

L'impatto dei modelli stocastici nel posizionamento singolo di precisione (PPP)

Stefano GANDOLFI, Luca GUSELLA

DISTART - Università di Bologna, (*stefano.gandolfi, luca.gusella*)@mail.ing.unibo.it

Riassunto

La tecnica di posizionamento non differenziata di dati GPS, nota come Precise Point Positioning (PPP) ha avuto un consistente sviluppo negli ultimi anni. Grazie alla disponibilità di orbite precise, ai file di correzione degli orologi dei satelliti e grazie alla conoscenza sempre più accurata dei modelli di propagazione del segnale in atmosfera, le sessioni giornaliere determinate in modalità PPP presentano accuratizie analoghe al medesimo dato determinato con approccio differenziato.

Nel posizionamento PPP di Gipsy Oasis II, in particolare, ogni parametro, dalla posizione della stazione, al ritardo troposferico, al modello dell'orologio del ricevitore, è stimato come variabile stocastica.

Il presente lavoro si propone la valutazione sperimentale dell'impatto sulla soluzione delle caratteristiche statistiche dei parametri, quali varianza a priori, comportamento whitenoise/random walk, al fine di conoscere in modo più preciso l'efficacia nella determinazione sia della posizione, ma anche delle caratteristiche correlate alla soluzione, quali tipicamente il ritardo troposferico. A questo fine saranno analizzati i dati di stazioni permanenti presenti nel territorio nazionale e di dati di stazioni permanenti presenti nel continente antartico.

Abstract

PPP strategy for geodetic positioning is become one of the actual technologies. Thanks to precise orbit determination, accurate satellite clocks estimate, rigorous physics models, it is possible to obtain a reliable accuracy for daily sessions.

The software analyzed, Gipsy Oasis II, has the capability to estimate each parameter with a specific stochastic model.

This work presents some experimental results on the use of different statistics models.

1. Introduzione

Il termine "point positioning" si riferisce alla stima in tempo reale della posizione del singolo ricevitore (Single Point Positioning, SPP), sulla base delle osservazioni di codice raccolte dal ricevitore stesso ed utilizzando, per le effemeridi e le correzioni dell'orologio del satellite, i valori trasmessi nel messaggio di navigazione (broadcast orbits).

Come noto, con il Single Point Positioning i risultati sono caratterizzati da un'accuratezza dell'ordine dei 15÷25 metri nel posizionamento in tempo reale e di 3÷5 metri nel caso di osservazioni di codice prolungate e posizionamento a posteriori.

Il Precise Point Positioning (PPP), sviluppato al Jet Propulsion Laboratory (JPL, NASA) verso la fine degli anni novanta ed implementato con il software di elaborazione dati GPS GIPSY-OASIS II, si differenzia sostanzialmente dal Single Point Positioning (SPP) per il tipo di dato GPS e di orbite dei satelliti GPS (effemeridi e correzioni degli orologi dei satelliti) utilizzati nell'elaborazione (Zumberge et al., 1997).

Con il PPP, la posizione del singolo ricevitore è determinata a posteriori, utilizzando osservazioni di fase e di codice non differenziate e le orbite precise, ottenute dall'analisi di una rete globale e caratterizzate da una accuratezza centimetrica.

Attualmente, con il Precise Point Positioning (PPP) è possibile determinare la posizione del singolo ricevitore con accuratezze paragonabili a quelle ottenibili con le tradizionali tecniche di posizionamento GPS di alta precisione (Gandolfi et al, 2005).

1.1 Il modello matematico

Le coordinate della stazione, la correzione per l'orologio del ricevitore, l'ambiguità ed il ritardo troposferico allo zenit (Kouba et al.,2000), assunti come parametri incogniti ed ipotizzato per ciascuno di essi un certo comportamento stocastico, sono stimati esplicitamente utilizzando un filtro sequenziale (SRIF, Sequential Recursive Information Filter).

Nella modellizzazione adottata da Gipsy, i parametri incogniti possono avere due comportamenti stocastici: senza alcuna correlazione tra i dati (comportamento “white noise”) o un comportamento di tipo random walk, in cui il valore successivo deve essere entro una data varianza rispetto al valore precedente.

Nel posizionamento statico, i parametri sono modellati nel modo seguente:

Orologi: White Noise

Troposfera: Random Walk (Zumberge et al., 1998; Kouba et al.,2000)

Ambiguità: White Noise (per ogni ciclo slip rilevato è aggiunta una nuova variabile stocastica)

Posizione: White Noise per il posizionamento statico, Random Walk per il cinematico

Ionosfera: uso di combinazioni ione-free (Hofmann-Wellenhof et al. 1992)

Le equazioni di osservazione, per combinazioni ionosphere-free delle osservabili, sono date dalle relazioni:

$$l_p = \rho + c(dt - dT) + T_r + \varepsilon_p \quad (1)$$

$$l_\phi = \rho + c(dt - dT) + T_r + N\lambda + \varepsilon_\phi \quad (2)$$

dove:

l_p : combinazione *ionosphere-free* degli pseudorange P_1 e P_2 : $l_p = 2.546 \cdot P_1 - 1.546 \cdot P_2$

l_ϕ : combinazione *ionosphere-free* delle fasi portanti L_1 e L_2 : $l_\phi = 2.546\lambda_1\Phi_1 - 1.546\lambda_2\Phi_2$

dT : offset dell'orologio del ricevitore rispetto il tempo GPS

dt : offset dell'orologio del satellite rispetto il tempo GPS

c : velocità della luce nel vuoto

T_r : ritardo di propagazione del segnale in troposfera

N : ambiguità, non intera, della combinazione *ionosphere-free* delle fasi portanti

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda$: lunghezza d'onda, rispettivamente, delle fasi portanti L_1 e L_2 e della combinazione *ionosphere-free* (10.7 cm)

$\varepsilon_p, \varepsilon_\phi$: componenti di rumore delle misure (è incluso il *multipath*)

ρ : distanza geometrica tra il satellite (X_s, Y_s, Z_s) all'epoca di trasmissione t ed il ricevitore (x, y, z)

all'epoca di ricezione $T - t + \frac{\rho}{c}$:

$$\rho = \sqrt{(X_s - x)^2 + (Y_s - y)^2 + (Z_s - z)^2}$$

Se nel posizionamento si utilizzano le orbite GPS precise, la correzione dell'orologio del satellite (dt) può considerarsi nota e le equazioni di osservazione possono essere scritte:

$$f_p = \rho + c \cdot dT + M \cdot zpd + \varepsilon_p - l_p = 0 \quad (3)$$

$$f_\phi = \rho + c \cdot dT + M \cdot zpd + N\lambda + \varepsilon_\phi - l_\phi = 0 \quad (4)$$

Il ritardo di propagazione del segnale in troposfera (T_r) è stato espresso come prodotto tra il ritardo del segnale allo zenit (*Zenith Path Delay*, zpd) e la funzione mappante (M) che lega tale ritardo all'effettiva traiettoria del segnale:

$$T_r = M \cdot zpd_{dry} + M \cdot zpd_{wet}$$

Le equazioni (3) e (4), in cui compaiono soltanto osservazioni ed incognite relative al singolo ricevitore, rappresentano il modello matematico del Precise Point Positioning. Le soluzioni (posizione della stazione, correzione dell'orologio del ricevitore e ritardo troposferico allo zenith) saranno consistenti con il sistema di riferimento globale in cui sono note posizioni e correzioni per l'orologio di ciascun satellite. È importante sottolineare come, in questo caso, per l'ambiguità si ottenga sempre un valore reale (ambiguity-free solution).

2. La sperimentazione

Sono stati sperimentati gli impatti di due parametri esterni:

1) modello stocastico degli orologi e della troposfera: influenza della varianza a priori e del comportamento (white noise, random walk). I dati riportati si riferiscono alla stazione permanente TNB1 in Antartide e BOL1 in Italia. Risultati complessivamente analoghi si ottengono utilizzando diverse stazioni.

2) uso di orbite non FLINN, in particolare l'uso di orbite IGS

3. I modelli statistici

Come specificato nel paragrafo 2, il modello stocastico ed i valori consigliati dal manuale di GIPSY per la varianza sono i seguenti (Tabella 1):

Parametro	Comportamento	Varianza
Orologio	WhiteNoise (WN)	$3 * 10 \text{ m (1 sec)}$
Troposfera	Randomwalk (RW)	$1 * 10^{-7} (10.2 \text{ Km/s}^{1/2})$

Tabella 1: Valori e modelli stocastici consigliati per l'errore dell'orologio del ricevitore e la troposfera (zpd_{wet})

Sono stati verificati alcuni valori test per le stazioni TNB1 e BOL1. Nella tabella 2 sono riportati le differenze tra il posizionamento con i parametri consigliati e quelli di seguito riportati. Le coordinate si riferiscono al reference frame ITRF determinato da JPL.

		TNB1			BOL1		
modello	Varianza(m)	dx(m)	dy(m)	dz(m)	dx(m)	dy(m)	dz(m)
WN	3.00E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
WN	3.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
WN	3.00E-01	1.00E-06	0.00E+00	4.00E-06	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
WN	3.00E-02	9.30E-05	-2.10E-05	3.76E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
WN	3.00E-03	9.16E-03	-2.06E-03	3.68E-02	-2.40E-04	-3.00E-05	-2.10E-04
WN	3.00E-04	-	-	-	-1.10E-02	7.40E-04	-8.18E-03
WN	3.00E-05	-	-	-	-	-	-

RW	3.00E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
RW	3.00E-04	-1.00E-06	0.00E+00	-2.00E-06	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
RW	3.00E-05	-5.40E-05	3.80E-05	-1.74E-04	1.00E-05	0.00E+00	1.00E-05
RW	3.00E-06	-	-	-	1.85E-03	1.90E-04	1.57E-03
RW	3.00E-07	-	-	-	-	-	-

Tabella 2. Modello stocastico degli orologi dei ricevitori. WN indica White Noise, RW indica Random Walk.

L'impatto dei due modelli stocastici è trascurabile, è in ogni caso necessario non porre valori troppo restrittivi alle varianze in quanto al di sotto di un certo valore, dell'ordine di 10^{-3} per il modello White Noise e di 10^{-5} per il modello Random Walk, il sistema non è in grado di risolvere il punto.

L'impatto dell'uso di un modello di tipo whitenoise per la troposfera porta ad una differenza nella posizione dell'ordine di 30 cm per la stazione antartica ed un errore di processo per la stazione di Bologna, sconsigliandone dunque l'uso. Per quanto riguarda l'uso di diverse varianze di processo, la differenza è sensibile (nell'ordine dei millimetri).

	TNB1			BOL1		
Varianza	dx(m)	dy(m)	dz(m)	dx(m)	dy(m)	dz(m)
WN	-6.68E-02	5.64E-03	-3.23E-01	-	-	-
1.70E-15	-1.06E-03	-5.90E-04	-3.00E-05	4.37E-03	3.32E-03	6.27E-03
1.70E-09	-1.04E-03	-5.90E-04	-5.00E-05	7.54E-03	7.28E-04	8.35E-03
1.70E-07	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
1.70E-01	1.54E-03	-1.40E-04	-1.79E-03	-3.05E-03	-5.03E-04	-1.73E-03
1.70E+06	1.54E-03	-1.40E-04	-1.79E-03	-3.05E-03	-5.03E-04	-1.73E-03

Tabella 3. Modello stocastico della troposfera. WN indica White Noise, i restanti valori sono Random Walk.

4. Uso di orbite IGS

Sono state paragonate le orbite non fiduciali FLINN (Fiducial Laboratories for International Natural Science Network , Jet Propulsion laboratory, <ftp://sideshow.jpl.nasa.gov>) con le orbite precise IGS, grazie alle nuove funzionalità di importazione della versione 4.04 di GIPSY). Nella figura successiva, è riportato l'andamento in quota delle differenze di posizionamento, così come riportato nella release note di Gipsy (JPL, 2006).

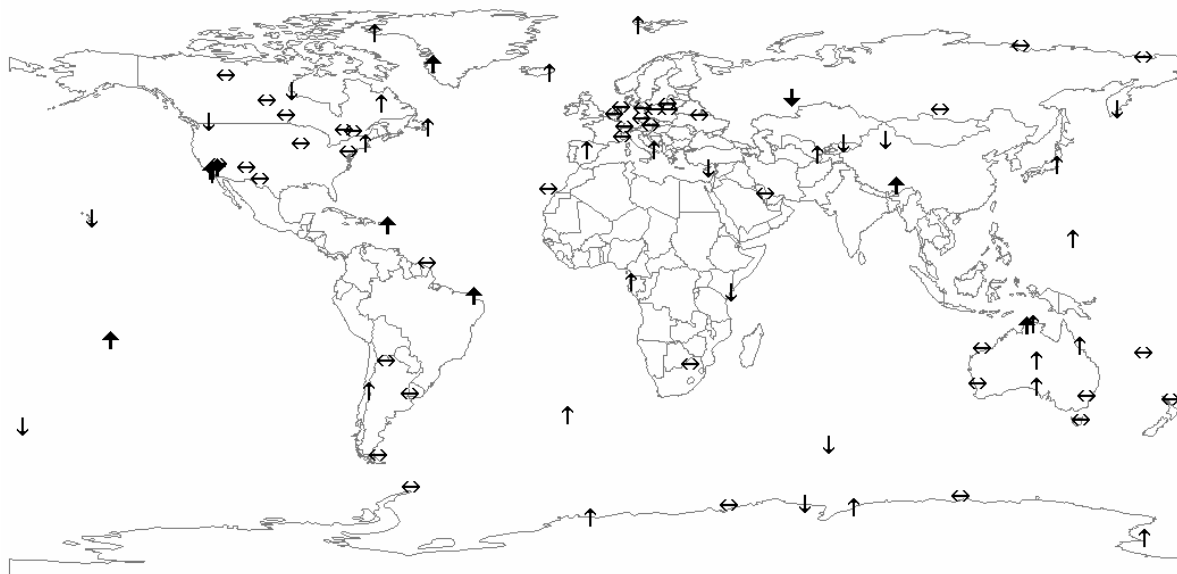


Figura 1. Differenze in quota tra la determinazione della posizione tramite orbite FLINN ed orbite IGS.

Nella seguente tabella 4 sono riportati i valori e la legenda della Figura 1.

Intervallo (m)	Legenda	Numero Stazioni
-1 ÷ -0.20	↕	1
-0.20 ÷ -0.05	↓	11
-0.05 ÷ 0.05	↔	41
0.05 ÷ 0.20	↑	22
0.20 ÷ 1	⬆	9

Tabella 4. Differenze in quota tra determinazioni IGS e FLINN in modalità PPP.

Un test, eseguito sulle stazioni BOL1 e TNB1, ha evidenziato un comportamento simile a quello globale. In ogni caso si rimanda ad un'ulteriore indagine ogni conclusione definitiva.

Stazione	dx(m)	dy(m)	dz(m)
BOL1	-0.0115	0.0018	-0.0157
TNB1	0.0026	-0.0071	0.0231

Tabella 5. Determinazione delle differenze di posizione tra la determinazione PPP con orbite IGS e la determinazione PPP con orbite FLINN.

6. Conclusioni

Sono stati presentati gli impatti di alcuni modelli nel posizionamento singolo di precisione (PPP) e l'impatto della scelta delle orbite da utilizzare e, conseguentemente, del frame di inserimento.

Per quanto riguarda i modelli, non si è riscontrata una dipendenza cruciale nella scelta della tipologia di modello stocastico (random walk o white noise) per quanto concerne gli orologi, mentre per ciò che riguarda la troposfera il comportamento da utilizzare è senza dubbio random walk, ed è presente una dipendenza sensibile (dell'ordine di alcuni millimetri) della posizione rispetto alla varianza a priori.

L'uso delle orbite IGS, con una determinazione diversa (IGS) presenta aspetti interessanti, per i quali si rimanda ad uno studio più approfondito.

8. Ringraziamenti

Gli autori desiderano ringraziare il Prof. Barbarella per aver messo a disposizione i dati della stazione permanente di Bologna (BOL1).

Si ringrazia inoltre il Programma Nazionale per le Ricerche in Antartide e il Prof. Capra (responsabile della geodesia del programma) per aver consentito l'utilizzo dei dati della stazione permanente TNB1.

7. Bibliografia

GANDOLFI S., GUSELLA L., MILANO M., 2005. Precise Point Positioning: studio sulle accuratezze e precisioni ottenibili, Bollettino di Geodesia e Scienze Affini, n. 4/2005

HOFMANN-WELLENHOF B., LICHTENEGGER H., COLLINS J., 1992: Global Positioning System. Theory and Practice. Ed. Springer –Verlag Wien New York.

JPL, 2006. README for the GIPSY-OASIS 4.04 Incremental Update

KOUBA J.,HEROUX P., 2000. GPS Precise Point Positioning using IGS Orbit Products. GPS Solutions, Vol.5, No.2, Fall, 12-28.

ZUMBERGE J. F., HELFIN M. B., JEFFERSON D.C., WATKINS M. M., WEBB F. H.,1997. Precise point positioning for efficient and robust analysis of GPS data from large networks. Journal of Geophysical Research, 102. pp. 5005-5017

ZUMBERGE J. F., WATKINS M. M., WEBB F. H.,1998. Characteristics and applications of precise GPS clock solutions every 30 seconds. JPL technical reports.