

E' tempo di GPS !

Che il posizionamento tramite GPS abbia rivoluzionato più di un settore, sia esso commerciale, industriale, applicativo, è un dato ritenuto ormai scontato. Meno conosciuto, invece, è il fatto che il GPS sta rivoluzionando anche altri settori per i quali il Tempo, invece che la Posizione, è l'incognita da risolvere con precisione ottimale.

Come descritto nella puntata del Tutorial GPS pubblicata in questo stesso numero, ogni satellite GPS NAVSTAR reca a bordo orologi atomici sincronizzati sul Tempo Universale: questi "orologi" servono a coordinare tutte le apparecchiature del satellite e, in definitiva, a garantire la precisione del posizionamento. Il segnale GPS, emesso dai satelliti, contiene in esso riferimenti temporali che permettono al ricevitore dell'utente di risalire con buona precisione a tale Tempo poiché tale informazione è necessaria al calcolo della posizione dell'utente. I satelliti GPS sono, allora, una fonte di riferimento, gratuita e sempre disponibile, di un ottimo riferimento temporale ed a questa fonte stanno attingendo innumerevoli attività per le quali un'informazione temporale assoluta e precisa fino al milionesimo di secondo risulta essere essenziale.

Tradizionalmente il riferimento temporale è sempre stato disponibile via radio e ricevibile con un comune ricevitore per onde corte, o per onde lunghe, su diverse frequenze (tra esse le seguenti, facilmente ascoltabili con una qualsiasi radio multibanda: 5 MHz, 10 MHz e 15 MHz). L'onda portante della segnale costituisce un riferimento di frequenza ad elevatissima stabilità che viene utilizzato sia dalla strumentazione di laboratorio che dalla schiera di economici orologi da tavolo ora reperibili un po' d'ovunque. Il segnale è poi modulato da impulsi che scandiscono il tempo ad ogni secondo. Queste stazioni, cosiddette Stazioni di Tempo e Frequenza Campione, soffrono delle tipiche problematiche connesse alla propagazione di segnali radio all'interno della ionosfera le quali possono recare degli svantaggi agli utenti.

Il riferimento temporale estraibile dal segnale GPS, e l'informazione di frequenza derivata dall'onda portante dello stesso, è d'altro canto oggi disponibile in ogni momento con sufficiente ridondanza da ovviare anche alla presenza di ostacoli, sebbene richieda quasi sempre un'antenna esterna (ed opportune compensazioni). Come già accennato, l'ora visualizzata anche dai ricevitori più economici è sincronizzata con buona precisione con il Tempo Universale. Tuttavia il ricevitore spesso fornisce, su un connettore ausiliario, un impulso elettrico al secondo con una precisione tipica del microsecondo (cioè del milionesimo di secondo), utilizzabile dunque in molte applicazioni. Poiché l'ora del ricevitore GPS è anche disponibile sul connettore che permette di collegare un ricevitore GPS al proprio computer non è difficile sincronizzare un PC con il Tempo Universale. Non è allora difficile utilizzare il proprio ricevitore GPS per fornirsi di un'ottima sorgente di tempo campione, per mille diverse applicazioni non esigenti.

Quando però le applicazioni richiedono la massima precisione fornibile dal sistema GPS, occorre allora rivolgersi a prodotti specializzati disponibili a vari costi. In particolare si va dalle schede 'plug-in' per PC fino ai riferimenti di tempo e frequenza campione per laboratorio montati di solito in contenitori standard di tipo 'sub-rack'. Ma quali sono le applicazioni tipiche di queste apparecchiature? Tra quelle che vengono ricordate più frequentemente nella letteratura specializzata troviamo le reti di telefonia, in particolare quella cellulare oppure quelle a commutazione di pacchetti, le quali richiedono nelle località più disperate dei riferimenti di tempo affidabili per sincronizzare gli scambi di dati. Anche le reti di computer non sono da meno e molti "nodi" vitali della rete Internet sono sincronizzati con il Tempo Universale per mezzo di ricevitori GPS del tipo sopra descritto. Non è un'usuale, poi, trovare reti aziendali, sia locali che geografiche, nelle quali tutti i computers sono sincroniz-

zati da un unico riferimento temporale basato sul GPS: basta realizzare un "server" di tempo, aggiungendo l'opportuna scheda ad uno dei computer della rete, e tutti i calcolatori potranno godere di un riferimento temporale comune. Nell'ambito delle comunicazioni militari, poi, il GPS può essere usato per sincronizzare sistemi di ricetrasmisione criptati del tipo 'frequency hopping' permettendo ad ogni apparato di stabilirsi nel giusto istante sul giusto canale.

Per capire meglio la terminologia usata per il Tempo GPS, e frequentemente incontrata nella letteratura, occorre approfondire il procedimento con cui i satelliti vengono mantenuti sincronizzati al Tempo Universale. Il "tempo" fornito da un satellite GPS non è in effetti coerente con il Tempo Universale, ma può ricondursi ad esso con dei semplici passaggi. Ricordiamo innanzitutto che il Tempo Universale Coordinato, (o UTC, Universal Time Coordinated) viene mantenuto in base al Tempo Atomico Internazionale, il quale definisce la **durata del secondo** (e questa in base ad orologi atomici al Cesio 133), ed al Tempo Universale 1 che, mediante osservazioni astronomiche di precisione, definisce sostanzialmente la **durata dell'anno**, la quale non è costante e dipende dalla velocità di rotazione della Terra, dal suo moto intorno al Sole e dall'inclinazione dell'asse polare. Il tempo UTC, basato sul secondo definito dal TAI, viene mantenuto coordinato con UT1 a meno di 0.9 secondi. Questa coordinazione si attua aggiungendo o sottraendo secondi al termine di determinati anni.

L'Osservatorio Navale della Marina Americana (USNO, United States Naval Observatory) mantiene un proprio riferimento temporale, basato su orologi atomici al Cesio 133 e su osservazioni astronomiche proprie, **garantito coincidente con UTC a meno di un millisecondo** (nel 1997 l'errore è stato inferiore a 25 nanosecondi, cioè milionesimi di secondo). Questo tempo, denominato **UTC (USNO)**, è il riferimento utilizzato dal sistema GPS. Gli orologi interni ai satelliti vengono periodicamente campionati dalle stazioni di Terra, dotate anch'esse di orologi atomici di confronto, per misurarne lo scostamento dal tempo UTC(USNO); lo scostamento misurato verrà inviato al satellite quale fattore correttivo da applicare agli orologi atomici di bordo.

Il Tempo GPS è però una "scala" continua che non viene regolata con l'aggiunta, o la sottrazione, di secondi come nel tempo UTC: gli orologi di bordo vengono solo compensati per quanto riguarda le minime frazioni di secondo con gli orologi di Terra. Il riferimento iniziale di questa scala sono le ore 0 del 6 Gennaio del 1980, istante di definizione nel quale il Tempo GPS e il tempo UTC(USNO) coincidevano; da allora il tempo UTC(USNO) è avanti, rispetto al Tempo GPS di una decina di secondi. Lo scostamento tra il Tempo GPS ed il Tempo UTC(USNO) è specificato, con un numero intero di secondi, nel messaggio di navigazione contenuto nel segnale GPS.

Poiché l'orologio del ricevitore non è preciso occorre compensarne l'errore utilizzando il Tempo GPS affinché l'utente possa "leggere" il tempo UTC. Se T_{ER} è l'errore misurato nel ricevitore (con la soluzione di posizione data dalla ricezione di segnali GPS) e T_N è il numero di secondi che intercorrono tra il Tempo GPS, T_{GPS} , ed UTC(USNO) allora l'ora UTC presentata all'utente sarà data da: $UTC = T_{GPS} + T_N + T_{ER}$. Questa semplice operazione, compiuta automaticamente nel ricevitore, fornirà all'utente di servizi SPS un valore del tempo UTC(USNO) **entro 340 nanosecondi dal valore reale** (per il 95% del tempo). Non male, visto soprattutto che è un valore aggiunto ai servizi di posizionamento e che non costa nulla.

n. Fabrizio Bernardini

Riferimenti:

"Understanding GPS", ed. E.D.Kaplan, Artech House
"Guide to GPS Positioning", ed. D. Wells,
Canadian GPS Associates
GPS World Showcase 1997