

NIDays

FORUM TECNOLOGICO
SULLA PROGETTAZIONE GRAFICA DI SISTEMI

SOLUZIONI E APPLICAZIONI 2014

21ª edizione - nidays.it

Sistema di simulazione di costellazione GPS per applicazioni di timing e sincronizzazione basato su PXI e LabVIEW

Gianluca Pizzocolo – IPSES

LA SFIDA

Realizzare un sistema in grado di simulare con estrema precisione il segnale RF generato da qualsiasi costellazione GPS e ricevuto in qualsiasi posizione del globo terrestre, sincronizzabile con un orologio atomico di riferimento e in grado di funzionare autonomamente per diversi giorni, senza interventi da parte dell'operatore.

LA SOLUZIONE

Un sistema stand-alone, basato su piattaforma NI PXI, con possibilità di utilizzare facilmente clock esterni, in grado di gestire e configurare qualsiasi costellazione GPS, di generarne il relativo segnale opportunamente modulato in banda L1 (1.575,42 MHz) e di permettere la modifica in run-time dei principali parametri di ogni satellite GPS ricevuto come potenza o anche solo semplice presenza.

Prodotti utilizzati	
LabVIEW	Ricetrasmittitore IF GPS Simulation Toolkit for LabVIEW
PXI	

In collaborazione con Eurolab, azienda leader per la fornitura di apparati e sistemi di generazione timing per applicazioni broadcasting, è stato sviluppato un completo sistema di simulazione di segnale GPS, sincronizzabile esternamente con un orologio atomico, in grado di interfacciarsi a tutti i sistemi di sincronizzazione basati su GPS, permettendone la loro completa caratterizzazione sia in condizioni di ricezioni ideali, sia simulando perdite o alterazioni di segnali, sia simulando un movimento dell'apparato. Il sistema hardware è interamente basato su architettura PXI (cestello PXIe-1062Q) dotato di un PC embedded, un IF Transceiver con FPGA totalmente configurabile (PXIe-5641R) e un upconverter da 2,7GHz (PXI-5610), mentre il software si basa sul GPS Simulation Toolkit for LabVIEW.

Quando si pensa alla tecnologia GPS e ai relativi ricevitori, inevitabilmente si è portati ad associarli esclusivamente a sistemi di posizionamento geografico e di navigazione, ma, in realtà, i GPS hanno molteplici altre applicazioni, alcune piuttosto critiche e complesse, in cui tale tecnologia viene impiegata come sistema di sincronizzazione temporale.

Anche lo scioglimento completo dell'acronimo NAVSTAR GPS



Figura 1: Banco di test del sistema: al centro vi è l'oscilloscopio con cui vengono confrontati i PPS generati da 4 differenti dispositivi (tra cui quello simulato dal PXI), a destra il cestello PXI, sopra altri sistemi di sincronizzazione e timing

gli NTP time server di strato 1, utilizzano dei ricevitori GPS per timing al fine di sincronizzare perfettamente tra di loro postazioni geograficamente distanti.

Uno dei campi in cui tale tecnica viene maggiormente utilizzata è il broadcasting televisivo basato su trasmettitori DVB-T operanti a singola frequenza (SFN), introdotti con l'avvento del digitale terrestre. Il funzionamento di questi nuovi trasmettitori è molto più complesso rispetto ai precedenti analogici in standard PAL,

“L'impiego dell'hardware RF modulare di National Instruments, di LabVIEW FPGA e del toolkit per GPS ha consentito di ridurre notevolmente i tempi e rischi di sviluppo. La famiglia di hardware RF modulare di National Instruments ha confermato la sua affidabilità a elevate prestazioni.”

(comunemente ridotto a GPS) fa un inequivocabile riferimento alla distribuzione del tempo, NAVigation Satellite (o System) Timing And Ranging Global Positioning System.

Se si considera che il sistema di posizionamento GPS è basato su trilaterazione in cui i lati dei triangoli sono sostanzialmente proporzionali alla differenza temporale tra istante di trasmissione e istante di ricezione, risulta evidente come sia indispensabile che il sistema di ricezione a terra sia perfettamente sincronizzato con gli orologi atomici presenti a bordo dei satelliti.

Per questo motivo sempre più applicazioni, soprattutto nel settore delle telecomunicazioni e della distribuzione energetica come i dispositivi per WiMax, CDMA, SmartGrid, LTE o Super 3G e

soprattutto per il fatto che tutti i trasmettitori (ogni singola emittente a diffusione nazionale ne richiede oltre 3.000) devono avere la disponibilità di un riferimento di tempo e frequenza assolutamente identico. Ciascun trasmettitore deve emettere il medesimo segnale, generato dalla modulazione digitale del medesimo bit, sulla stessa frequenza nel medesimo istante di tempo e l'errore temporale ammesso tra i vari trasmettitori è di pochi microsecondi.

Attualmente, il sistema più utilizzato per rispondere a questa esigenza è costituito da apparati basati su GPS e oscillatori compensati al quarzo o al rubidio in grado di fornire il segnale di tempo (un impulso al secondo) e il riferimento di frequenza a 10 MHz. Tali sistemi, generalmente chiamati GPS Disciplined

Oscillator o GPSDO, sono utilizzati in ogni sito trasmittente di una rete DVB-T operante in SFN.

Questi sistemi di sincronizzazione sono vitali per il corretto funzionamento dei network nazionali. Molto spesso i trasmettitori sono installati in zone impervie (per esempio ripetitori in alta montagna, raggiungibili solo pochi mesi l'anno), soggetti a differenze di temperature molto elevate e a onde elettromagnetiche estremamente intense presenti su numerose frequenze. Garantire sempre e in qualsiasi condizione il corretto funzionamento dei sistemi di sincronizzazione è molto complesso. Testare questi sistemi in modo da simulare i segnali ricevuti nelle più diverse condizioni sia di funzionamento, sia di ricezione, è un'esigenza reale e critica che trova perfetta risposta nella soluzione sviluppata. Grazie ad essa si possono infatti facilmente simulare i diversi eventi come il guasto di un satellite GPS o il calo di potenza in una precisa zona del cielo, causata ad esempio dalle condizioni atmosferiche, troposferiche e ionosferiche, e si può testare il dispositivo a qualsiasi temperatura semplicemente inserendolo in una camera climatica. Inoltre, possono essere effettuate facilmente misurazioni impossibili prima, come simulare il movimento del sistema di sincronizzazione ad esempio lungo una linea ferroviaria.

Il progetto, nell'ottica di simulare una costellazione GPS che possa realmente essere sincronizzata con un orologio atomico, presenta diversi punti critici:

- occorre che tutto il sistema si basi su un solido algoritmo in grado di calcolare, per qualsiasi punto del nostro pianeta e per qualsiasi configurazione di costellazione GPS, il segnale che dovrebbe essere ricevuto a terra che è costituito dalla somma di tutti i segnali trasmessi dai satelliti attivi e visibili;
- la generazione dei codici C/A da trasmettere deve essere assolutamente sincrona con l'orologio atomico di riferimento (la tolleranza deve essere realmente zero), altrimenti il riferimento temporale trasmesso slitterebbe inesorabilmente con il passare del tempo. Il fatto che il bitrate del segnale C/A sia molto basso (50bit/s) non semplifica le cose, dato che comunque questo segnale è costituito da più di un milione di chips al secondo;
- per simulare fedelmente il segnale realmente trasmesso dal GPS, anche la portante (1.575,42MHz) e l'intero upconverter devono essere sincronizzati con l'orologio atomico di riferimento, dato che su un satellite GPS tutte le frequenze sono sempre direttamente derivate dalla frequenza fondamentale di 10,23MHz, pari alla frequenza dell'orologio atomico installato sul satellite stesso;
- infine, anche l'istante in cui il sistema inizia la generazione di tutti i segnali deve essere sincronizzabile esternamente, in modo che il segnale di sincronismo riprodotto dal dispositivo connesso al simulatore sia identico a quello generato da qualsiasi altro dispositivo connesso a una vera antenna GPS.

Per la realizzazione del sistema si è deciso di utilizzare un IF Transceiver che fosse totalmente configurabile e che permettesse la gestione diretta del DAC di generazione, in modo da averne il pieno e totale controllo e poter così facilmente modificare il segnale modulante. Attualmente, l'unico dispositivo esistente sul mercato in grado di rispondere a queste specifiche è NI-PXIe-5641R, dotato di FPGA Xilinx Virtex 5 SX95T, con una DRAM da 128MB e in grado di generare due segnali RF con 20MHz di banda centrabili su qualsiasi frequenza compresa tra 250kHz e 80MHz.

Un altro requisito fondamentale per la definizione dell'hardware, è la possibilità di sincronizzare la trasmissione RF con un orologio atomico esterno. Qualsiasi simulatore di GPS, per quanto preciso

e costoso, non avrebbe mai potuto essere utilizzato per simulare correttamente nessun riferimento temporale, dato che non esiste oscillatore non atomico in grado di generare una frequenza assolutamente stabile e precisa. Poiché tutti gli chassis PXI di fascia alta prodotti da National Instruments permettono l'utilizzo di un clock esterno, è stato possibile rispettare tale specifica, sfruttando le linee di clock dedicate e configurabili messe a disposizione dalla tecnologia PXI e dai relativi moduli RF.

Per completare il sistema hardware si è aggiunto un upconverter da 2,7GHz (PXI-5610) e un PC embedded, permettendo così di avere l'intero sistema racchiuso in un normale chassis PXI, semplificandone molto la definizione e l'integrazione.

Anche per lo sviluppo software i prodotti National Instruments hanno permesso una notevole semplificazione: il GPS Simulation Toolkit for LabVIEW ha consentito di ricostruire la sovrapposizione di tutti i segnali ricevuti in una data posizione a terra da parte di tutti i satelliti GPS presenti e attivi nella costellazione, LabVIEW FPGA e la libreria per l'IF Transceiver PXIe-5641R hanno permesso un rapido interfacciamento a basso livello con l'hardware (cosa assolutamente impensabile sino a pochi anni fa), tramite LabVIEW si è definita l'interfaccia utente e la configurazione dell'intero sistema.

La prima prova, che ha dimostrato che tutto il sistema funzionava correttamente, è avvenuta collegando un primo ricevitore GPS per timing al simulatore e un secondo ricevitore a una vera antenna GPS. Si è osservato così che entrambi generavano lo stesso identico segnale di sincronizzazione PPS (Pulse Per Second), sempre nella stessa identica posizione e senza variazioni nel tempo. Lo strumento sviluppato permette inoltre di testare situazioni e teorie anche più complesse di quelle appena illustrate, ad esempio la dilatazione del tempo descritta dalla relatività ristretta. All'interno di qualsiasi sistema che si muove a una data velocità, il tempo scorre più lentamente rispetto a un sistema in quiete, fatto che, se trascurabile a velocità umane (una velocità di 300km/h porta a una dilatazione del tempo di soli 0,039ps ogni secondo, quindi ogni secondo trascorso sul sistema in quiete ha una durata inferiore di 0,039ps sul sistema in movimento) ha un effetto ben rilevabile nella tecnologia e nelle possibili applicazioni di riferimento. Se, infatti, un oscillatore perfettamente sincronizzato per generare un preciso PPS si muove a 300km/h, dopo 24 ore risulterà in ritardo di oltre 3ns rispetto ad un identico oscillatore rimasto fermo. Con il sistema sviluppato è quindi possibile simulare il movimento dell'oscillatore senza che questo si muova realmente, eliminando così la differenza temporale introdotta dalla relatività ristretta e permettendo di apprezzare meglio altri fenomeni che introducono diversi tipi di errori temporali.

L'impiego dell'hardware RF modulare di National Instruments, di LabVIEW FPGA e del toolkit per GPS ha consentito di ridurre notevolmente i tempi e rischi di sviluppo, avendo permesso sia di effettuare una verifica della fattibilità semplicemente modificando gli esempi già presenti nel GPS toolkit, sia di sfruttare appieno tutti gli algoritmi e l'hardware già caratterizzato, standardizzato e consolidato. In questo modo è stato possibile focalizzarsi efficacemente sull'implementazione delle funzionalità richieste, senza la necessità di complesse definizioni hardware o di complessi studi sugli algoritmi di simulazione di trasmissione del segnale GPS. La famiglia di hardware RF modulare di National Instruments ha confermato la sua affidabilità a elevate prestazioni anche per applicazioni totalmente innovative che mettono davvero alla luce le reali performance di ogni singolo elemento.