



Lezione 15 - Global Positioning System

<https://www.youtube.com/watch?v=Di6zouU625E>

Introduzione

Il GPS è una sistema di posizionamento su base satellitare, e permette a piccoli ricevitori elettronici di determinare la loro posizione con un errore di pochi metri usando segnali radio trasmessi in linea ottica da satelliti

Navstar

NAVSTAR → Navigation System with Timing And Ranging

Fu concepito dagli USA come mezzo universale per determinare con precisione il punto in cui un ricevitore si trova sulla terra, e ottenere un'indicazione oraria precisa

Per motivi di sicurezza, il sistema era inizialmente affetto da un errore indotto

Struttura

- Composto da 24 satelliti che costruiscono il GPS, di cui 3 sono di backup
- I satelliti sono posti in un'orbita circolare e compiono una rivoluzione in 12 ore
- Il centro di controllo del sistema si trova a Colorado, e ha il compito di eseguire tutte le misure necessarie per correggere le informazioni inviate dai gps

Sistema GPS

Il GPS è composto da 3 parti:

- Segmento spaziale → 24 satelliti
- Segmento di controllo → 5 centri di controllo

- Segmento di utilizzo → I ricevitori che fruiscono del servizio

Segmento spaziale

I satelliti sono disposti su 6 piani orbitali diversi, ognuno con 3 o 4 satelliti

Ogni satellite è dotato di orologi atomici basati su 4 oscillatori ad alta precisione, e di razzi per effettuare le correzioni di orbita

Solo 12 su 24 satelliti sono visibili da un punto della terra, però per il calcolo della posizione solo alcuni verranno presi in considerazione. Altri sono affetti da alcuni errori, come quello atmosferico

Per l'accurata selezione dei satelliti verrà preso in considerazione l'angolo individuato fra la direzione del segnale e il piano tangente nel punto dell'osservatore: se tale angolo α è superiore a 10 o 15 gradi, allora tale satellite verrà considerato

Segmento di controllo

Costituito da un gruppo di stazioni a terra, che monitorano e controllano i segnali dei satelliti

La più importante è a Colorado Springs, che raccoglie dati delle altre stazioni e invia dati ai satelliti per correzione di orologi, orbite o effemeridi

Le stazioni hanno quindi il compito di:

- Tracciare i satelliti e calcolare la posizione spazio-temporale (effemeridi)
- Imporre correzioni di orbita
- Sincronizzare gli orologi atomici
- Scaricare i dati per la trasmissione tramite i satelliti

Segmento di utilizzo

Definito da ogni ricevitore, come quelli a bordo di aerei, automobili o navi. Ricevono il segnale, lo elaborano e ne ricavano le informazioni a proposito di velocità, posizione e tempo del veicolo

Funzionamento GPS

Per capire la distanza tra receiver e satellite, viene misurato il tempo che un segnale impiega per arrivare a terra

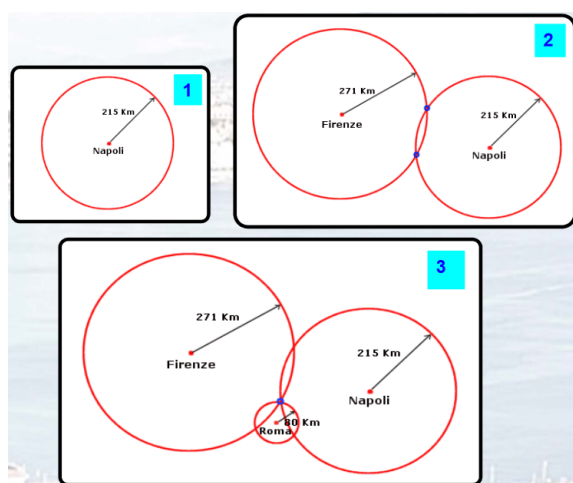
Anche il calcolo matematico è semplice, il livello di precisione dipende fortemente dall'accuratezza degli orologi

Ogni satellite ha il suo nome ed invia un messaggio codificato, caratterizzato da:

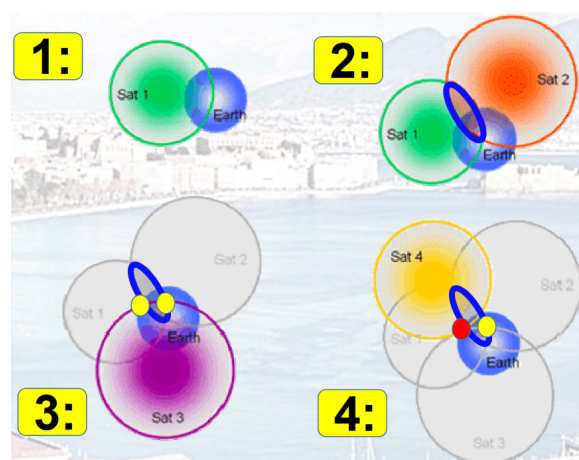
- Formato → Trasmissione con continuità e contemporaneamente su 2 frequenze
- Contenuto:
 - Parametri orbitali approssimati dell'intera costellazione
 - Effemeridi relative a se stesso
 - Dati relativi al satellite

Trilaterazione e Triangolazione

La trilaterazione è quel procedimento che consente la determinazione della posizione di un punto in base a misure di distanze da altri di coordinate note



Esempio di trilaterazione su spazio Bi-Dimensionale

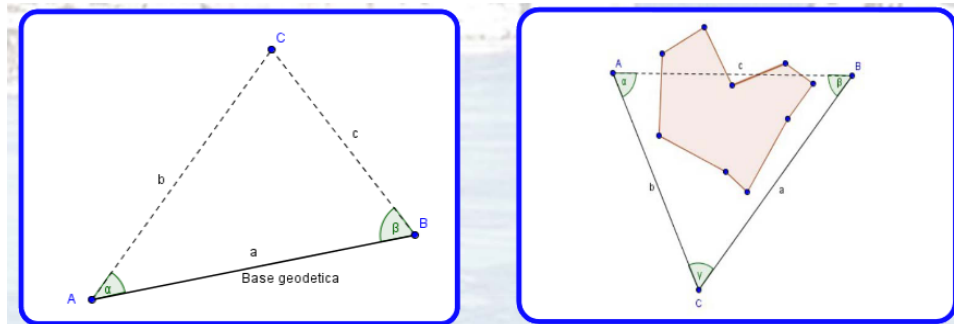


Esempio di trilaterazione su spazio Tri-Dimensionale

La trilaterazione si contrappone alla “Triangolazione”

La triangolazione è quel procedimento che permette la determinazione indiretta di distanze tra punti del terreno e, quindi, la determinazione delle loro coordinate geografiche

Per effettuare la triangolazione si scelgono tre punti, considerati vertici di un triangolo; uno di questi lati viene misurato direttamente, mentre gli altri si misurano attraverso gli angoli sotto i quali viene visto l'ultimo punto



Rifrazione e Riflessione

La rifrazione avviene ogni volta che la luce attraversa uno spazio con differente densità, nel quale cambia la sua velocità di propagazione

L'angolo di rifrazione dipende da:

- Frequenza della luce
- Densità dello spazio attraversato

La riflessione si ha quando la luce non riesce ad attraversare uno spazio e viene spinta in un'altra direzione

Effemeridi

Le effemeridi sono tabelle che contengono un insieme di parametri sintetici necessari e sufficienti per calcolare la posizione del satellite

- Trasmesse → Trasmesse dal satellite
- Precise → Calcolate a posteriori da diverse organizzazioni governative

Fonti di errore

Occorre considerare alcuni fattori che costituiscono fonti di errore, e sono di diversa natura:

- Atmosferici → Rallentamento del segnale al passaggio della ionosfera

- Elettronici → Tempo impiegato dal segnale per il passaggio nella strumentazione
- Relativistici → Anticipo o ritardo del tempo degli stessi orologi atomici

Errori relativistici

Secondo la teoria della Relatività, il tempo proprio di ogni corpo in movimento viene deformato secondo la relazione:

$$\Delta t = \frac{\Delta t_o}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

in cui Δt_o è il tempo proprio, cioè la differenza tra i tempi di due eventi che accadono nello stesso luogo

Allo stesso modo, qualsiasi corpo soggetto a forza di gravità avrà una deformazione di del tempo

Effetti relativistici sul GPS

Gli errori relativistici devono sempre essere considerati nei calcoli della distanza:

- Effetto dovuto alla velocità → Attraverso la relazione della deformazione, mi accorgo che gli orologi del satellite presentano un ritardo rispetto a quelli a terra
- Effetto dovuto alla quota → L'influenza del campo gravitazionale sui satelliti è quattro volte minore che sulla terra

Fonti di errore minori

Esistono altre componenti di errore che però sono di minore importanza:

- Gravitazione del sole
- Pressione e radiazione solare
- Attrazione gravitazionale della Luna

Trasmissioni GPS ortogonali: Time Division Multiplexing

I segnali trasmessi tra i satelliti sono tra loro algebricamente ortogonali, e il loro prodotto scalare è nullo. Questo è il fenomeno del multiplexing: i satelliti inviano i segnali in un ordine specifico, e solo uno alla volta

Time Zones

Un fuso orario è una regione del globo terrestre che osserva un orario standard uniforme per scopi legali, commerciali e sociali

UTC

UTC → Tempo Coordinato Universale

- Motivazione → Termine coniato per non dover menzionare una specifica località in uno standard internazionale
 - Riferimento → Basato su misurazione condotte da orologi atomici, invece che su fenomeni celesti come il GMT
 - Rappresentazione → L'UTC nei sistemi informatici tipicamente Unix memorizzano la data come il numero di secondi passati dal primo gennaio 1970
-

Sincronizzazione Orologi

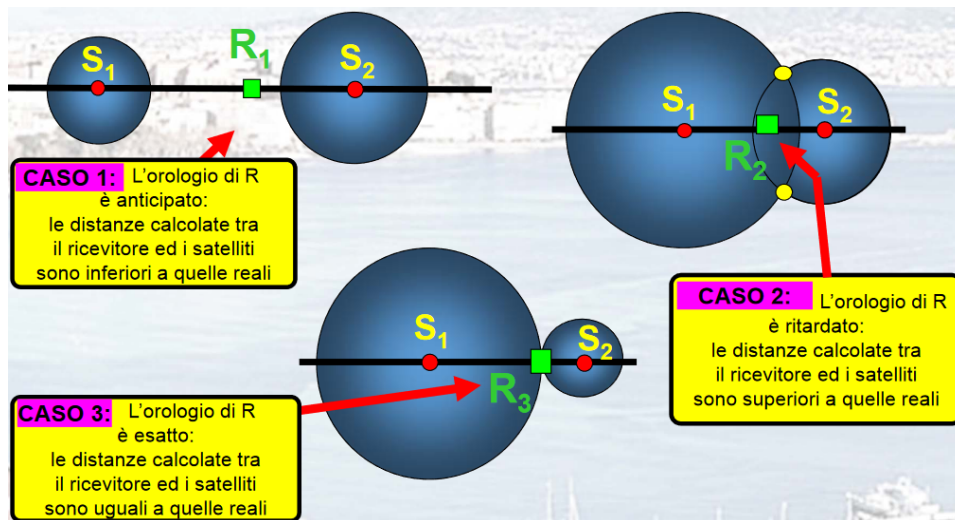
Il ricevitore, esaminando l'orario di più satelliti, può misurare la propria imprecisione. Quindi solo e soltanto un orario specifico può soddisfare le equazioni geometriche per poter individuare un unico punto nello spazio

Caso 1D

Le coordinate spaziali di due satelliti S1 e S2, sono note ad un ricevitore R. A seconda dell'ora dell'orologio di R posso ricavare diverse grandezze delle sfere di distanza

ES:

- Caso 1 → L'orologio di R è anticipato → Le distanze tra satelliti e ricevitore sono inferiori
- Caso 2 → L'orologio di R è ritardato → Le distanze tra satelliti e ricevitore sono superiori
- Caso 3 → L'orologio di R è esatto → Le distanze tra satelliti e ricevitore sono uguali



Esempio 1D

Caso 2D

Si supponga che:

- In un piano C siano note le coordinate di tre punti S1, S2, S3 e siano ignote le coordinate di un punto P
- Gli orologi di S1, S2, S3 sono precisi e sincronizzati con tempo T
- L'orologio di P sia impreciso con tempo t

Le incognite del sistema saranno quindi le coordinate del punto, e il tempo sincronizzato T

Per calcolare T posso fare: $T = t + e$, dove e rappresenta l'errore dell'orologio di P

A-GPS: Assisted GPS

Sistema che consente di abbattere i tempi necessari alla prima localizzazione durante l'uso di un terminale GPS

Uno dei problemi dei terminali GPS classici è relativo alla prima localizzazione, in quanto un terminale, all'accensione, deve ricavare la lista dei satelliti in vista in quel momento

Lo scopo principale di questo sistema è quello di assistere il ricevitore GPS nel calcolo della posizione, fornendogli informazioni sui satelliti in vista

- Idea di base → Si fa in modo che sia la cella di telefonia a ricavare quali siano i satelliti GPS ad essa in vista, istante per istante. Quanto un terminale A-GPS vuole conoscere la sua posizione, si collega a un Assistance Server

D-GPS: Differential-GPS

Sistema che migliora la precisione dei GPS, che si basa sulla combinazione dei dati osservati contemporaneamente da due (o più) ricevitori GPS, ottenendo l'eliminazione o la significativa riduzione dei principali errori nel posizionamento GPS

Per ottenere una precisione massima, esistono postazioni fisse la cui posizione è stata determinata con la massima precisione. Tali postazioni calcolano la differenza tra il valore della posizione misurato, e il valore misurato reale

Questa posizione calcolata varrà per tutti gli elementi in un dato intorno piccolo, di conseguenza posso calcolare la posizione sconosciuta sottraendo il valore misurato dai satelliti con la differenza calcolata dalla postazione fissa

Parallax Method

Metodo utilizzato per calcolare la distanza tra la Terra e una data stella:

- Costruiamo un triangolo, la cui base è il diametro dell'orbita Terra-Sole

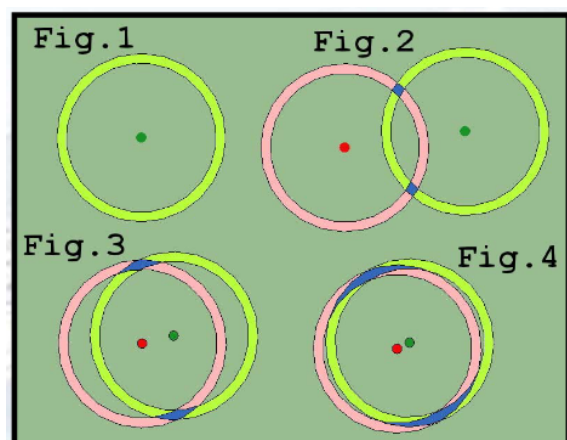
DOP - Dilution Of Precision

Questo parametro indica la validità della precisione trovata. Più è alto, più sarà bassa la valutazione

Per ottenere un DOP migliore, è desiderabile che la distanza fra due satelliti sia maggiore possibile, in modo che essi formino un angolo maggiore. Questo è spigato nel seguente caso

Caso 2D

- Se conosco la mia distanza dal satellite, e suppongo che esista un errore, allora posso supporre di trovarmi in un punto qualsiasi della relativa corona circolare del satellite. La mia distanza è quindi compresa tra un valore minimo e un valore massimo (Fig. 1)
- Se conosco la mia distanza da due satelliti, posso trovarmi nell'intersezione delle rispettive due corone circolari. Quanto più vicini



sono i satelliti tanto maggiore è
l'area di intersezione e, di
conseguenza, la mia posizione è
più incerta (Fig. 2, 3, 4)

GPS Logger

Strumento utilizzato per collezionare informazioni che possono essere visualizzate e organizzate su una mappa

GPS Tracker

I dati non vengono salvati in locale e analizzati a posteriori, ma vengono subito spediti al dispositivo (es: tramite SMS)