

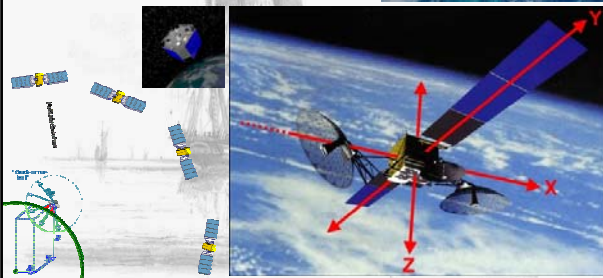
Navigazione Satellitare & Satelliti

dott. Massimo Vascoffo
massimo.vascoffo@istruzione.it



Premessa

I sistemi di posizionamento satellitare nascono a scopo militare e, per molti aspetti, richiamano i principi già visti per la determinazione della posizione in astronomia. In questo caso il ruolo degli astri viene preso dai satelliti, relativamente ai quali, è indispensabile conoscerne con precisione le Effemeridi.



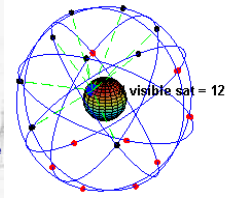


Premessa

Esistono diversi sistemi di posizionamento, non tutti completi e non tutti destinati alla copertura dell'intero pianeta. Alcuni sono regionali.

Molti sono compatibili con il sistema GPS (ad esempio i ricevitori GPS sono compatibili con il sistema Galileo). Alcuni sfruttano l'effetto Doppler per il posizionamento. In particolare, ricordiamo:

- 1) GPS (USA è al 2008 l'unico sistema pienamente funzionante e disponibile);
- 2) GLONASS (è il sistema sovietico, ripristinato nel 2011);
- 3) Compass (cinese);
- 4) DORIS (Doppler Orbitography and Radio-positioning Integrated by Satellite è un sistema satellitare di precisione francese);
- 5) Galileo (UE e ESA sarà completato nel 2020);
- 6) IRNSS (sistema di posizionamento satellitare regionale indiano);
- 7) QZSS (Sistema satellitare Quasi-Zenith giapponese)





GPS

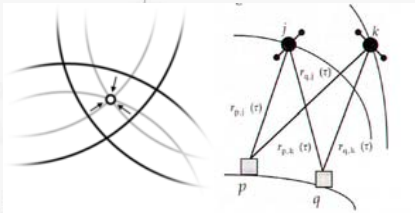
Il sistema di posizionamento si compone di tre segmenti:

- 1) il segmento spaziale è costituito da 31 satelliti disposti su 6 piani orbitali circolari inclinati di 55° rispetto al piano equatoriale, ad una quota di 26.560 km. In questo modo il ogni piano ha almeno 4 satelliti e in ogni punto della terra sono visibili almeno 5 satelliti.
- 2) il segmento di controllo è composto da:
 - una stazione di controllo principale (master control station MCS);
 - una stazione di controllo principale alternativa (alternate MCS);
 - quattro antenne terrestri dedicate;
 - sei stazioni di controllo dedicate;
- 3) il segmento utente.



Principio di Funzionamento del GPS

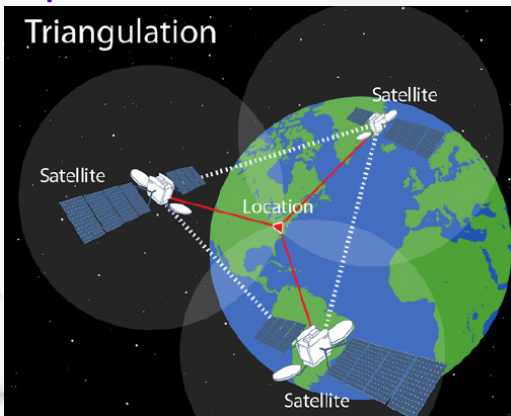
Il principio di funzionamento del GPS si basa su un metodo di posizionamento sferico, che parte dalla misura del tempo impiegato da un segnale radio a percorrere la distanza satellite-ricevitore.



Poiché il ricevitore non conosce quando è stato trasmesso il segnale dal satellite, per il calcolo della differenza dei tempi il segnale inviato dal satellite è di tipo orario, grazie all'orologio atomico presente sul satellite: il ricevitore calcola l'esatta distanza di propagazione dal satellite a partire dalla differenza (dell'ordine dei microsecondi) tra l'orario pervenuto e quello del proprio orologio sincronizzato con quello a bordo del satellite, tenendo conto della velocità di propagazione del segnale.

Principio di Funzionamento del GPS

Triangulation



Principio di Funzionamento del GPS

L'orologio a bordo dei ricevitori GPS è, però, molto meno sofisticato di quello a bordo dei satelliti e deve essere corretto frequentemente non essendo altrettanto accurato sul lungo periodo.

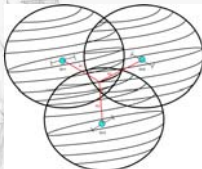
In particolare la sincronizzazione di tale orologio avviene all'accensione del dispositivo ricevente utilizzando l'informazione che arriva dal quarto satellite venendo così continuamente aggiornata.

Se il ricevitore avesse anch'esso un orologio atomico al cesio perfettamente sincronizzato con quello dei satelliti sarebbero sufficienti le informazioni fornite da 3 satelliti, ma nella realtà non è così e dunque il ricevitore deve risolvere un sistema di 4 incognite (latitudine, longitudine, altitudine e tempo) e per riuscirci necessita dunque di 4 equazioni.



Principio del sistema

A partire dalla conoscenza della posizione di tre satelliti e dei range geometrici assoluti di ogni satellite in una data posizione del ricevitore è possibile per gli utenti di localizzare la loro posizione all'intersezione di tre sfere di raggio R_i e centrate nei tre satelliti. L'approccio base della triangolazione è quello illustrato in figura.



Il range geometrico (R_i) è definito come la distanza in linea ottica (LOS, Line Of Sight) dal satellite all'utente. Quest'ultimo, però (equivalente alla propagazione in linea ottica) non è effettivamente disponibile al ricevitore, poiché il tempo di propagazione del segnale satellitare viene distorto a causa di diversi fattori, quali la rifrazione nella ionosfera e nella troposfera, la propagazione multipath e le ambiguità dell'orologio satellitare.

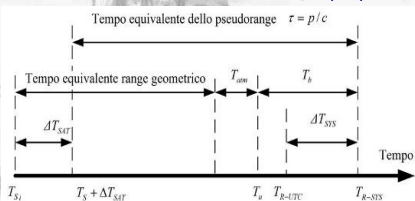
La versione distorta del range geometrico si chiama pseudorange (p_i), che rappresenta la distanza attraversata dal segnale emesso da uno specifico satellite per raggiungere un utente sulla Terra.

Principio del sistema

Se τ_i è definito come il tempo di propagazione del segnale GNSS per giungere dal satellite s_i al ricevitore, allora $p_i = \tau_i \cdot c$, dove c è la velocità della luce.

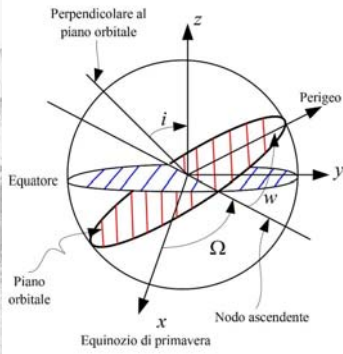
Le misure dei tempi di propagazione τ_i e conseguentemente i valori di p_i possono essere direttamente calcolate dal segnale ricevuto proveniente dal satellite con il determinato codice inseguito e dalla fase della portante corrispondente osservata dal ricevitore.

La soluzione delle equazioni di navigazione basata su concetto di triangolazione menzionato sopra richiede di risolvere l'ambiguità tra gli pseudorange di ogni satellite inseguito e quindi di calcolare R_i usando i p_i misurati indirettamente ed il modello del canale GNSS satellite-ricevitore che lega R_i a p_i .



Differenza tra sistema ECI ed ECEF

Il sistema di coordinate ECI (Earth-Centred Inertial) è centrato nel centro di gravità della Terra. Si assume che il piano xy coincida con il piano equatoriale della Terra. L'asse x è fissato nella direzione dell'equinozio di primavera. L'asse z è ortogonale al piano xy. Il sistema ECEF (Earth-Centred, Earth-Fixed), invece è il sistema di coordinate usato per calcolare la posizione del ricevitore poiché esso ruota assieme alla Terra. L'asse x punta nella direzione della longitudine 0°. Quindi, la trasformazione tra ECI e ECEF è una rotazione del piano xy. L'angolo di rotazione si ricava in ogni istante dal tempo siderale della Terra.

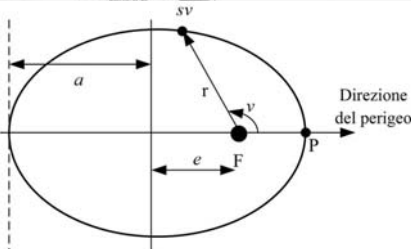


Equazione del Moto

Il vettore accelerazione a dell'equazione precedente è definito a partire dalla derivata seconda di r. Di conseguenza l'equazione differenziale dei due corpi che descrive il moto nel sistema ECI è:

$$a = d^2r/dt^2 = -GM/r^2$$

Dove d^2/dt^2 è l'operatore derivata seconda. Si può mostrare come la soluzione di questa equazione sia un'ellisse il cui fuoco è situato nel centro di gravità della Terra.



Velocità dei Satelliti

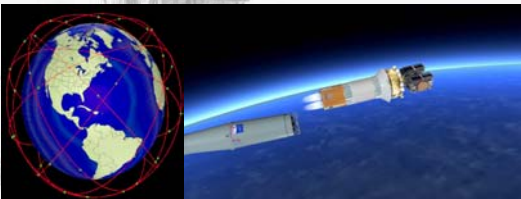
Il secondo principio della dinamica ($F=ma$), ci permette di calcolare la velocità ed il periodo del satellite che si muove su di un'orbita circolare. Siano

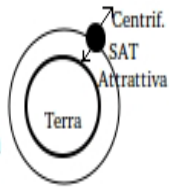
- v = velocità del satellite;
- m = massa del satellite;
- R = distanza tra satellite e centro della Terra;
- M = Massa della Terra.

$$F = m a \Rightarrow GMm/R^2 = m v^2/R$$

$$v^2 = GM/R \Rightarrow v = \sqrt{GM/R}$$

Si vede che R è al denominatore i satelliti più lontani dalla Terra ruotano più lentamente, a giustificazione del fatto che la forza di gravità diminuisce con la distanza.





Forza centrifuga: $F = m \cdot \frac{V^2}{r} = r \cdot \text{pulsazione}^2 \cdot m$

Forza attrattiva: $F = G \cdot \frac{M \cdot m}{r^2}$

Labels: r is labeled 'Velocità', M is labeled 'Massa Terra', and m is labeled 'Massa satellitare'.

Periodo dei Satelliti

Partendo dalla relazione del moto circolare uniforme

$$v = 2\pi R/T$$

$$T = 2\pi R/v$$

Sostituendo la relazione precedente:

$$T = 2\pi \sqrt{R^3/GM}$$

Si come R è a numeratore i satelliti più lontani dalla Terra impiegano più tempo a compiere un'intera orbita.



RIFERIMENTI

- Nicoli "Navigazione Moderna" Ed. Quaderni marinari"
- Istituto Idrografico della Marina "Manuale dell'Ufficiale di Rotta"
- Quaranta "Complementi di Apparecchiature e Strumenti di Bordo"
- http://en.wikisource.org/wiki/The_American_Practical_Navigator
- <http://en.wikipedia.org>
- http://online.scuola.zanichelli.it/amaldi-files/Cap_11/VelocitaSatelliti_Cap11_Par7_Amaldi.pdf
- http://www.satiricks.it/staff/ing_astro/SatelliteArtificiale.jpg
- <http://www.derechodellaterra.it/immagini/vsatelone.jpg>
- http://1.bp.blogspot.com/_5b-Hs-J2o/UXsbMDqQTUAAAAAAAAADYg/S8ouyFgxdM/61600/6s.jpg
- <http://www.strumentazioneelettronica.it/tecnologie/wireless/sistemi-globali-di-navigazione-satellitare-20120719926/?start=2>
- <http://www.amtky.it/assets/images/tecnologie/ign.jpg>
- <http://www.amtky.com/ign/images/schema-triangolazione.gif>
- <http://img.derechodellaterra.it/wp-content/uploads/2012/03/vecind.jpg>
- <http://i1.yimg.com/vi/3c68/PgWw/maxresdefault.jpg>
- http://www.jet.unipi.it/giannetti/documenti/comotifivirelli/Atlante%20de%20Cyberspazio%20-%20Casi%20e%20Satelliti_file/globstar1_small.gif
- <http://www.meteoweb.eu/wp-content/uploads/2012/10/satellit-ignif6.jpg>







NOTA INFORMATIVA

Il contenuto della presentazione comprensivo di tutti i dati, informazioni, comunicazioni, software, foto, grafici, disegni e in generale qualsiasi materiale e servizio ivi presente, ove non diversamente indicato sono di proprietà dei rispettivi autori. Il materiale è stato tratto dalla consultazione di siti web con finalità esclusivamente didattiche o di ricerca scientifica, indicando la fonte, in osservanza a quanto stabilito dalla Legge n° 633/41 e dal D.Lvo n° 169/1999.

ESCLUSIONE DI RESPONSABILITÀ

Il presente materiale serve per consentire al pubblico un più ampio accesso all'informazione. L'obiettivo perseguito è quello di fornire un'informazione aggiornata e precisa. Qualora dovessero essere segnalati degli errori, si provvederà a correggerli. Non si assume alcuna responsabilità per quanto riguarda il materiale contenuto. Tale materiale è costituito da informazioni di carattere esclusivamente generale che non riguardano fatti specifici relativi ad una persona o un organismo determinati. Non è sempre necessariamente esauriente, completo, preciso o aggiornato. E' talvolta collegato con siti esterni sui quali non si dispone di alcun controllo e per i quali non assume alcuna responsabilità. Non costituisce un parere di tipo professionale o legale. Va ricordato che non si può garantire che un documento disponibile in linea riproduca esattamente un testo adottato ufficialmente. Parte dei dati o delle informazioni presenti nel sito sono stati inseriti o strutturati in archivi o formati che possono non essere esenti da errori. Non si può pertanto garantire che il servizio non sia influenzato da tali problemi. La presente clausola di esclusione della responsabilità non ha lo scopo di limitare le responsabilità in violazione di disposizioni della legge nazionale applicabile, né di escluderla nei casi in cui non può essere esclusa in forza di detta legge.
