (que no coincideixen i que varien les seves posicions relatives constantment) a tenir present: la terra, el geoida i l'el·lipsoid
- ◆ La distància entre l'el·lipsoida i el punt homònim en el geoida s'anomena **altura geoidal** ò **ondulació del geoida**.
  - L'altura en els mapes que utilitzem (corbes de nivell, cotes, ...) s'agafen (normalment) sobre el geoida. A Espanya, l'origen d'alçades cartogràfiques està mesurat sobre el nivell mig del mar a Alacant (NMMA). Correspon a les **alçades ortomètriques**.
  - El GPS mesura les alçades sobre l'el·lipsoida.



Joan Oliver®. Bellaterra (Barcelona), Gener 2005



## El·lipsoides locals de referència

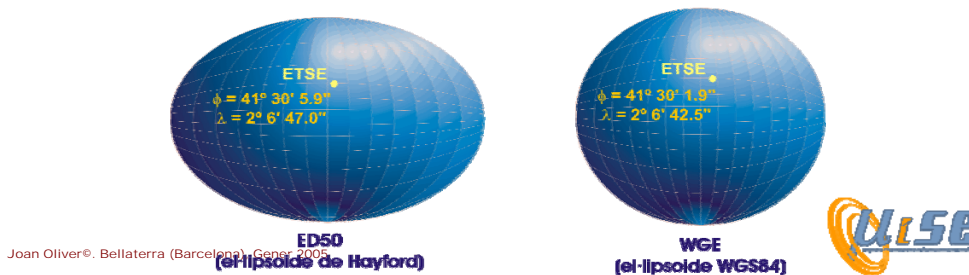
- ◆ Definita a partir del semieix major i el flattening (planaritat)
- ◆ Les nacions i organitzacions empen diferents el·lipsoides de referència.

El·lipsoid	Semi-major axis	1/flattening
Airy 1830,	6377563.396	299.3249646
Modified Airy	6377340.189	299.3249646
Australian National	6378160	298.25
Bessel 1841 (Namibia)	6377483.865	299.1528128
Bessel 1841	6377397.155	299.1528128
Clarke 1866,	6378206.4	294.9786982
Clarke 1880,	6378249.145	293.465
Everest (India 1830)*	6377276.345	300.8017
Everest (Sabah Sarawak)	6377298.556	300.8017
Everest (India 1956)	6377301.243	300.8017
Everest (Malaysia 1969)	6377295.664	300.8017
Everest (Malay. & Sing)	6377304.063	300.8017
Everest (Pakistan)	6377309.613	300.8017
Modified Fischer 1960	6378155	298.3
Helmert 1906	6378200	298.3
Hough 1960	6378270	297
Indonesian 1974	6378160	298.247
International 1924	6378388	297
Krassovsky 1940	6378245	298.3
GRS 80	6378137	298.257222101
South American 1969	6378160	298.25
WGS 72	6378135	298.26
WGS 84	6378137	298.257223563

Joan Oliver®. Bellaterra (Barcelona)

## Datum horitzontal o datum cartogràfic

- ◆ El *datum* fixa l'el·lipsoide a utilitzar amb els corresponents paràmetres geomètrics (sempre hi ha un el·lipsoide associat a un *datum*), i estableix el punt en el què la vertical geodèsica coincideix amb la vertical astronòmica. És a dir, el punt de relació entre geoide i el·lipsoide que normalment es correspon amb un punt de tangència entre ambdues superfícies. És el punt **astronòmic fonamental**. A Espanya, es sol emprar el **datum europeu de 1950 (ED50)**, que agafa com a el·lipsoide de referència l'**el·lipsoide de Hayford** (o **el·lipsoide internacional de 1924 ó de 1909**), i que estableix el punt astronòmic fonamental a la ciutat germana de Potsdam, en la Torre de Helmert (en el campus universitari d'aquesta ciutat).
- ◆ Per tant, un mateix punt sobre la superfície tindrà coordenades geodèsiques diferents segons el datum elegit.

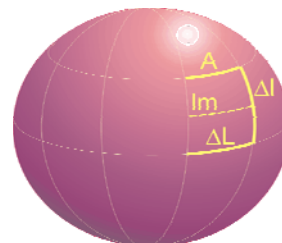


## Datum horitzontal o datum cartogràfic (II)

- ◆ La diferència en metres, d'equivocar-se d'el·lipsoide és, en aquest cas, de 153m !
- ◆ Coordenades geogràfiques en datum ED50: 41° 30' 5.9''N, 2° 6' 47.0''  
Coordenades geogràfiques en datum WGS84: 41° 30' 2.0''N, 2° 6' 42.9''

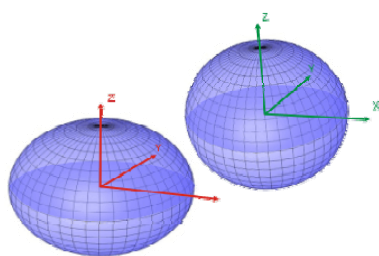
En 'primera aproximació', i donat que ens referim a distàncies petites, es pot calcular la diferència que això suposa aplicant les fórmules que es fan servir en navegació marítima:

- $\Delta l = 3.9''$   
 $\Delta L = 4.1''$   
 $l_m = 41^\circ 30' 3.95'' = 41.5658^\circ$
- $A = \Delta L \cdot \cos l_m = 3.068''$   
 $\Delta \text{distància} = (\Delta l^2 + A^2)^{1/2} = 4.96''$
- Com que  $1' (= 60'') = 1$  milla nàutica = 1852 m, aleshores  
 **$\Delta \text{distància} = 4.96'' = 153.16 \text{ m} !!!$**
- **Calculat amb més precisió (eina de càlculs geodèsics) s'obtidria 153.36**

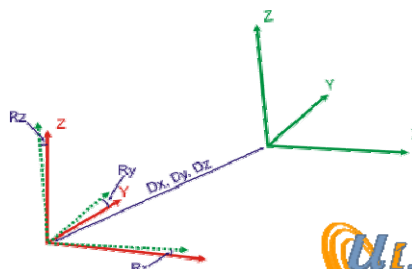


## Transformació de datums

- ◆ Per passar coordenades referides en un datum a un segon datum, primer s'han de passar a geodèsiques, després a geocèntriques i, finalment, s'han de compensar les diferències dels dos sistemes coordenats geocèntrics
  - El que implica tenir en compta 7 paràmetres, 3 corresponents a traslació de centres coordenats, 3 corresponents a compensació d'orientació i un final d'escalat.
- ◆ Tot i que sovint tenint present només la traslació de centres ja es pot aconseguir una bona transformació, si es necessita certa precisió cal anar a la transformació de 7 paràmetres.



Joan Oliver®. Bellaterra (Barcelona), Gener 2005



## Transformació de datums (II)

- ◆ Com ja s'ha dit, normalment s'usen els sistemes de referència locals enlloc dels el·lipsoidals geocèntrics. El terme *datum* geodèsic fa referència a la relació entre ambdós sistemes.
- ◆ Per tant, les 7 coordenades que calen per a fer la transformació vénen especificades com:
  - $\Delta x$ ,  $\Delta y$  i  $\Delta z$ , que fan referència a la traslació (en m)
  - $\phi x$ ,  $\phi y$  i  $\phi z$  que fan referència a la rotació (en °)
  - i  $m$  que és l'escalatge (en parts per milió o ppm)

Alguns datums geodèsics:

Pais	Nom	$\Delta x$ (m)	$\Delta y$ (m)	$\Delta z$ (m)	$\phi x$ (°)	$\phi y$ (°)	$\phi z$ (°)	m (ppm)
Alemania	Postdam	586	87	409	-0.52	-0.15	2.82	9
França	NTF	-168	-60	320	0	0	0	1
Itàlia	SI 1940	-225	-65	9	-	-	-	-
Suïssa	CH1903	660.077	13.551	369.344	0.8065	0.5789	0.9542	5.66

Joan Oliver®. Bellaterra (Barcelona), Gener 2005

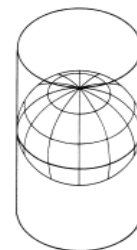
## Datum a Espanya

- ◆ La major part de la cartografia pertany a l'Institut Geogràfic Nacional i al Servicio Cartográfico del Ejército, georeferenciada amb el European Datum 1950 (ED50) (Península Ibèrica i Illes Balears). També s'utilitzen el European Datum 1979 (ED79) i el European Datum 1987 (ED87). A les illes canàries s'empra el datum del Pico de las Nieves (Gran Canària).
- ◆ Característiques del ED50
  - a = 6378388 m
  - 1/f = 297 m
  - punt fonamental: 13° 03' 58.741"E, 52° 22' 51.446"N
- ◆ Per definir clarament un sistema de referència cal especificar el Datum i l'el·lipsoide. A Espanya s'utilitza l'el·lipsoide internacional de Hayford i es troba en el datum corresponent a Europa Occidental (Postdam).



## Projeccions cartogràfiques

- ◆ La cartografia vol representar en un pla una extensió de terra de la superfície de la terra. Donat que la terra és el·lipsoïdal, això requereix de certa transformació.
- ◆ La projecció cartogràfica estableix una correspondència biunívoca entre els punts de l'el·lipsoide i la transformació en el pla. Però això porta associat un conjunt de deformacions (lineals, superficials o angulars)
- ◆ Solen ser projeccions sobre cilindres, cons o plans, amb conservació de distàncies, àrees o angles.
- ◆ Classificació de projeccions cartogràfiques
  - Cilíndriques (cilindre tangent o secant a la terra)
    - Cilíndrica regular: cilindre tangent o secant a l'Equador
      - Paral·lels i meridians perpendiculars entre si
      - Escala a l'Equador regular
      - Pot fer-se equidistant, equiàrea o conforme
      - Exemples:
        - Equirectangular: la més antiga, aprox. 100 a.c. Emprada en el Renaixement
        - Mercator: projecció conforme, ideada el 1569 per Mercator. Basada en un rumb en línia recta (línia loxodròmica) en el mapa (per deformació progressiva de la latitud), fet que no la fa útil per latituds majors de 70°
        - Cilíndrica equiàrea de Lambert (1772). Conserva les àrees. Meridians equidistants i paral·lels ajuntant-se conforme augmenta la latitud



## Projeccions cartogràfiques: cilíndriques

### ○ Cilíndriques transversals

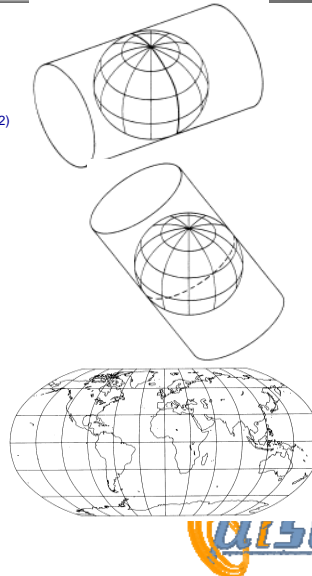
- Cilindre tangent al meridià central ( $90^\circ$  respecte a l'Equador)
- Exemples:
  - Transversa Mercator (Lambert, 1772)
  - UTM. És la transversa Mercator modificada per Gauss (1822) i Kruger (1912)
  - Cassini. Equirectangular amb cilindre col·locat transversalment. Emprada a França i Alemanya, avui no s'utilitza

### ○ Cilíndriques obliques

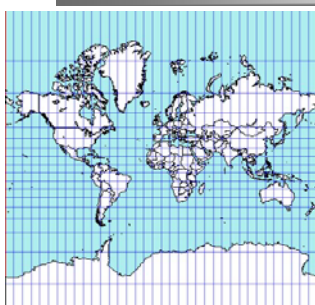
- Cilindre rotat  $45^\circ$  respecte a la tangent a l'Equador
- Exemples:
  - Projecció obliqua a l'Equador (Peirce, 1984). Emprada a Àsia i Amèrica Central

### ○ Pseudocilíndrica

- Només el meridià central és recte.
- Mostra la terra completa amb certa curvatura
- Exemples:
  - Projeccions de Mollweide, de Robinson, de Eckert i la sinusoidal

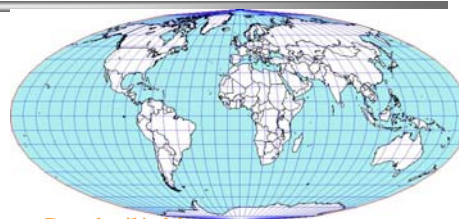


## Projeccions cartogràfiques: cilíndriques (II)



### Mercator

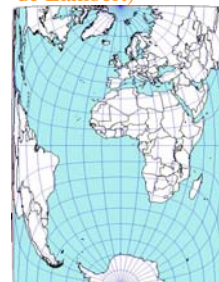
Meridians i paral·lels rectes amb angles rectes  
Escala vertadera a paral·lels equidistants de l'Equador  
Emprada per navegació per tenir azimut constant



### Pseudocilíndrica

**Mollweide**  
La terra en una el·lipse  
Espai entre paral·lels en el meridià central calculat de forma que totes les àrees del mapa es corresponen amb les corresponents del globus  
Distorsió mínima en el centre del mapa i màxima en els costats

### Transversal obliqua equiàrea (transversa de Lambert)



### Pseudocilíndrica sinusoidal

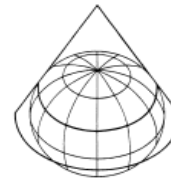
Escala veritable només en el meridià central i els paral·lels  
Usada en països amb orientació nord-sud



## Projeccions cartogràfiques: còniques

### ○ Projeccions còniques

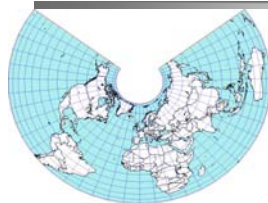
- Projecció sobre con tangent o secant al llarg d'un paral·lel, amb eix del con coincident amb l'eix de la terra
- La representació s'observa com un conjunt de rectes convergents (meridians) i circumferències concèntriques (paral·lels)
- Zona de precisió petita, fet que només les fa útils en mapes de domini est-oest enfront nord-sud
  - Projecció cònica simple. Conserva les distàncies
  - Projecció cònica conforme de Lambert. Conserva els angles
  - Projecció cònica equiàrea d'Albers
  - Projecció cònica equiàrea de Lambert
  - Projecció policònica. Sobre cons tangents a cada paral·lel



Joan Oliver®. Bellaterra (Barcelona), Ger



## Projeccions cartogràfiques: còniques (I)



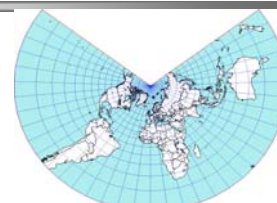
Projecció cònica equiàrea  
Albers



Projecció cònica equidistant

Paral·lels igualment espaiats entre meridians i distàncies entre paral·lels igual a la longitud d'arc en el globus.

Distàncies mesurades al llarg dels meridians i al llarg dels paral·lels a escala, però les altres distàncies distorsionades



Projecció cònica conforme de  
Lambert

Perduda i recuperada en la 1a Guerra Mundial com a projecció estàndard per mapes de mitja i llarga escala, en regions i latituds on no s'emprava la projecció Mercator



Projecció de Bonne (pseudocònica anàloga a la sinusoidal)

Construïda a partir d'un con amb paral·lels equidistants en els meridians i, després, escalats a escala veritable (equiàrea)

Limitada a àrees menors d'un hemisferi

Fou utilitzada com a projecció base en mapes topogràfics francesos

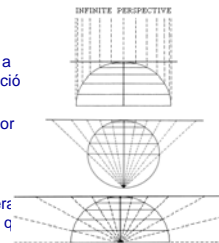
Joan Oliver®. Bellaterra (Barcelona), Gener 2005



## Projeccions cartogràfiques: azimuthals

### ○ Projeccions azimuthals o planars

- Posada sobre un pla tangent al globus.
  - Projecció ortogràfica. Punt de llum a l'infinit (feixos de llum paral·lels). Menor distància a l'Equador i major als costats. Projecció equivalent, però cal considerar una altra projecció en els pols.
  - Projecció gnomònica (feix de llum interior al globus). Menor distància a l'Equador i major als costats. Projecció equivalent, però cal considerar una altra projecció en els pols. Equador a escala real i pols no representables. Poc útil i no es sol emprar, ja que no conserva ni mida ni angles.
  - Projecció estereogràfica (feix d llum diametralment oposat –antípodes- al punt considerat). Compromís amb menor distorsió que la gnòmica a punts allunyats i menor deformació que l'ortogràfica a punts allunyats. Poc emprada.



#### Ortogràfica equatorial



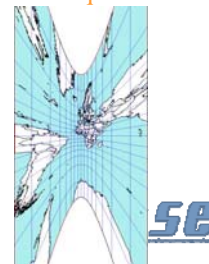
Joan

005

#### Estereogràfica equatorial



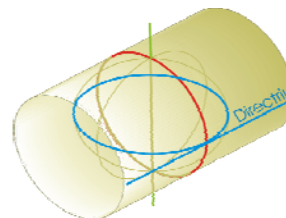
#### Gnòmica equatorial



SE

## Projeccions cartogràfiques: la projecció UTM

- ◆ Anomenada cilíndrica transversa conforme de Gauss
- ◆ És una projecció transversa de Mercator, tangencial i conforme
- ◆ Les coordenades UTM són coordenades cartesianes que surten de fer la projecció de les coordenades del cilindre al pla agafant com a eix directiu la línia tangent a l'Equador en el meridià corresponent. Hi ha una correspondència biunívoca entre les coordenades geogràfiques (longitud, latitud) i les UTM (x, y)
- ◆ La projecció UTM agafa com a base:
  - Un el·lipsoide de referència. A Espanya es fa servir l'el·lipsoide Internacional de Hayford, agafat com a referència el 1930 per l'Associació Internacional de Geodèsia
  - Un punt astronòmic fonamental (datum). Per a Espanya s'ha agafat el de Postdam, que correspon al datum agafat per a Europa occidental
  - Un sistema de referència pla conforme. Donat que no serveix per a grans extensions, es subdivideix el globus en 60 fusos iguals de 6° de longitud, i limitat a les latituds 84°N i 80°S. Pels pols es fa servir el sistema UPS (*Universal Polar Stereographic*). Cada fus té, al mateix temps, 20 zones, 10 situades a l'hemisferi nord i 10 a l'hemisferi sud.



ULSE

## Projeccions cartogràfiques: origen de la UTM

### 1. Punt de partida: projecció Mercator

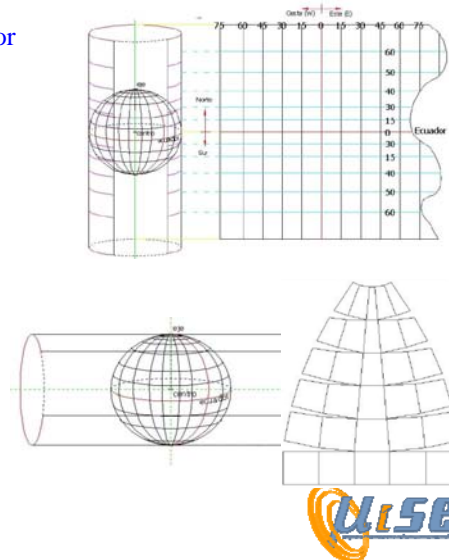
### 2. Projecció Mercator transversa

### 3. Projecció UTM, versió tangent

Projecció Mercator transversa tangent en el meridià central del fus a representar, i amb fusos de  $6^\circ$

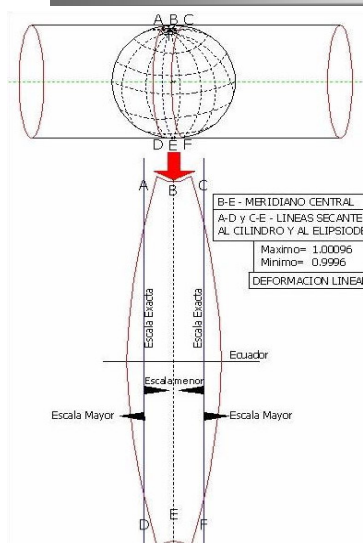
Això fa que només el meridià central del fus tingui factor de deformació lineal  $K=1$ . La relació de les distàncies reals i les projectades presenta un mínim de 1 i un màxim de 1.01003

Per evitar que la distorsió de les magnituds lineals augmenti conforme s'augmenta la distància al meridià central s'aplica un factor  $K_c=0.9996 \rightarrow$



Joan Oliver®. Bellaterra (Barcelona), Gener 2005

## Projeccions cartogràfiques: origen de la UTM (II)



Joan Oliver®. Bellaterra (Barcelona), Gener 2005

### 4. Projecció UTM (secant)

Es creen dos línies amb factor d'anamorfosis = 1

Per tant, només dues línies seran considerades rectes en la representació: el meridià central i el paral·lel  $0^\circ$  (Equador).

La distorsió lineal presenta un mínim de  $-0.04\%$  i un màxim de  $+0.096\%$

#### Avantatges del UTM

Conserva els angles

Distorsiona poc (per dessota de latituds  $80^\circ$ )

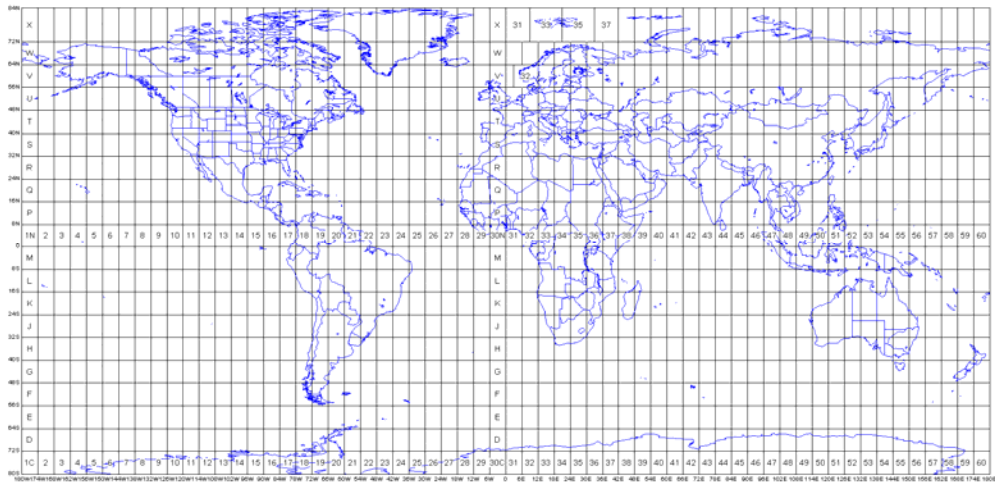
Designa un punt de forma única i fàcil

Usat per tothom, especialment en usos militars

En els pols s'ha d'emprar el UPS



## Projeccions cartogràfiques: la projecció UTM (II)



Joan Oliver®. Bellaterra (Barcelona), Gener 2005



## Projeccions cartogràfiques: Distribució UTM a Espanya

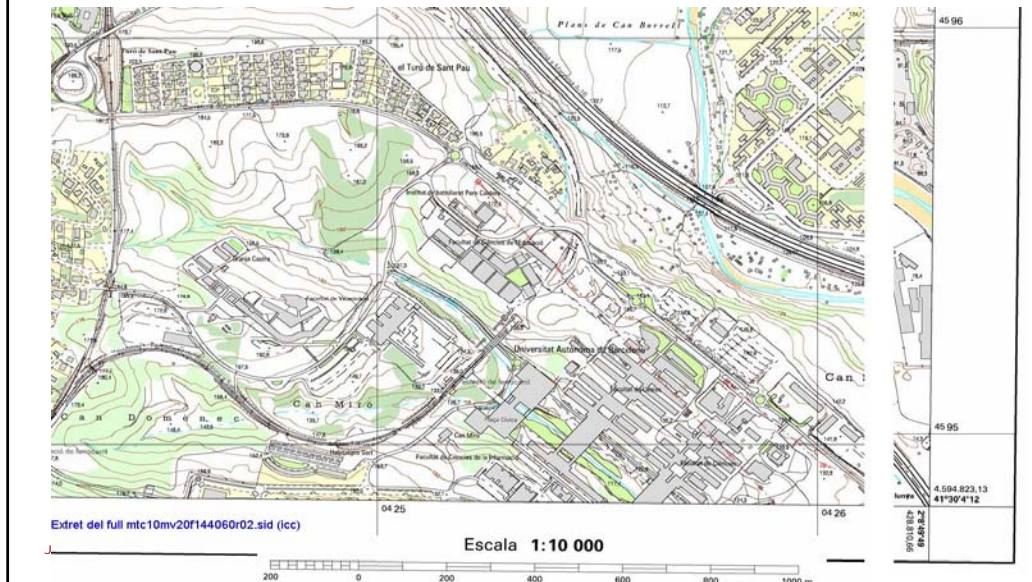


- La Península Ibèrica comprèn 3 fusos i 2 zones, motiu pel que té 3 orígens de coordenades
- El fus 31, per exemple, identifica la superfície terrestre situada entre les latituds 0° i 6°E, amb el merididià de 3°E com a central

Joan Oliver®. Bellaterra (Barcelona), Gener 2005



## Projeccions cartogràfiques: exemple UTM



## Projeccions cartogràfiques: coordenades en UTM

El sistema localitza un punt del tipus

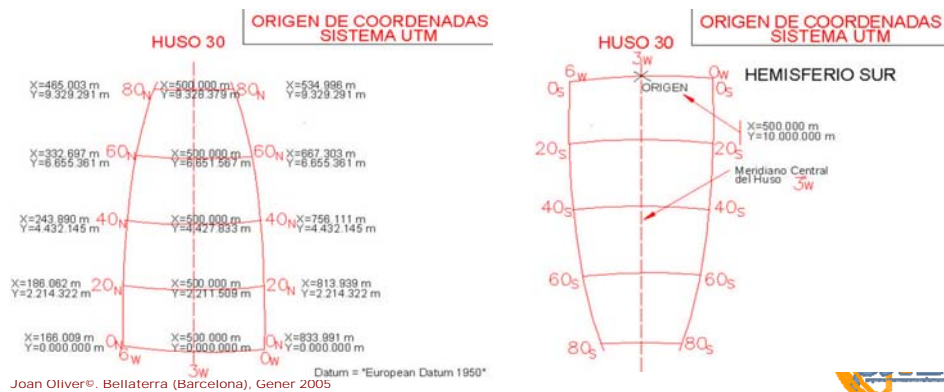
X = 425955m

y = 4594920m

Com es fa?

Fus: 31T

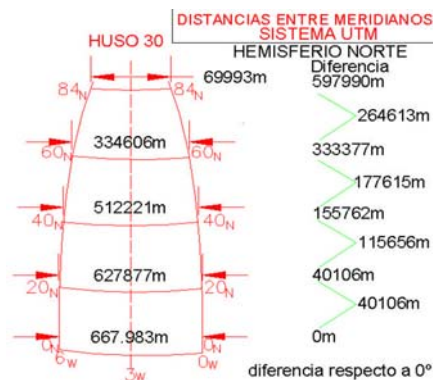
Datum: ED50





## Projeccions cartogràfiques: coordenades en UTM (II)

Amb l'origen de coordenades del sistema UTM i amb la projecció que s'utilitza, les distàncies entre meridians disminueixen conforme anem cap al nord (o cap al sud si ens trobem en l'hemisferi sud)



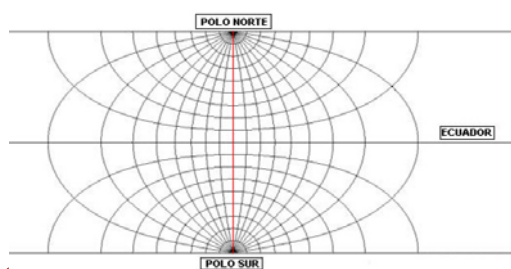
Joan Oliver®. Bellaterra (Barcelona), Gener 2005



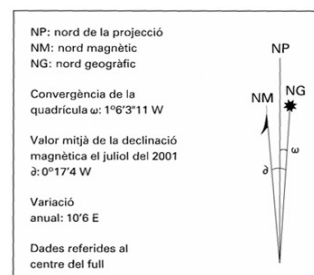
## Projeccions cartogràfiques: coordenades en UTM: malles

A partir dels fusos i zones cada sistema cartogràfic generen les seves malles: mapes que ajunten punts amb mateixa latitud i longitud. El que coneixem com a mapes d'escala 1:50000, 1:10000, ...

Com a conseqüència el sistema de quadrícules UTM no marca el nord geogràfic en totes les quadrícules (fetes a partir dels fusos i zones) ja que els meridians i paral·lels apareixen distorsionats respecte a la quadrícula. De fet només la quadrícula amb meridià central marca el nord geogràfic. Per tant, cada quadrícula tindrà una desviació anomenada **convergència de la quadrícula**



Joan Oliver®. Bellaterra (Barcelona), Gener 2005



## Eines per a càlculs geodèsics

---

Hi ha multitud d'eines que faciliten el treballar i convertir dades geodèsiques entre diferents el·lipsoïdes i datums.

Algunes d'aquestes són (o les podeu trobar a):

- GENCOORD: <http://ourworld.compuserve.com/homepages/mgis>
- GEOTRANS: <http://earth-info.nga.mil/GandG/geotrans/>
- Algorismes, exemples i conversors: <http://recursos.gabrielortiz.com>



## GPS diferencial

---

*Joan Oliver*  
*Departament de Microelectrònica i*  
*Sistemes Electrònics*  
*Universitat Autònoma de Barcelona*  
(joan.oliver@uab.es)



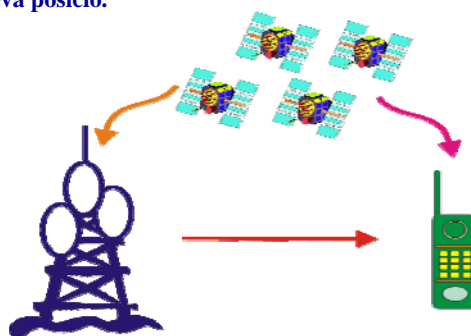
## GPS diferencial

- ◆ L'ús d'un receptor de referència permet millorar la precisió del senyal rebut pel receptor.
- ◆ Permet eliminar molts errors, entre ells el SA
- ◆ El procés, DGPS, es basa en dos principis:
  - Basat en la mesura del temps de trànsit del senyal → precisió fins a 1 m
  - Basat en la mesura de la fase de la portadora → precisió fins a 1 cm



## DGPS per mesura del temps de trànsit del senyal

1. Les estacions de referència (amb posició exactament coneguda) mesuren el temps de trànsit dels satèl·lits i determinen el pseudorang. La diferència en pseudorangs (el veritable i el calculat del satèl·lit) dona el valor de correcció
2. El valor correctiu és enviat (per ràdio, ...) al receptor.
3. El receptor, amb els valor correctius pot calcular els pseudorangs veritables i determinar la seva posició.





## El sistema RASANT: <http://www.icc.es/geofons/rasant/ca/home.html>

◆ L'Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC), la Direcció General de Transports (DGT) i el Centre de Telecomunicacions de la Generalitat de Catalunya (CTGC) han establert el servei RASANT de radiodifusió de correccions diferencials del Sistema de Posicionament Global (GPS). Combinant els senyals dels satèl·lits del GPS i els senyals del RASANT es poden obtenir coordenades de punts de fins a 1 m de precisió relativa. Les aplicacions de l'esmentat sistema són moltes. En particular, permet la determinació precisa de la posició de vehicles de flotes de transport terrestre. En general, permet la ubicació de qualsevol element, estàtic o mòbil, sobre el territori.

- Ubicació de l'estació de referència: Centre de Telecomunicacions i Enllaços del CTGC a Bellmunt de Segarra
- Abast de les correccions diferencials: tot Catalunya
- Emissora: Catalunya Música
- Etapa: experimental
- Formats: Rasant V.2 (RTCM SC-104 comprimit)
- Tipus d'observable utilitzat per a generar les correccions diferencials: codi suavitzat amb fase



## El sistema RASANT (II)

◆ RASANT és un sistema de radiodifusió de correccions diferencials calculades per l'ICC en estacions de referència equipades amb receptors GPS. Les correccions estan basades en el format estàndard RTCM SC-104 i s'envien a través del sistema RDS que incorpora el senyal de Catalunya Música a les seves emissions. La cobertura útil és la mateixa en què es rep el senyal estereofònic de Catalunya Música en condicions normals i s'estén, aproximadament, a un 90% del territori i abasta un 95% de la població. El sistema RASANT comprimeix les correccions diferencials en format RTCM SC-104 i les reestructura per a millorar la robustesa del sistema.



## El sistema RASANT (III)

### ◆ Extracció de la informació

#### ○ Ràdio de cotxe convencional:

Amb l'ús d'una ràdio de cotxe es pot extreure tota la informació RDS de les subportadores d'FM, aquesta informació s'injecta a un ordinador que extreu la informació útil, regenera els formats RTCM SC-104 i els injecta al receptor GPS.

#### ○ Targeta per instal·lar en un PC

Es pot utilitzar un receptor d'FM RDS (targeta PCMCIA tipus II, targeta per a connectar en un bus ISA, ...). Del PC s'extreuen les correccions diferencials en format RTCM SC-104 per utilitzar en un receptor GPS extern. També es poden utilitzar receptors GPS instal·lats en el mateix PC.

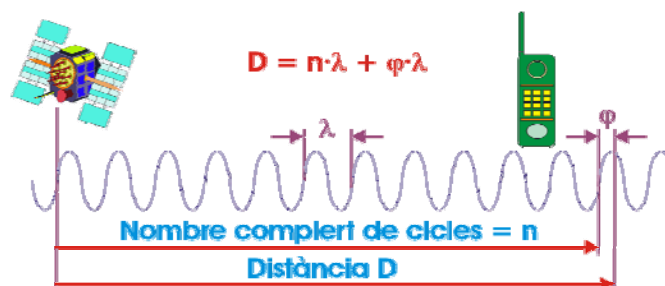
#### ○ Aparells integrats

També estan disponibles en el mercat aparells completament autònoms (tipus caixa negra) que disposen de receptor de ràdio-RDS i de processador per a descomprimir la informació i injectar directament les correccions diferencials al receptor GPS, que també pot estar també integrat en el mateix aparell.



## DGPS per mesura de fase de la portadora

- ◆ Per tenir major precisió es mesura la fase de la portadora.
- ◆ Donada la longitud d'ona de la portadora, que és  $\lambda = 19\text{cm}$ , la distància al satèl·lit es determina pel desfasatge a l'usuari



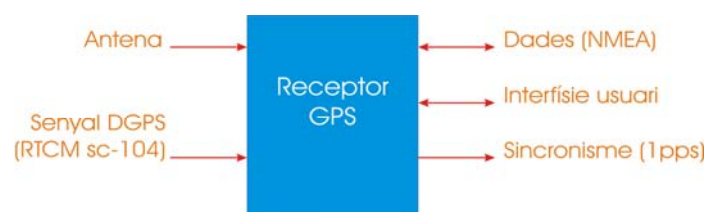
## Format de les dades NMEA del GPS

*Joan Oliver*  
*Departament de Microelectrònica i*  
*Sistemes Electrònics*  
*Universitat Autònoma de Barcelona*  
 (joan.oliver@uab.es)



## Interfísies d'entrada de dades

### ◆ Diagrama de blocs de la interfísie del GPS

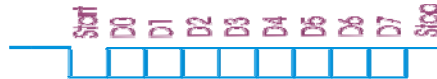


- ◆ El receptor proporciona els càlculs de la posició, velocitat, ... a l'usuari emprant un format de comunicació simple com el RS232.
- ◆ La informació es proporciona sota un format especial estandaritzat per la National Marine Electronics Association (NMEA). Avui en dia s'empra l'especificació NMEA-0183



## Format del missatge NMEA

- ◆ El missatge NMEA es transmet en format RS232, a 4800 bauds (9600 o més en alguns receptors d'avui en dia).



- ◆ El format que pren el missatge NMEA és el següent (màxim 79 caràcters de missatge)

**\$GPDTS,inf1,inf2,inf3,inf4,inf5,inf6,infn\*CS<CR><LF>**

Camp	Descripció
\$	Començar el missatge
GP	Informació de GPS
DTS	Identificador del conjunt de dades
inf1, ...	Informació numèrica
,	Separador d'items
*	Separador de checksum
CS	Control de checksum
<CR><LF>	Carriage return, line feed

Joan Oliver®. Bellaterra (Barcelona), Gener 2005



## Comandes NMEA-0183 més comunes

- ◆ El format NMEA s'empra en diferents sistemes de comunicació, com ara Loran, GNSS, GPS, Transit, ... i l'empren empreses diverses
- ◆ En el que respecte al GPS s'empren el següent conjunt de dades

Camp	Descripció
GGA	Dades fixes del GPS
GLL	Posició geogràfica: latitud/longitud
GSA	Degradació de la precisió (DOP) i satèl·lits actius
GSV	Satèl·lits en vista del GNSS
RMC	Especificacions GNSS mínimes
VTG	Direcció i velocitat sobre terra
ZDA	Temps i data

Joan Oliver®. Bellaterra (Barcelona), Gener 2005



### Exemple GPGGA (Dades fixes)

◆ Exemple (senyal no adquirit):

\$GPGGA,235947.000,0000.0000,N,00000.0000,E,0,00,0.0,0.0,M,,,,0000\*00

Exemple (senyal adquirit):

\$GPGGA,092204.999,4250.5589,N,14718.5084,E,1,04,24.4,19.7,M,,,,0000\*1F

Camp	Exemple	Comentari
Sentència ID	\$GPGGA	
Temps UTC	092204.999	hhmmss.sss
Latitud	4250.5589	ddmm.mmmm
Indicador N/S	N	N / S
Longitud	14718.5084	ddmm.mmmm
Indicador E/W	E	E / W
Posició fix	1	0=Invàlid, 1=SPS, 2=DGPS, 3=PPS
Satèl·lits usats	04	Satèl·lits en ús: 0- 12
HDOP	24.4	Desviació precisió horitzontal
Altitud	19.7	En metres, segons el-lipsoide WGS-84
Unitats de l'altitud	M	M=metres
Separació del geoide		En metres, segons el-lipsoide WGS-84
Unitats de separació		En metres
Edat DGPS		En segons
ID de l'estació DGPS	0000	
Checksum	*1F	
Terminació	CR/LF	

Joan



### Exemple GPGLL (Latitud/Longitud)

◆ Exemple (senyal no adquirit): \$GPGLL,0000.0000,N,00000.0000,E,235947.000,V\*2D

Exemple (senyal adquirit): \$GPGLL,4250.5589,S,14718.5084,E,092204.999,A\*2D

Camp	Exemple	Comentari
Sentència ID	\$GPGLL	
Latitud	4250.5589	ddmm.mmmm
Indicador N/S	S	N / S
Longitud	14718.5084	ddmm.mmmm
Indicador E/W	E	E / W
Temps UTC	092204.999	hhmmss.sss
Status	A	A=Vàlid, V=Invàlid
Checksum	*2D	
Terminació	CR/LF	

### Exemple GPGSA (satèl·lis actius)

◆ Exemple (senyal no adquirit): \$GPGSA,A,1,,,,,,,,,0.0,0.0,0.0\*30

Exemple (senyal adquirit): \$GPGSA,A,3,01,20,19,13,,,,,,,,,40.4,24.4,32.2\*0A

Camp	Exemple	Comentari
Sentència ID	\$GPGSA	
Modus 1	A	A=Auto 2D/3D, M=Forçat 2D/3D
Modus 1	3	1=No fix, 2=2D, 3=3D
Satèl·lit 1 usat	01	Satèl·lit usat en el canal 1
Satèl·lit 2 usat	20	Satèl·lit usat en el canal 2
Satèl·lit 3 usat	19	Satèl·lit usat en el canal 3
Satèl·lit 4 usat	13	Satèl·lit usat en el canal 4
Satèl·lit 5 usat		Satèl·lit usat en el canal 5
...	...	...
Satèl·lit 12 usat	1	Satèl·lit usat en el canal 12
PDOP	E	Desviació precisió posició
HDOP	1	Desviació precisió horitzontal
VDOP	04	Desviació precisió vertical
Checksum	*0A	
Terminació	CR/LF	

Joan



### Exemple GPGSV (vehicles en vista)

◆ Exemple (senyal no adquirit): \$GPGSV,1,1,01,21,00,000,\*4B

Exemple (senyal adquirit):

\$GPGSV,3,1,10,20,78,331,45,01,59,235,47,22,41,069,,13,32,252,45\*70

Camp	Exemple	Comentari
Sentència ID	\$GPGSV	
Número de missatges	3	Número de missatges en el missatge complert (1-3)
Satèl·lits en vista	10	
Número de seqüència	1	Ordre d'aquesta entrada en la seqüència
Id satèl·lit 1	20	Rang: 1 - 32
Elevació 1	78	En graus (0-90)
Àzimut 1	331	En graus (0-359)
Id satèl·lit 2	59	
Elevació 2	235	
Àzimut 2	47	
...	...	...
Checksum	*70	
Terminació	CR/LF	

Joan Oliver®. Bellaterra (Barcelona), Gener 2005



### Exemple GPRMC (Posició i temps)

- ◆ Exemple (senyal no adquirit):

\$GPRMC,235947.000,V,0000.0000,N,00000.0000,E,,041299,,\*1D

Exemple (senyal adquirit): \$

GPRMC,092204.999,A,4250.5589,S,14718.5084,E,0.00,89.68,211200,,\* 25

Camp	Exemple	Comentari
Sentència ID	\$GPRMC	
Temps UTC	092204.999	hhmmss.ss
Status	A	A=Vàlid, V=Invàlid
Latitud	4250.5589	ddmm.mmmm
Indicador N/S	S	N / S
Longitud	14718.5084	ddmm.mmmm
Indicador E/W	E	E / W
Velocitat sobre terra	0.00	Nusos
Direcció sobre terra	0.00	Graus
Data UTC	211200	DDMMYY
Variació magnètica		Graus
Variació magnètica		E=Est, W=Oest
Checksum	*25	
Terminació	CR/LF	

### Exemple GPVTG (Direcció sobre terra)

- ◆ Exemple (senyal no adquirit): \$GPVTG,,T,,M,,N,,K\*4E

Exemple (senyal adquirit): \$GPVTG,89.68,T,,M,0.00,N,0.0,K\*5F

Camp	Exemple	Comentari
Sentència ID	\$GPVTG	
Direcció	89.68	Graus
Referència	89.68	T=Direcció certa
Direcció		Graus
Referència	89.68	T=Direcció magnètica
Velocitat	0.00	Velocitat horitzontal
Unitats	K	Km/h
Checksum	*5F	
Terminació	CR/LF	

### Exemple GPZDA (Temps UTC)

◆ Exemple (senyal adquirit): \$GPZDA,130305.2,20,06,2001,,\*57

Camp	Exemple	Comentari
Sentència ID	\$GPZDA	
Temps UTC	130305.2	hhmmss.ss
Dia	20	
Mes	06	
Any	2001	
Hora		Reservat per hora local
Minuts		Reservat per minut local
Checksum	*57	
Terminació	CR/LF	



### NMEA: Exemple

The screenshot displays the 'NMEA Input and Output' application window. The top pane shows a list of NMEA sentences, including \$GPRMB, \$GPRMC, \$GPRVA, \$GPRWG, \$GPRDA, \$GPRDB, \$GPRDV, and \$GPRMC. The bottom pane shows a map interface with a speedometer set to 135m, a true speed of 0.0, and a map scale of 68. The map shows a street grid with a red arrow pointing to a specific location. The status bar at the bottom indicates the current position: 41° 30' 04.3" N, 2° 06' 45.3" E, 311, 4.25 932, 45 94 043N, 19 55 56E.





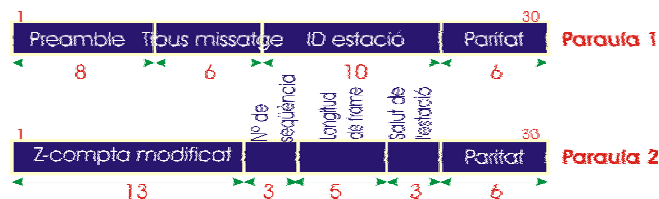
## Correcció DGPS (standard RTCM SC-104)

- ◆ Radio Technical Commission for Maritime Services Special Committee 104
- ◆ El RTCM SC-104 s'usa per transmetre valors de correcció.
- ◆ Hi ha dues versions
  - La 2.0. Gener 1990
  - La 2.1. Gener 1994
- ◆ Ambdues versions tenen 63 tipus de missatges, essent els 1, 2, 3 i 9 els usats per les correccions en les mesures



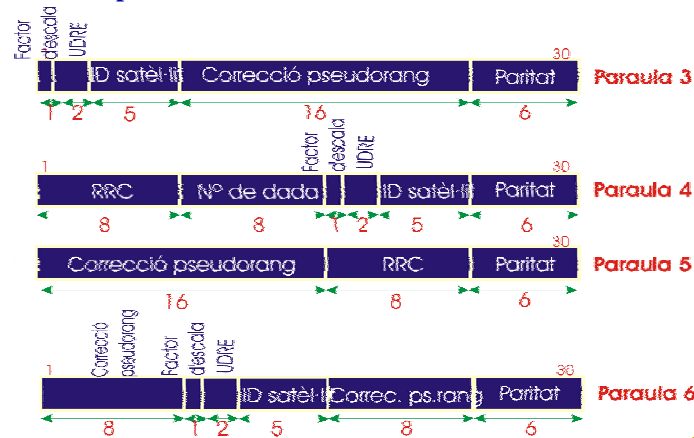
## Correcció DGPS: Capçalera del missatge

- ◆ Cada missatge està dividit en paraules de 30 bits i cada instància comença amb capçaleres uniformes que comprenen dues paraules
- ◆ De la informació de la capçalera se'n extreu el missatge que en segueix i l'estació que l'ha emès



### Correcció DGPS: Missatge RCTM tipus 1

- ◆ Transmet correccions del pseudorang de tots els satèl·lits que observa l'estació basades en l'efemèrides
- ◆ El format de les paraules 3 a 6 és:



Joan Oliver®. Bellaterra (Barcelona), Gener 2005



### Correcció DGPS: Missatge RCTM tipus 2 a 9

- ◆ El missatge tipus 2 transmet dades de correcció del PSR basades en dades orbitals. L'utilitza el receptor quan és incapaç d'agafar les dades del satèl·lit.
- ◆ El missatge 3 transmet les coordenades tridimensionals de l'estació de referència.
- ◆ El missatge tipus 9 transmet la mateixa informació que el missatge 1 però limitada a 3 satèl·lits, que es corresponen amb els de màxima velocitat de canvi de dades
- ◆ Les dades enviades no poden ser més velles de 60 segons
- ◆ La precisió també decrementa amb la distància, amb un error que pot ser de 0.5m a 1.5m dintre en un radi màxim de 250Km

Joan Oliver®. Bellaterra (Barcelona), Gener 2005



## ...sobre compteig del temps!

- TAI = Temps Atomic Internacional → escala de temps absoluta universal. Basat en la freqüència de resonància (constant atòmica) del Cesi i agafada com a referència des del 1967 i igual a 9.192.631.770 Hz. El començament del temps atòmic s'agafa com a 01.01.1958 a les 00.00h
- UTC = Temps universal coordinat → Escala de temps basada en el TAI i ajustada al temps coordinat universal. Compta en segons:  $UTC = TAI * n$ , n=segons complets alterats en 1 de gener o 1 de juny
- Temps GPS: basat en n° de setmanes i segons passats en la setmana. El dia d'inici és el 6 de gener de 1980 a les 0.00. Cada setmana comença en la mitjanit del dissabte al diumenge. La diferència de temps entre UTC i Temps GPS és enviada en el missatge de navegació
- Temps del satèl·lit → Variacions en la freqüència atòmica dels satèl·lits que s'ha de tenir present en els càlculs de temps basats en la mesura del GPS
- Temps local → Temps de referència en una àrea local, referenciat al UTC segons el temps zonal i regulacions governamentals
- Exemple:

Temps base	Temps mostrat	Diferència n a UTC (segons)
Temps local	08:31:26	7200 = 2h
UTC	06:31:26	0
GPS	06:31:39	+13
TAI	06:31:58	+32

Joan Oliver®. Bellaterra (Barcelona), Gener 2005



## Formats propietaris

*Joan Oliver*  
*Departament de Microelectrònica i*  
*Sistemes Electrònics*  
*Universitat Autònoma de Barcelona*  
 (joan.oliver@uab.es)

Joan Oliver®. Bellaterra (Barcelona), Gener 2005



## Formats propietaris

- ◆ **Apart del NMEA existeixen alguns formats propietaris que descodifiquen el senyal del GPS**
- ◆ **Entre aquests cal considerar:**
  - SiRF: serveix de base a més de 15 protocols propietaris
  - Motorola
  - Trimble
  - ...
- ◆ **El problema de treballar amb protocols propietaris és la dependència que es genera en el moment que s'ha de canviar el receptor**



## SiRF: Conjunt de missatges emprats

Nº	Nom	Descripció
2	Measure navigation data	Posició, velocitat i temps
4	Measured tracking data	S/N, elevació i àzimut
5	Raw track data	Mesura de distància 'tal qual'
6	SW version	Software del receptor
7	Clock status	Status de la mesura del temps
8	50BPS data subframe	Informació del receptor (format (ICD)
9	Throughput	Rendiment de la CPU
11	Command knowledge	Confirmació de la recepció
12	Command NAcknowledgement	Petició fallada
13	Visible list	Nombre de satèl·lits visible
14	Almanac data	Almanac
15	Ephemerides data	Efemèrides
18	OkToSend	Status On/Off de la CPU
19	Navigation parameters	Resposta a una comanda POLL
255	Development data	Ítems interns d'informació



## SiRF: Descripció del missatge 2

Nom	Bytes	Unitat	Comentaris
ID missatge	1		Sempre val 2
Posició X	4	m	Posició calculada pel receptor
Posició Y	4	m	
Posició Z	4	m	
Velocitat X	2	m/8s	Velocitat calculada pel receptor
Velocitat Y	2	m/8s	
Velocitat Z	2	m/8s	
Mode 1	1	Bitmap	Entre altres coses té l'algorisme per determinar la posició dels SV
DOP	1	1/5	Valors PDOP, HDOP (depenent de l'algorisme)
Mode 2	1	Bitmap	Informació addicional per dades 'vàries'
Setmana GPS	2		Nº setmana des de 6 gener 1980. El 22 agost 1999 reset del rellotge a 0
GPS TOW	4	s/100	Segons des del començament de la setmana
SV's en fix	1		Nº de satèl·lits emprats per calcular la posició
CH1	1		Identificació del nº dels satèl·lits emprats per trobar la posició
...	...		
CH12	1		



## SiRF: Missatge 2: exemple (I)

- ◆ Les dades es reben (a una freqüència de 1 Hz) en un format com:

**A0A2002902FFD6F78CFFBE536E003AC004000000301040A00036B039780E30612190E160F0400000000000009BBB0B3**

on:

**Seqüència d'inici: A0A2**

**Longitud de la informació en bytes: 0029**

**Informació:**

**02FFD6F78CFFBE536E003AC00400000030001040A00036B039780E30612190E160F04000000000000**

**Checksum: 09BB**

**Final de seqüència: B0B3**

La interpretació és



## SiRF: Missatge 2: exemple (II)

Nom	Bytes	Escala	Valor(HEX)	Unitat	Escala	Valor decimal
ID missatge	1		02			2
Posició X	4		FFD6F78C	m		-2689140
Posició Y	4		FFBE536E	m		-4304018
Posició Z	4		003AC004	m		3850244
Velocitat X	2	*8	0000	m/s	Vx/8	0
Velocitat Y	2	*8	0003	m/s	Vy/8	0.375
Velocitat Z	2	*8	0001	m/s	Vz/8	0.125
Mode 1	1		04	Bitmap		4
DOP	1	*5	0A	/5	/5	2.0
Mode 2	1		00	Bitmap		0
Setmana GPS	2		036B			875
GPS TOW	4	*100	039780E3	S	/100	602605.79
SV's en fix	1		06			6
CH1	1		12			18
...	...					
CH12	1		00			0

Joan Oliver ©. Bellaterra (Barcelona), Gener 2005



## Protocol Motorola

- ◆ Apart del NMEA els receptors Motorola tenen un format propi

Nº	Nom	Descripció
@@Aa	Time of day	Temps
@@Ab	GMT Offset	Offset GMT
@@Ac	Date	Data
@@Ad	Latitude	Latitud
@@Ae	Longitude	Longitud
@@Af	Height	Alçada
@@AO	RCTM Port Mode	Mode DGPS
@@Ay	1PPS Offset	Offst 1pps
@@Az	1PPs Cable Delay	Retard cable
@@Bb	Visible Satellite Status Message	Salut dels satèl·lits visibles
@@Be	Almanac Data Output	Almanac
@@Bo	UTC Offset Status Message	Offset UTC al temps GPS
@@Ea	Receiver ID	Identificació del receptor

Joan Oliver ©. Bellaterra (Barcelona), Gener 2005



## Protocol Trimble

- ◆ Apart del NMEA els receptors Trimble tenen el format propi TSIP

Nº	Nom
0X41	GPS time
0X42	Single precision XYZ position
0X45	Software version information
0X46	Health of the receiver
0X47	Signal level for all satellites
0X48	GPS system message
0X4A	Single precision LLA position
0X4D	Oscillator offset
0X55	I/O options
0X83	Double precision XYZ
0X84	Double precision LLA
0X85	Differential correction status
0X8F-25	Low power mode
0X8F-27	Low power configuration

Joan Oliver®. Bellaterra



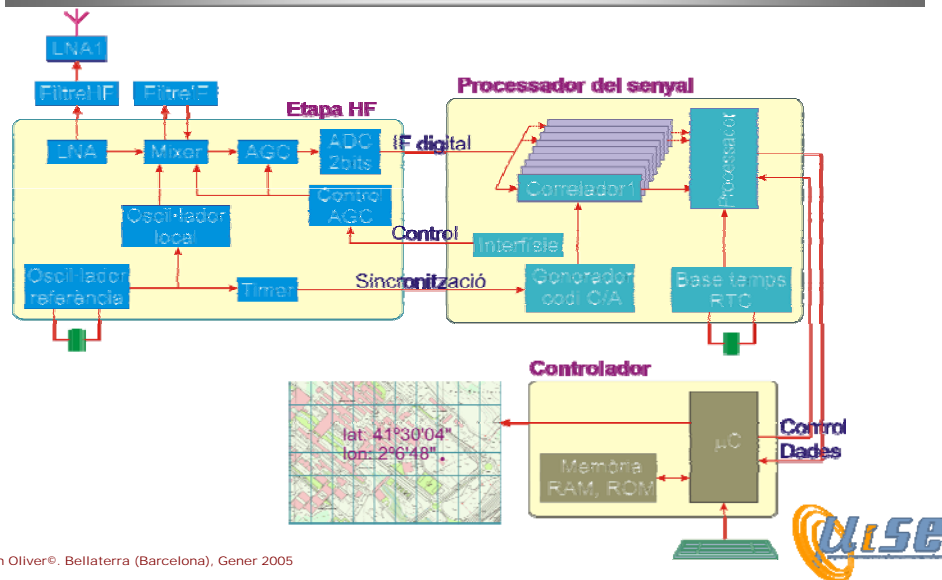
## Receptors GPS

*Joan Oliver*  
*Departament de Microelectrònica i*  
*Sistemes Electrònics*  
*Universitat Autònoma de Barcelona*  
 (joan.oliver@uab.es)

Joan Oliver®. Bellaterra (Barcelona), Gener 2005



## Fonaments del receptor GPS



Joan Oliver®. Bellaterra (Barcelona), Gener 2005

## Aplicacions

*Joan Oliver*  
*Departament de Microelectrònica i*  
*Sistemes Electrònics*  
*Universitat Autònoma de Barcelona*  
 (joan.oliver@uab.es)

Joan Oliver®. Bellaterra (Barcelona), Gener 2005





## Aplicacions

---

- ◆ **El GPS proporciona:**
  - La posició exacta (latitud, longitud, altura) en un rang de 20m a 1mm
  - L'hora UTC amb una precisió de 60ns a 1ns
- ◆ **Per tant, i de forma força directa s'obtenen**
  - La velocitat
  - L'acceleració
  - La direcció
  - El temps local
  - Mesures de distància
- ◆ **En conseqüència,**

... QUÈ ES POT FER AMB UN GPS?



## Aplicacions (II)

---

- ◆ **El temps precís generat pel GPS s'utilitza per sincronitzar xarxes de comunicació en el món. Exemple: la E-911 (lleï americana Enhanced-911): quan es produeixi un accident i es truqui al 911, es pot localitzar on s'ha produït l'accident en un rang de 125m**
- ◆ **En ciència i recerca s'empra en àrees tan diverses com:**
  - Arqueologia
  - Geofísica: Sismologia, glacialogia
  - Geologia: mapeig, cerca de dipòsits minerals, ...
  - Física: mesura de fluxs, estandardització del temps, ...
  - Expedicions científiques
  - Enginyeria: agrimensura, edificació, ...
  - Geografia i cartografia, sistemes d'informació geogràfica.
  - Ecologia
  - Geodèsia
  - Navegació
  - ...



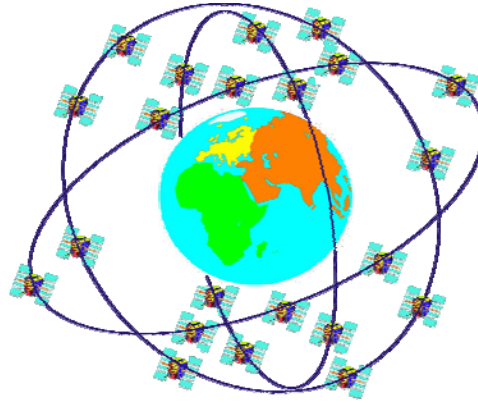
## Aplicacions (III)

- ◆ **Comerç i indústria**
  - Tot el que fa referència al transport de mercaderies, minimitzant temps de transport, cercant rutes alternatives quan hi ha problemes de tràfic, generant sistemes de navegació, ...
  - En aviació i navegació marítima.
  - Enviant informació ferroviària sobre la localització dels trens
  - En aplicacions de seguretat: alarmes, dispositius de localització en cotxes robats, ...
  - En emergències en cas d'accidents, ...
- ◆ **Tecnologies de les comunicacions, introduint temps de sincronització universals**
- ◆ **Turisme i esport**
- ◆ **A nivell militar !!!!!!!**
- ◆ **Mesura del temps**
- ◆ ...

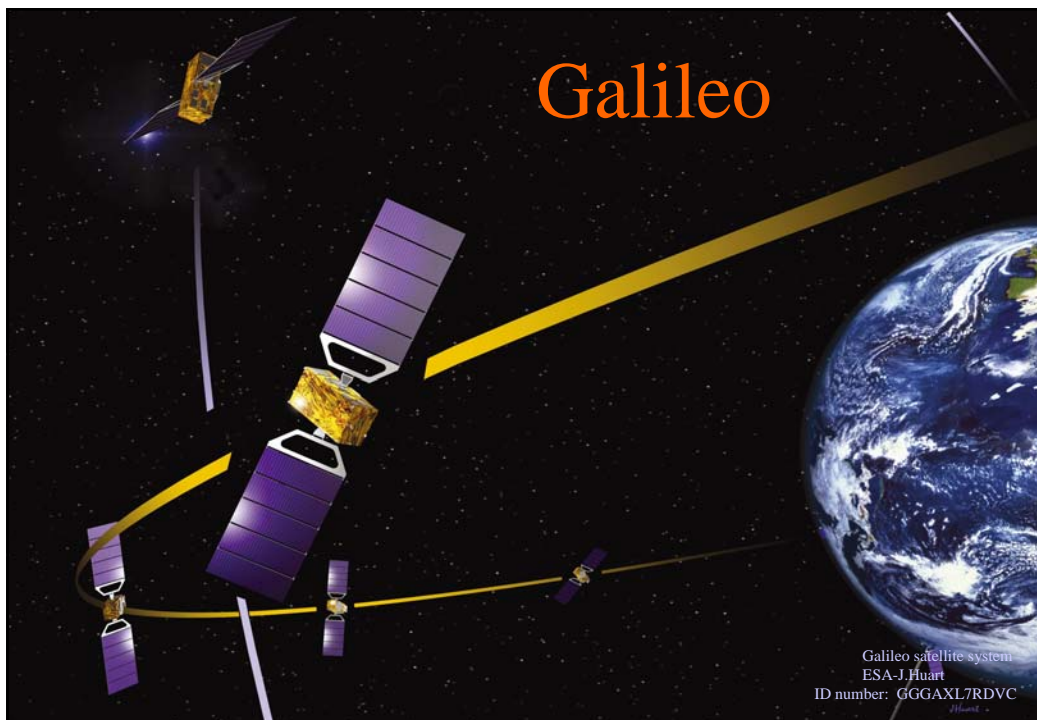


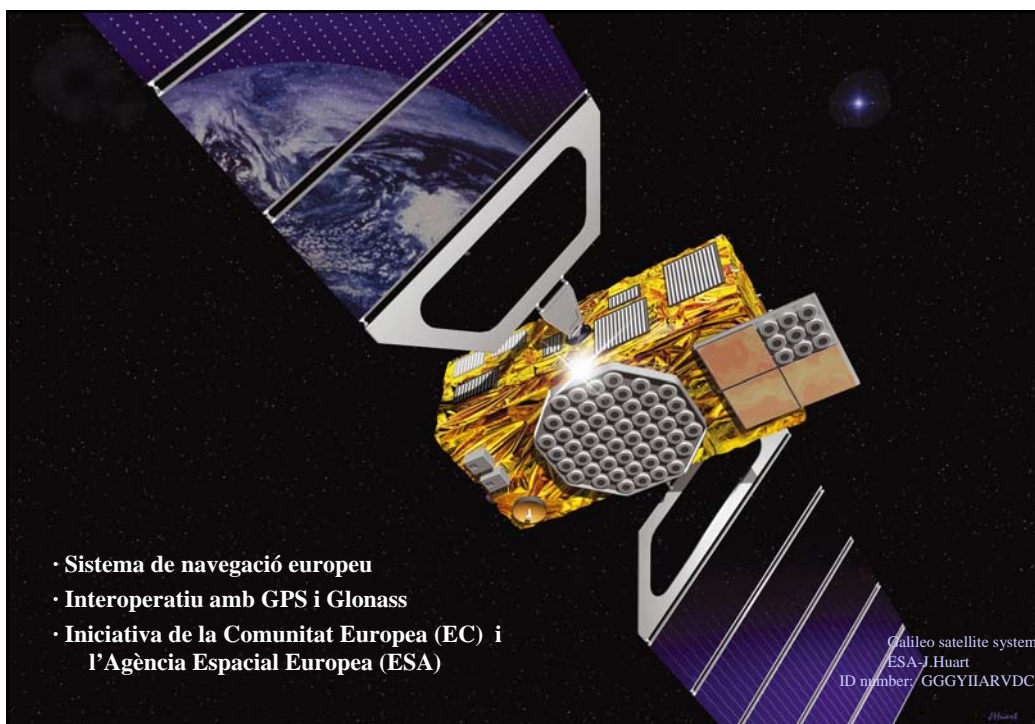
## El sistema de navegació Glonass

- ◆ És el sistema rus de navegació: GLObal Navigation Satellite System.
- ◆ Característiques
  - Consta de 21 satèl·lits més 3 de recanvi
  - Orbiten en 3 plans (8 satèl·lits per pla)
  - A una inclinació de 64.8° i a 19100Km (període de 11h15min)
  - Amb freqüència dual: L1 en el rang 1597-1617MHz i L2 en 1240-1260MHz
  - Amb estructura de codi PRN
  - Sistema de cobertura global amb precisió superior a 20m en el 95% del temps
  - Hi ha la transmissió precisa i la normal, però sense SA



Joan Oliver®. Bellaterra (Barcelona), Gener 2005





- Sistema de navegació europeu
- Interoperatiu amb GPS i Glonass
- Iniciativa de la Comunitat Europea (EC) i l'Agència Espacial Europea (ESA)

120

## El sistema de navegació Galileo

- ◆ Sistema de navegació europeu
- ◆ Interoperatiu amb GPS i Glonass
  - Precisió al metre
  - Primer satèl·lit experimental a partir de tardor 2005
  - Fins a 4 satèl·lits més llençats el 2006 (per validar l'òrbita) i a ple rendiment el 2008
  - El sistema constarà de 30 satèl·lits, 27 operatius i 3 de recanvi, posicionats en tres *Medium Earth Orbit* (MEO) - plans circulars - i a 23616 Km d'alçada sobre la terra i a una inclinació de 56° respecte al pla equatorial
  - Amb bona cobertura fins a 75°N
  - Tindrà 2 centres de control (GCC – *Galileo Control Centres*) a Europa per a les tasques de control del satèl·lit i missions de navegació i rebran les dades de 20 estacions sensorials (GSS – *Galileo Station Sensor*) que calcularan la integritat de la informació i faran les tasques de sincronització temporal.
  - També es preveu equipar el sistema amb funcions operatives per a tasques de rescat

## Bibliografia

---

---

- ◆ <http://recursos.gabrielortiz.com/>
- ◆ <http://www.cartesia.org>
- ◆ <http://www.3dsoftware.com/Cartography/USGS/MapProjections/Overview/>
- ◆ <http://www.mgaqua.net/AquaDoc/Features/FeaturesAnalysisManagement.aspx>
- ◆ [http://www.esa.int/esaNA/GGGMX650NDC\\_index\\_1.html](http://www.esa.int/esaNA/GGGMX650NDC_index_1.html)



---

---

**Thank you for your attention**

**Joan.Oliver@uab.es**

