

Tecnologie GPS e Pseudolite per rilievi al chiuso

- Che sia improbabile navigare all'interno di un edificio usando un ricevitore GPS è cosa risaputa, non solo perché i segnali dei satelliti GPS non riescono a penetrare le pareti, ma anche per la forte presenza di multipath ed altre degradazioni che rendono eventuali segnali ricevuti poco precisi. Nonostante ciò all'Università Nazionale di Seoul (SNU) è stato sviluppato un sistema di navigazione per luoghi chiusi basato su pseudoliti in grado di produrre operare con errori inferiori a 1-2 mm nel posizionamento statico ed inferiore a 5-15 mm nel posizionamento dinamico. Tre diverse problematiche sono state affrontate e risolte affinché il sistema funzionasse: il problema del vicino/lontano, la sincronizzazione dei tempi, e il problema del 'multipath'. In questo articolo, di particolare interesse anche per una maggiore comprensione del funzionamento del sistema GPS, si discute il progetto del sistema e le soluzioni ai problemi.

Introduzione

Oggi gli utenti di ricevitori GPS possono determinare la propria posizione in qualsiasi punto del globo, ma è tuttora impossibile usare un ricevitore GPS all'interno di edifici, nonostante esistano importanti applicazioni per la navigazione e il rilievo in luoghi chiusi.

È però possibile realizzare un sistema di navigazione simile al GPS che sostituisce ai satelliti degli pseudoliti [dall'inglese 'pseudolites', ovvero 'pseudo-satelliti'] e che permette la navigazione e il rilievo in luoghi chiusi. Il sistema realizzato da un gruppo di ricerca presso l'Università di Seoul si compone da:

- Cinque pseudoliti e relative antenne trasmettenti (realizzati dalla Integri-Nautics di Menlo Park, in California).
- Due ricevitori, uno per la stazione di riferimento che genera le correzioni differenziali ed uno per la componente mobile dell'utente (realizzati dalla

Navicom Co. Ltd della Corea del Sud).

- Un radio-modem per la trasmissione dei dati.
- Un PC per il monitoraggio, il calcolo e la visualizzazione delle soluzioni di navigazione.

Quattro degli pseudoliti sono stati posti agli angoli del soffitto della stanza di 5 per 5 metri usata per ospitare i test, ed il quinto posto al centro. L'area per le sperimentazioni è stata limitata ad una superficie di 3 x 3 metri sul pavimento della stanza, quest'ultima con molti ostacoli, oltre alle pareti che la delimitano, rappresentano sorgenti di riflessioni in grado di creare sensibili effetti di 'multipath'.

Equazioni fortemente non lineari

Il PC per il monitoraggio viene impiegato per risolvere le equazioni di navigazione e rilievo usando doppie misure con

gli algoritmi ICP e ICDGPS¹. Le doppie differenze delle misure ottenute dalla stazione di riferimento e dall'utente producono equazioni fortemente non lineari poiché il vettore che unisce il ricevitore con lo pseudolite (il vettore LOS) non è noto ed inoltre varia con il movimento dell'utente.

È stato allora necessario implementare un algoritmo iterativo [che produce via via una soluzione sempre meno approssimata ad ogni ciclo di ri-calcolo dell'insieme di equazioni] per convergere ad una soluzione per la posizione dell'utente. I dettagli dell'algoritmo sono esposti nell'articolo pubblicato negli atti di ION 2000.

Il problema del vicino/lontano

Per un sistema di comunicazioni in CD-MA [il sistema a spettro-espanso usato per la trasmissione dei segnali GPS, che permette a più satelliti di condividere la stessa frequenza operativa] tutti i segnali dovrebbero essere ricevuti approssimativamente con lo stesso livello di potenza. Se la potenza con cui un segnale è ricevuto è molto più elevata rispetto a quella di altri (problema del "vicino") oppure se la potenza di un segnale è molto più bassa rispetto a quello degli altri (problema del "lontano"), il ricevitore non può inseguire tutti i segnali poiché i più forti interferiscono con la ricezione dei più deboli.

Nel caso di un utente all'aperto, il moto del ricevitore non varia apprezzabilmente la potenza dei segnali ricevuti perché i satelliti GPS sono di gran lunga più distanti di qualsiasi possibile spostamento del ricevitore. In un luogo chiuso, al contrario, il moto del ricevitore varia con una proporzione apprezzabile rispetto agli pseudoliti poiché questi sono installati a pochi metri dall'utente.

Per risolvere questo problema si ricorre allora, presso gli pseudoliti, ad uno schema di trasmissione ad impulsi. Secondo questo schema ogni pseudolite trasmette casualmente segnali in codice C/A [il segnale usato per il posizionamento con ricevitori GPS civili] per soli 100 microsecondi e smette poi di trasmettere per 900 microsecondi (i 100 microsecondi corrispondono al 10% del normale ciclo di 1ms del segnale C/A).

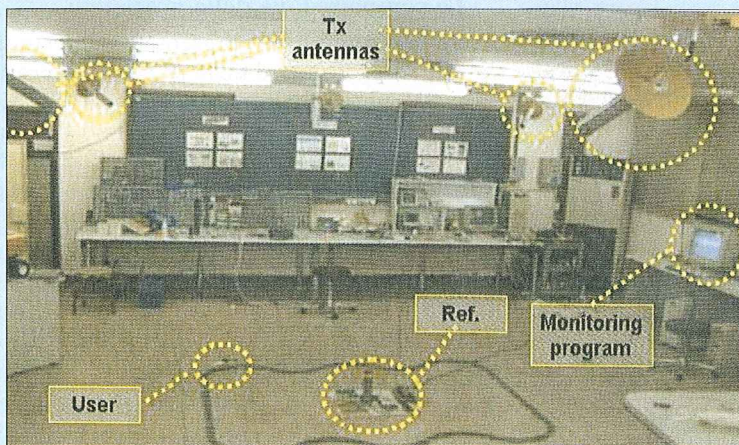


Fig.1
Una immagine del laboratorio e delle componenti del sistema.

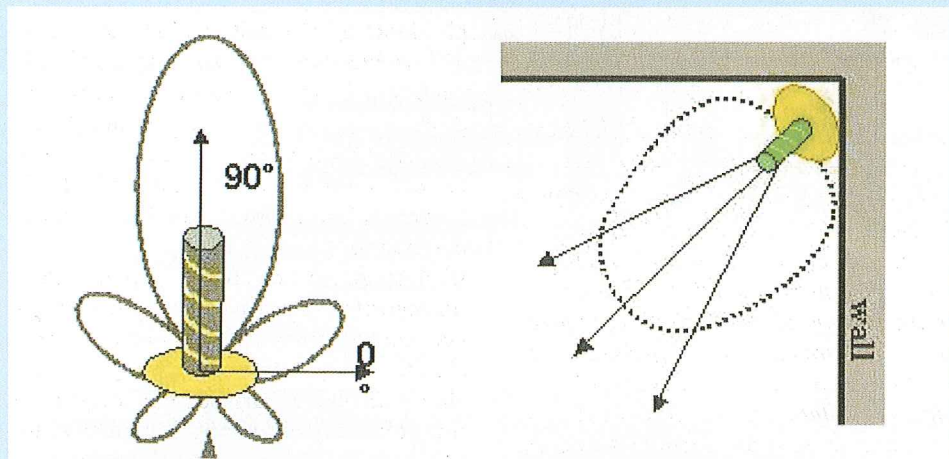


Fig.2 - Diagrammi delle antenne elicoidali per la mitigazione degli effetti di multipath.

Sincronizzazione dei tempi

Ogni pseudolite trasmette un segnale analogo a quello del GPS sulla frequenza L1, ma utilizza un oscillatore di riferimento di bassa qualità se comparato con gli oscillatori atomici usati a bordo dei satelliti GPS. Inoltre il segnale dello pseudolite non viene utilizzato per trasmettere altri dati [cioè non porta con sé un Messaggio di Navigazione come nel caso reale].

Poiché è essenziale in questa applicazione che il ricevitore sia dello stesso tipo di un normale ricevitore GPS, l'unica differenza introdotta è stata a livello di 'firmware' [il 'software' che controlla un piccolo dispositivo digitale] allo scopo di risolvere il problema della sincronizzazione temporale [essenziale per il funzionamento del sistema GPS]. Poiché gli oscillatori degli pseudoliti non sono sufficientemente accurati, i ricevitori non possono sincronizzarsi temporalmente con la stessa accuratezza che si ha quando ci si aggancia ai satelliti GPS. Gli errori che si verificano introducono degli errori Doppler nelle distanze misurate dagli pseudoliti [come se la velocità relativa tra utente e satellite fosse diversa da quella reale].

Per sincronizzare i tempi di campionamento dei segnali i ricevitori fanno riferimento ad un pseudolite Master. Per contro la stazione di riferimento invia le proprie misure al PC in modo che gli errori dovuti alle variazioni di temporizzazione possano essere esclusi nel calcolo della posizione dell'utente.

Utilizzando questo sistema [che ha un parallelo nell'eliminazione dell'errore, anch'esso di tipo temporale, volutamente indotto dalla Selective Availability, ora

eliminata, per mezzo di una correzione differenziale] i tempi di campionamento possono essere sincronizzati entro un microsecondo con un conseguente errore teorico nel posizionamento inferiore a 0.3 mm, cioè del tutto trascurabile.

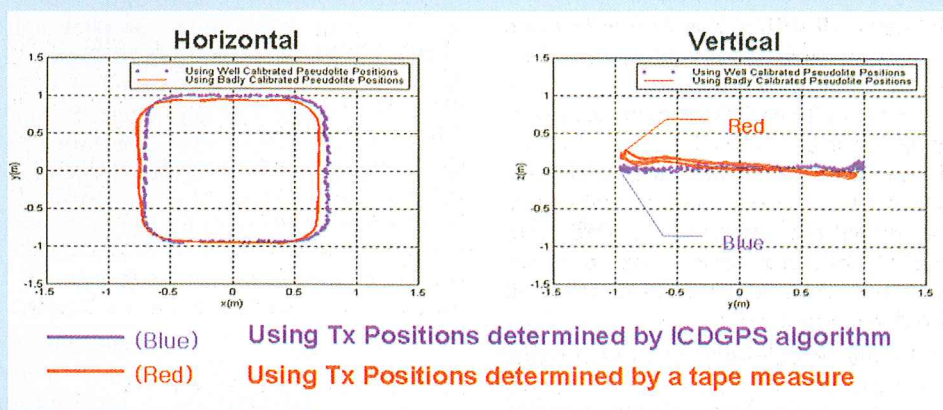


Fig.3 - I risultati della navigazione impiegando due modalità di setting dei pseudolite.

Multipath

Il multipath [cioè la ricezione del segnale desiderato da una direzione diversa da quella diretta, con distanza minima tra trasmettitore e ricevitore] produce due effetti: in un caso il ricevitore si aggancia al segnale non diretto (con un conseguente errore nella distanza misurata); nell'altro caso, il peggior, il segnale di uno pseudolite non può essere

agganciato perché il segnale diretto e quello riflesso si sovrappongono differenzialmente.

Le antenne di tipo 'patch' [antenne "piatte" realizzate su un piccolo quadrato di materiale dielettrico, tipicamente utilizzate nei ricevitori più economici oppure per essere agganciate magneticamente sul tetto di un'automobile] hanno un campo di visibilità molto ampio e sono molto soggette agli effetti del 'multipath'. Il gruppo di ricerca dell'Università di Seoul ha perciò realizzato ed utilizzato delle antenne elicoidali [più direttive] per ridurre gli effetti negativi. Variando la lunghezza dell'elica di ogni antenna (fatta a mano) è possibile regolare l'angolo di emissione della stessa. [Concentrando l'emissione degli pseudoliti nell'area di misura ha in sostanza permesso di ridurre l'insorgenza di fenomeni di 'multipath' senza dover modificare le antenne dei ricevitori].

Localizzazione del centro di fase

Nelle applicazioni del GPS all'aperto, il ricevitore ottiene [con il Messaggio di Navigazione] i dati di almanacco e di effermeridi relativi alla costellazione dei satelliti ed è in grado di calcolare la posizione di ogni satellite. Nel caso di un sistema in luoghi chiusi occorre effettuare una precisa misurazione della posizione

	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
Errore in modalità statica	1.0	1.0	2.0
Errore in modalità dinamica	5.6	5.6	15.0

Tabella 1 - Analisi degli errori (RMS) del sistema di navigazione e rilievo per interni.

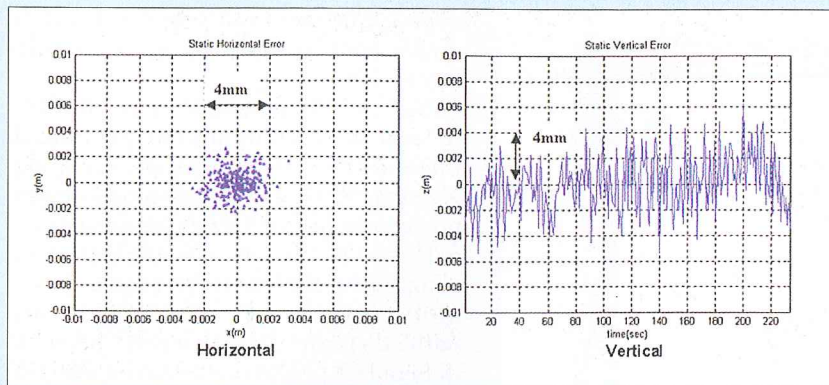


Fig.4 - Analisi degli errori in modalità di misura statica.

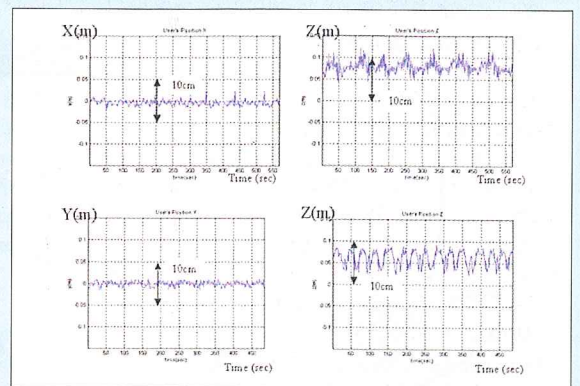


Fig.5 Analisi degli errori in modalità di misura dinamica.

degli pseudoliti e fornire questa informazione ai ricevitori.

A causa delle corte distanze in gioco, un piccolo errore nel rilievo e nella comunicazione della posizione degli pseudoliti può portare ad errori relativamente grandi nelle distanze calcolate dai ricevitori. Inoltre, la misura accurata del centro di fase delle antenne è molto difficile a causa della forma e delle dimensioni delle antenne ad elica, al punto da essere praticamente impossibile con mezzi convenzionali.

Per risolvere anche questo problema è stato utilizzato il metodo del GPS differenziale invertito (algoritmo ICDGPS) [che prevede il calcolo della posizione non presso il ricevitore, ma presso una stazione centrale che raccoglie le misure di distanza dagli pseudoliti fatte dal ricevitore]. Il metodo è stato impiegato per calcolare la posizione delle antenne, a partire dalle misure del ricevitore posto in 8 punti noti del laboratorio.

Per verificare questa scelta sono state poi fatte delle misure di posizione utilizzando una stima della posizione del centro di fase delle antenne (avendolo misurato con un metro a nastro). L'esperimento, limitato alle sole 2 dimensioni, è stato effettuato sul pavimento del laboratorio.

L'esperimento è stato poi ripetuto utilizzando la posizione del centro di fase delle antenne determinato con l'algoritmo ICDGPS ed i risultati di entrambi i metodi sono riportati in Figura 3, dove in rosso si hanno i risultati con il metodo ICP ed in blu i risultati con il metodo ICDGPS.

Dalle misure effettuate appare evidente che l'utilizzo del metodo ICDGPS [per la determinazione della posizione degli pseudoliti] ha portato a risultati più accurati.

Risultati sperimentali

La Figura 4 e la Tabella 1 mostrano che nella navigazione statica l'errore è inferiore a 1-2 mm. Questo è un risultato eccellente data la presenza di 'multipath' in luogo chiuso. Per le misure dinamiche [cioè in movimento] è stato fatto muovere un trenino lungo binari paralleli agli assi X ed Y del sistema di riferimento adottato. In Figura 5 e in Tabella 1 sono mostrati i risultati di questi test. Si noti come l'errore RMS non sia superiore a 15 mm nella direzione verticale (senza tenere conto dell'errore fisso dovuto all'altezza del trenino stesso da terra).

Conclusioni

È stato raggiunto un risultato significativo nello sviluppo di un sistema di navigazione e rilievo per luoghi chiusi risolvendo problemi legati alla distanza dagli pseudoliti, alla sincronizzazione temporale ed al multipath. Il prototipo realizzato presso la SNU è in continuo sviluppo ed esistono piani per la realizzazione del sistema nell'ambito di un'applicazione reale.

Estratto da "GPS Indoor Navigation System", GIM International 7/2001, a cura di Prof. Changdon Kee, Seoul National University, Corea del Sud

BIBLIOGRAFIA

- C. Kee, D. Yun, H. Jun, B. Kim, Y. Kim, B. Parkinson, T. Langenstein, S. Pullen, J. Lee, 2000, Development of Indoor Navigation System using Asynchronous Pseudolites, Proceedings of ION GPS-2000, Salt Lake City, UL September 19-22, 2000
- H. S. Cobb, 1997, GPS Pseudolite: Theory, Design, and Applications, Ph.D. dissertation, Stanford University
- C. Balanis, 1997, Antenna Theory, 2nd edition, John Wiley & Sons
- C. Kee, D. Yun, H. Jun, B. Parkinson, 1999, Precise Calibration of pseudo lite Positions In Indoor Navigation System, Proceedings of ION GPS-99, Nashville, TN, Sep-tember 14-17, 1999
- K. Zimmerman, 1996, Experiments In The Use of the Global Positioning System for Space Vehicle Rendezvous, Ph.D. dissertation, Stanford University.

Nota: [Le note tra parentesi quadre sono a cura del traduttore]

Riduzione a cura di Fabrizio Bernardini