Βαθμονόμηση Δεκτών GPS από Μετρήσεις σε Μηδενική Βάση

Χ. ΠΙΚΡΙΔΑΣ

Λέκτορας Α.Π.Θ.

Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη των σφαλμάτων που προέρχονται από τα ηλεκτρονικά κυκλώματα του δέκτη κατά τη διάρκεια λειτουργίας του. Η τεχνική που εφαρμόζεται είναι η μέτρηση βάσης μηδενικού μήκους. Για το σκοπό αυτό δύο δέκτες συνδέονται με τη βοήθεια ενός διαχωριστή σήματος (splitter) με την ίδια κεραία. Οι μετρήσεις, διάρκειας εννέα ωρών καθημερινά, πραγματοποιήθηκαν σε τέσσερις συνεχόμενες ημέρες με ρυθμό καταγραφής I sec. Οι διαφορές που εμφανίστηκαν τόσο στο μήκος της βάσης όσο και στη σχετική υψομετρική διαφορά είναι μικρότερες του χιλιοστού και χωρίς συστηματικό χαρακτήρα. Εξετάζεται ένα διάστημα παρατήρησης διάρκειας τεσσάρων ωρών και αναλύονται οι εκτιμήσεις των σφαλμάτων των απλών διαφορών, τόσο για τις μετρήσεις φάσης όσο και για τις μετρήσεις κώδικα. Αυζημένες τιμές εμφανίζονται για όλους τους χαμηλά παρατηρούμενους δορυφόρους, η ανάλυση των οποίων οδηγεί σε χρήσιμα συμπεράσματα.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Αντικείμενο της εργασίας αποτελεί η μελέτη των σφαλμάτων που προέρχονται από τα διάφορα ηλεκτρονικά κυκλώματα του δέκτη κατά τη διάρκεια λειτουργίας του.

Ο εντοπισμός και η εκτίμηση των συστηματικών σφαλμάτων που προέρχονται από τα ηλεκτρονικά κυκλώματα ενός δέκτη GPS, είναι μία διαδικασία ιδιαίτερα σημαντική πριν από τη χρησιμοποίησή του σε εφαρμογές και ιδιαίτερα σε αυτές που απαιτούν υψηλή ακρίβεια προσδιορισμού θέσης, καλύτερης του ενός εκατοστού, όπως π.χ. για μελέτες μικρομετακινήσεων του γήινου φλοιού ή μεγάλων τεχνικών έργων. Τα σφάλματα αυτά, που συχνά ονομάζονται και ως θόρυβος του δέκτη (receiver noise), οφείλονται κυρίως στην ηλεκτρική ισχύ των κυκλωμάτων που υπάρχουν στο κύκλωμα των ραδιοσυχνοτήτων. Το τμήμα αυτό αποτελεί την "καρδιά" του δέκτη και περιλαμβάνει τους δίαυλους και τα διάφορα άλλα ηλεκτρονικά κυκλώματα, για τη λήψη και την πρωτογενή ανάλυση των δορυφορικών σημάτων, που είναι κυρίως ταλαντωτές, πολλαπλασιαστές, φίλτρα, μίκτες [8]. Το πρόβλημα των παραπάνω σφαλμάτων αντιμετωπίζεται με τη μέτρηση βάσης μηδενικού μήκους (Zero Baseline) [2],[12]. Η διάταξη αυτή απαιτεί τη σύνδεση δύο (ή και περισσότερων) δεκτών GPS με την ίδια κεραία. Για Υποβλήθηκε: 20.9.2004 Εγινε δεκτή: 10.6.2005

να γίνει αυτό εφικτό, χρειάζεται ένας διαχωριστής σήματος (splitter), μαζί με τον αντίστοιχο ενισχυτή, ο οποίος στέλνει όμοια αντίγραφα του δορυφορικού σήματος σε κάθε δέκτη που είναι συνδεδεμένος σε αυτόν. Με αυτή την τεχνική όλα τα σφάλματα που προέρχονται από εξωτερικές πηγές, όπως σφάλματα τροχιάς, ατμόσφαιρας, πολυανάκλασης και κέντρωσης, απαλείφονται ενώ αντιθέτως παραμένουν όλα εκείνα που προέρχονται από τα διάφορα ηλεκτρονικά κυκλώματα.

Γενικά, οι διαφορές που εμφανίστηκαν, τόσο στο μήκος της βάσης όσο και στη σχετική υψομετρική διαφορά, είναι μικρότερες του χιλιοστού και χωρίς συστηματικό χαρακτήρα. Αντιθέτως αυξημένες τιμές σφαλμάτων (≈1-2 cm), που μπορεί να θεωρηθούν σημαντικές, εμφανίζονται για δορυφόρους που είναι ορατοί σε όλη τη διάρκεια παρατήρησης και σε χαμηλή γωνία ύψους.

2. ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ

- ΔI_i^{iov} : Ιονοσφαιρική διόρθωση στη συχνότητα i.
- ρ_r^s : Γεωμετρική απόσταση δορυφόρου-δέκτη.
- ΔT_r^s : Τροποσφαιρική επίδραση μεταξύ δορυφόρουδέκτη.
- Δt^s_r : Χρονικό σφάλμα των χρονομέτρων δορυφόρουδέκτη.
- $\delta_{_{AB}}$: Χρονικό σφάλμα των χρονομέτρων δέκτη A-δέκτη B.
 - : Ταχύτητα του φωτός στο κενό (=299792458 m/s).
 - : Μήκος κύματος της συχνότητας L_i
- Ν_i : Αρχική ασάφεια φάσης.
 - : Παρατήρηση φάσης στην συχνότητα L_i
 - : Παρατήρηση ψευδοαπόστασης.
 - : Φέρουσα συχνότητα GPS.
- v_i : Τυχαίο σφάλμα. σ^i_A : Σφάλμα στη μέτ

с

λ,

Φ

P_i

L

- Α Σφάλμα στη μέτρηση φάσης μεταξύ δορυφόρου i και δέκτη Α.
- S : Μήκος βάσης GPS.
- σ_{AB} : Σφάλμα στην απλή διαφορά φάσης μεταξύ δύο δεκτών Α και Β.

3. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ GPS

3.1. Μέτρηση βάσης μηδενικού μήκους

Η τεχνική της μέτρησης βάσης μηδενικού μήκους εφαρμόστηκε με δύο δέκτες δύο συχνοτήτων του ΤΑΤΜ/ΑΠΘ (Leica system 500) οι οποίοι συνδέθηκαν (μέσω του διαχωριστή) με κεραία τύπου σπειροειδών δακτυλίων (choke ring), που έχει την ικανότητα εξάλειψης σε μεγάλο βαθμό του σφάλματος της πολυανάκλασης [6], [8],[17],[18].

Οι μετρήσεις, διάρκειας εννέα ωρών καθημερινά, πραγματοποιήθηκαν σε τέσσερις συνεχόμενες ημέρες (13/7-16/7, 195-198 ημέρες του έτους 2004) με ρυθμό καταγραφής 1 sec και γωνία αποκοπής των δορυφορικών σημάτων (cutoff angle) 15°. Το συγκεκριμένο μοντέλο δεκτών καταγράφει στη συχνότητα L_1 μετρήσεις φάσης και κώδικα (C/A) και στη συχνότητα L_2 μετρήσεις φάσης και κώδικα (P). Μία γραφική απόδοση της διάταξης σύνδεσης φαίνεται στο σχήμα 1.



Σχήμα 1: Συνδεσμολογία βάσης μηδενικού μήκους. Figure 1: Zero baseline measurement setup.

3.2. Επεξεργασία δεδομένων και ανάλυση αποτελεσμάτων

Η προεπεξεργασία και η τελική λύση για κάθε επίλυση έγινε με το λογισμικό Bernese v4.2 χρησιμοποιώντας δορυφορικές εφημερίδες ακριβείας (precise ephemerides) από το υπολογιστικό κέντρο CODE (Center for Orbit Determination in Europe). Για την επίλυση των ασαφειών φάσης σε κάθε λύση χρησιμοποιήθηκε η τεχνική 'Fara' [5] με ποσοστό επιτυχίας 100%.

Για να ελεγχθεί η διαφορά στο μήκος της βάσης (S) αλλά και στο σχετικό υψόμετρο, ποσότητες οι οποίες δίνονται στα αποτελέσματα της τελικής λύσης από όλα τα συνήθη λογισμικά, πραγματοποιήθηκαν τρεις διαφορετικές επιλύσεις για κάθε ημέρα παρατήρησης επιλέγοντας κάθε φορά διαφορετικό αριθμό δεδομένων, αλλάζοντας, δηλαδή το ρυθμό καταγραφής των παρατηρήσεων. Συγκεκριμένα, στην πρώτη επίλυση χρησιμοποιήθηκαν όλα τα δεδομένα ανά 1 sec, στη δεύτερη ανά 15 sec και στην τρίτη ανά 30 sec. Οι τιμές αυτές είναι αντιπροσωπευτικές επιλογές καταγραφής δεδομένων σε αρκετές στατικές και κινηματικές εφαρμογές.

Σε όλες τις επιλύσεις χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της τροποσφαιρικής επίδρασης το μοντέλο Hopfield, ενώ η τελική λύση προέκυψε από παρατηρήσεις φάσης και στις δύο φέρουσες συχνότητες (L, L,) χωρίς τη χρήση κάποιου γραμμικού συνδυασμού με σκοπό την αποφυγή ενίσχυσης του θορύβου στις παρατηρήσεις [4], [5],[18]. Η επεξεργασία των δεδομένων έδωσε παραπλήσια αποτελέσματα και στις δύο συγνότητες τόσο στο μήκος της βάσης όσο και στη σχετική τιμή του υψομέτρου (μεταξύ των δεκτών), μικρότερες του χιλιοστού (από 0.1 έως 0.4 mm) και με ασήμαντες διαφορές μεταξύ τους. Ελαφρά αυξημένες τιμές φαίνονται για την πρώτη ημέρα παρατήρησης σε σχέση με τις υπόλοιπες χωρίς, γενικά, να διακρίνεται κάποιος συστηματικός χαρακτήρας για την ύπαρξη των συγκεκριμένων διαφορών και επομένως να μην εξαρτώνται από το ρυθμό καταγραφής των παρατηρήσεων.

Μία γραφική απεικόνιση των διαφορών για κάθε λύση δίνεται στα σχήματα 2 και 3.





Figure 2: Zero baseline solutions using L, phase data in mm.





Figure 3: Relative height differences from zero baseline solutions using L, phase data in mm.

Προκειμένου να διερευνηθεί, εάν υπάρχει, κάποιο είδος εξάρτησης που να συνδέει τον τύπο των παρατηρήσεων (κώδικα και φάσης) που εκτελεί ο δέκτης, δηλαδή τη συμπεριφορά του (receiver performance) κατά τη διάρκεια λειτουργίας του, επιλύθηκε ένα διάστημα δεδομένων διάρκειας τεσσάρων ωρών, από την τελευταία ημέρα μετρήσεων στο οποίο υπήρχαν αρκετοί παρατηρούμενοι δορυφόροι και με καλή γεωμετρική κατανομή. Χρησιμοποιήθηκαν όλα τα δεδομένα που καταγράφηκαν ανά 1 sec, για εξαγωγή ασφαλέστερων συμπερασμάτων, με τη χρήση δεκτών σε υψηλό ρυθμό καταγραφής παρατηρήσεων. Στο πλαίσιο αυτό μελετήθηκαν οι εκτιμήσεις των σφαλμάτων των απλών διαφορών, τόσο από μετρήσεις φάσης όσο και από μετρήσεις κώδικα, όπως προέκυψαν από την επίλυση της βάσης μέσω της συνόρθωσης με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων [3], [13].

Από την εξίσωση παρατήρησης φάσης μεταξύ δορυφόρου (s) και δέκτη (r), για κάθε συχνότητα L_1 ή L_2 προκύπτει [4],[6],[10],[11],[16],[18] :

$$\boldsymbol{\Phi}_{i} = \boldsymbol{\rho}_{r}^{s} - \boldsymbol{\Delta}\boldsymbol{I}_{i} + \boldsymbol{\Delta}\boldsymbol{T}_{r}^{s} + \boldsymbol{c}\boldsymbol{\Delta}\boldsymbol{t}_{r}^{s} + \boldsymbol{\lambda}_{i}\boldsymbol{N}_{i}^{s} + \boldsymbol{v}_{i}, \quad i = 1, 2 \quad (3.1)$$

Ως απλή διαφορά ορίζεται η διαφορά των παρατηρήσεων μεταξύ δύο δεκτών (A,B) ως προς τον ίδιο δορυφόρο. Για την ψευδοαπόσταση και για τη φάση η απλή διαφορά εκφράζεται αντίστοιχα από τις γενικές σχέσεις:

$$P_{i,AB}^{s} = \rho_{AB}^{s} + c \,\delta_{AB} + I_{AB}^{s} + T_{AB}^{s} + V_{i,AB}^{s}$$
(3.2)

$$\Phi_{i,AB}^{s} = \rho_{AB}^{s} + c \,\delta_{AB} - I_{AB}^{s} + T_{AB}^{s} + \lambda_{i} N_{i,AB}^{s} + V_{i,AB}^{s}$$
(3.3)

Παρατηρούμε ότι με τις απλές διαφορές απαλείφονται τα κοινά σφάλματα που οφείλονται στο δορυφόρο, δηλαδή, κυρίως το σφάλμα του χρονομέτρου του δορυφόρου και άλλα πιθανά μικρότερα, ενώ τα υπόλοιπα εμφανίζονται ως διαφορές με σημαντική μείωση της τιμής τους. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή, οποιεσδήποτε επιδράσεις υπάρχουν, π.χ. λόγω τροχιάς, ατμόσφαιρας, πολυανάκλασης, απαλείφονται δεδομένου ότι πρόκειται για την ίδια ακριβώς παρατήρηση σε κάθε δέκτη. Σκοπός είναι να γρησιμοποιήσουμε μετρήσεις "καθαρές" από κάθε πηγή σφαλμάτων, εκτός από αυτές που δημιουργούνται από τις ηλεκτρικές διατάξεις του δέκτη (όρος c δ , , , για αυτό και αφαιρούμε τις ίδιες παρατηρήσεις μεταξύ τους από κάθε δέκτη ως προς τον ίδιο δορυφόρο και επομένως καταλήγουμε να γρησιμοποιούμε τις απλές διαφορές. Κατά συνέπεια οι εκτιμήσεις των σφαλμάτων για το αντίστοιχο μαθηματικό μοντέλο (σχέση 3.3) θα πρέπει να είναι αισθητά μικρές και με μέση τιμή ίση με μηδέν. Πρόκειται λοιπόν για μια διαδικασία βαθμονόμησης των δεκτών από τις ίδιες τις παρατηρήσεις τους.

Στον πίνακα 1 δίνονται οι ελάχιστες και οι μέγιστες τιμές μαζί με την τυπική τους απόκλιση (rms) για τις εκτιμήσεις σφαλμάτων των απλών διαφορών φάσης στην L_1 συχνότητα για όλους τους παρατηρούμενους δορυφόρους καθώς και οι ελάχιστες και μέγιστες τιμές της γωνίας ύψους.

- Πίνακας 1: Τυπική απόκλιση, ελάχιστες και μέγιστες τιμές σε (mm) σφαλμάτων απλών διαφορών στην συχνότητα L1 και οι ελάχιστες και μέγιστες τιμές γωνίας ύψους για όλους τους παρατηρούμενους δορυφόρους.
- Table 1: Standard deviation, min and max values in mm of L1 single difference residuals along with minimum and maximum elevation values for all observed satellites.

Δορυφόροι	Τιμ	ές Σφαλμι	άτων	Γωνία ύ	ψους
	Rms	Min	Max	Min	Max
PRN	(mm)	(mm)	(mm)	(μοίρες)	(μοίρες)
1	1.98	-9.7	9.0	28	84
4	2.66	-18.0	10.9	18	48
7	4.52	-18.5	16.1	17	21
11	2.44	-13.5	13.4	15	70
13	2.19	-9.7	9.6	18	68
14	3.39	-14.6	9.5	26	34
20	2.04	-10.8	9.4	37	72
23	2.07	-10.1	10.4	22	84
24	4.61	-17.1	13.8	16	25
25	3.45	-14.9	13.8	26	36
27	3.49	-15.8	13.0	20	43
31	3.18	-15.5	13.8	26	30

Από τον πίνακα 1 γίνεται φανερό ότι το σφάλμα στις απλές διαφορές για κάποιο δορυφόρο είναι αντιστρόφως ανάλογο της γωνίας ύψους που βρίσκεται. Εφαρμόζοντας το νόμο μετάδοσης των σφαλμάτων στην απλή διαφορά φάσης και θεωρώντας ότι στις μετρήσεις των φάσεων μεταξύ δορυφόρου-δέκτη η ακρίβεια της παρατήρησης είναι της τάξης των 2 mm για όλες τις παρατηρήσεις, τότε για την απλή διαφορά φάσης μεταξύ δύο δεκτών A, B και ενός δορυφόρου i $\Phi_{AB}^{i} = \Phi_{B}^{i} - \Phi_{A}^{i}$ προκύπτει ότι :

$$\sigma_{AB}^{i} = \sqrt{\sigma_{B}^{i^{2}} + \sigma_{A}^{i^{2}} - 2\sigma_{AB}^{i}} = 2\sqrt{2} = 2.82 \approx 3$$
mm.

Πρακτικά, το σφάλμα αυτό δεν πρέπει να ξεπερνά τα 3-4 mm [5], [11].

Στα σχήματα 4 και 5 γίνεται αισθητή η διαφορά στο εύρος τιμών των σφαλμάτων για τους δορυφόρους με την μικρότερη (δορυφόρος 7) και μεγαλύτερη (δορυφόρος 1) γωνία ύψους.

Όπως φαίνεται από το σχήμα 5, στην αρχή των παρατηρήσεων εμφανίζονται υψηλές τιμές ($\approx 10 \text{ mm}$), πράγμα που είναι λογικό, γιατί κατά την έναρξη των μετρήσεων ο δέκτης εμφανίζει υψηλό σφάλμα συγχρονισμού με το χρόνο GPS, το οποίο στη συνέχεια μεταβάλλεται αλλά με ομαλό ρυθμό [5], [8].





Figure 4: Single difference phase residuals on L_1 for satellite PRN= 7 in m.



Σχήμα 5: Σφάλματα απλών διαφορών φάσης στη συχνότητα L_1 για το δορυφόρο PRN=1 σε m.

Figure 5: Single difference phase residuals on L₁ for satellite PRN= 1 in m.

Στη συνέχεια υπολογίστηκαν και για τις παρατηρήσεις του κώδικα C/A οι εκτιμήσεις σφαλμάτων των απλών διαφορών. Στον πίνακα 2 δίνεται η αντίστοιχη πληροφορία σε m, για όλους τους παρατηρούμενους δορυφόρους.

Προσεκτική μελέτη του πίνακα 2 οδηγεί σε ανάλογα συμπεράσματα με αυτά που προέκυψαν από την ανάλυση του πίνακα 1. Αξίζει να σημειωθεί ότι ίδια συμπεράσματα εξάγονται και από τον υπολογισμό σφαλμάτων για τις μετρήσεις του κώδικα P στην L₂ συχνότητα. Πίνακας 2: Τυπική απόκλιση, ελάχιστες και μέγιστες τιμές σε (m) σφαλμάτων απλών διαφορών κώδικα C/A για όλους τους παρατηρούμενους δορυφόρους.

Table 2: Standard deviation, min and max values in m of C/A code single difference residuals for all the observed satellites.

Δορυφόροι	Τιμές Σφαλμάτων				
PRN	Rms (m)	Min (m)	Max (m)		
1	0.07	-1.15	0.28		
4	0.25	-2.25	2.24		
7	9.54	-58.18	4.04		
11	0.25	-2.73	1.33		
13	0.07	-0.80	0.76		
14	0.39	-3.00	1.88		
20	0.04	-1.30	0.35		
23	0.06	-0.48	0.61		
24	0.73	-3.04	3.60		
25	0.47	-6.59	3.52		
27	0.58	-2.67	2.50		
31	0.32	-2.49	2.49		

Από όσα αναφέρθηκαν έως τώρα, προκύπτει ότι οι εκτιμήσεις σφαλμάτων για δορυφόρους με μεγάλη γωνία ύψους δίνουν μικρότερες τιμές σε σχέση με τις αντίστοιχες για δορυφόρους με χαμηλή γωνία ύψους.

Στο σχήμα 6 φαίνεται η διαφορά στο εύρος τιμών των σφαλμάτων μεταξύ των δορυφόρων 1 και 7. Θα πρέπει όμως να αναφερθεί ότι το συμπέρασμα αυτό δεν αποτελεί κανόνα γιατί μπορεί η συγκεκριμένη "συμπεριφορά" να διαφέρει σε άλλους τύπους δεκτών και πιθανόν και ανά τύπο παρατήρησης (κώδικα ή φάση) [1],[12].



Σχήμα 6: Σφάλματα απλών διαφορών κώδικα C/A για τους δορυφόρους PRNs 1 και 7 σε m.

Figure 6: Single difference code C/A residuals for satellites PRNs 1 and 7 in m.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η επίδραση των συστηματικών σφαλμάτων που προέρχονται από τα ηλεκτρονικά κυκλώματα ενός δέκτη GPS, γνωστά ως θόρυβος δέκτη (receiver noise), παρατηρήθηκε ότι είναι μικρότερη του mm στα τελικά αποτελέσματα κατά την επίλυση μίας βάσης με παρατηρήσεις φάσεων, υπερκαλύπτοντας την ακρίβεια του κατασκευαστή (5mm + 1ppm).

Η επεξεργασία των μετρήσεων έδειξε, ότι στο συγκεκριμένο μοντέλο δεκτών δύο συχνοτήτων (Leica system 500) οι εκτιμήσεις των σφαλμάτων των απλών διαφορών φάσης μπορούν να ξεπεράσουν τις αναμενόμενες, που υπολογίζονται από την εφαρμογή του νόμου μετάδοσης των σφαλμάτων στις παρατηρήσεις φάσεων δορυφόρου – δέκτη, και να φτάσουν τα 10-20 mm για δορυφόρους που παρατηρούνται σε χαμηλές γωνίες ύψους. Η συμπεριφορά αυτή αφορά στο συγκεκριμένο μοντέλο και δεν μπορεί να αποτελέσει κανόνα στη γενική περίπτωση.

Η εφαρμογή της τεχνικής μέτρησης βάσης μηδενικού μήκους και σε άλλους τύπους δεκτών, όμοιων ή και διαφορετικών εταιρειών, όπως επίσης και η στατιστική ανάλυση των σφαλμάτων των απλών διαφορών που εμφανίζονται σε δορυφόρους με χαμηλή γωνία ύψους, θα μπορούσε να αποτελέσει ένα επόμενο στάδιο της παρούσας μελέτης.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Bona P., Tiberius C., An experimental comparison on noise characteristic of seven high-end dual frequency GPS receiver-sets. **Proceedings of IEEE PLANS 2000**, San Diego, CA, USA, pp. 237-244, March 13-16, 2000.

2. Gourevitch S., Measuring GPS receiver performance: a new approach. GPS World, Vol. 13, pp. 56-62, October, 1996.

3. Δερμάνης Α., Φωτίου Α., **Μέθοδοι και Εφαρμογές Συνόρθωσης** παρατηρήσεων, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, 1992.

 Δερμάνης Α., Διαστημικές Μέθοδοι της Γεωδαισίας και Γεωδυναμικής, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, 1999.

5. Hugentobler U., Schaer S., Fridez P., **Bernese GPS software version** 4.2. Astronomical Institute, University of Berne, 2001.

6. Hofmann-Wellenhof B., H. Lichtenegger and J. Collins, **Global Positioning System. Theory and Practice**, fourth revised edition, Spinger-Verlag, New York, 1997.

7. Hopfield H. S., Two-Quartic tropospheric refractivity profile for correcting satellite data. **JGR** 74, No.18, pp. 4487-4499, August 1969.

8. Kaplan E. D. (editor), Understanding GPS: principles and applications, Artech House Publishers, Boston-London, 1996.

9. Langley R. B., GPS receiver system noise, GPS World, Vol.8, pp. 40-45, June 1997.

 Παραδείσης Δ., Σημειώσεις Δορυφορικής Γεωδαισίας, Πανεπιστημιακές σημειώσεις, Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα, 2000.

11. Πικριδάς Χ., Η αξιοποίηση της σύγχρονης τεχνολογίας GPS και ο ποιοτικός έλεγχος των γεωδαιτικών εργασιών, Διδακτορική διατριβή Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, 1999.

12. Rocken C., C. Meertens, B. Stephens, J. Braun, T. Vanhove, S. Perry, O. Ruud, M. McCallum and J. Richarson, UNAVCO Academic research Infrastructure (ARI) receiver and antenna test report, Boulder, Colorado, 1995.

13. Ρωσσικόπουλος Δ., Τοπογραφικά δίκτυα και υπολογισμοί, 2η έκδοση. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη 1999.

14. Ρωσσικόπουλος Δ., Στατιστικές μέθοδοι στη βαθμονόμηση και στον έλεγχο της ακρίβειας των γεωδαιτικών οργάνων. Πανεπιστημιακές σημειώσεις, ΠΜΣ Γεωπληροφορικής, Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, 2003.

15. Spilker, J. J., GPS signal structure and performance characteristics, Global Positioning System, **Institute of Navigation**, vol. 29, 121-146, Washington, D.C. 1978.

16. Wells, D. E., W. Beck, D. Delikaraoglou, A. Kleusberg, E. J. Krakiwsky, G. Laschappele, R. B. Langley, M. Nakiboglou, K. P. Swartz, J. M. Tranquila and P. Vanicek, Guide to GPS Positioning, University of New Brunswick, Fredericton, New Brunswick, Canada, 1986.

17. Φωτίου Α., Λιβιεράτος Ε., **Γεωμετρική Γεωδαισία και Γεωδαιτικά Δίκτυα**. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, 2000.

18. Φωτίου Α., Πικριδάς Χ., Το Δορυφορικό Σύστημα GPS, Πανεπιστημιακές σημειώσεις, Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών Α.Π.Θ. 2η Έκδοση, Θεσσαλονίκη, 2002.

Χ. Πικριδάς

Λέκτορας, Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Τομέας Γεωδαισίας και Τοπογραφίας, Α.Π.Θ. 541 24 Θεσσαλονίκη, ΤΘΠ 432.

Extended summary

GPS Receiver Calibration Using Zero Baseline Measurements

CH. PIKRIDAS Lecturer A.U.TH.

Abstract

The main goal of this paper was to study the effect of receiver performance on baseline results. A zero baseline test using data from a pair of dual frequency GPS receivers was established. This test uses a power splitter and two receivers connected to the same antenna. No systematic biases showed up in the data processing and single difference residuals for both observations code and phase were analyzed. Finally, some useful conclusions are drawn about the dependence of measurement precision on satellite elevation.

1. INTRODUCTION

In order to eliminate any error sources that relate to the local environment (multipath, atmospheric errors, etc.) and to demonstrate receiver performance, a zero baseline test was used. The standard zero baseline test uses a power splitter to send identical copies of the preamplified signal to two receivers. This test is extremely useful in looking for systematic effects such as interchannel biases, discrepancies in the electrical pathlengths of tracking channels in multiplechannel receivers, and, it may play a critical role in high accuracy geodetic applications.

In general, no systematic biases showed up and the single difference residuals for both types of measurements (code and phase) were analyzed.

2. GPS MEASUREMENTS AND DATA PROCESSING

2.1. Zero baseline test

Four consecutive days of data, spanning nine hours of daily observations, were collected for the zero baseline test. A pair of dual frequency Leica GPS receivers (system 500) was connected to the same choke ring antenna with the help of a signal splitter.

Submitted: Sept. 20, 2004 Accepted: Jun. 10, 2005

The measurements were collected at 1-second interval with an elevation cut-off angle of 15 degrees.

2.2. Data processing, analysis and results

All GPS sessions in this experiment were executed in static mode. The data processing was carried out with the Bernese software v4.2 using precise ephemerides and the fast ambiguity resolution approach (Fara). In order to investigate the effect of sampling interval on the baseline results three different solutions were derived with 1-sec, 15-sec. and 30-sec. sampling rate. In general, no systematic biases showed up in the final results.

Further processing was applied in order to detect the systematic behavior of the operation of a receiver with high observation rate. For this reason a four-hour data set was examined. The least-squares single difference residuals of the baseline adjustment for both types of measurements (code and phase) were determined. Under the working mathematical model [equation 3.3] the residuals of the single difference observations represent the noise and hence they can highlight biases and anomalies when are present. The minimum and maximum values of the estimated residuals for all visible GPS satellites with their corresponding elevation values are shown in table 1 and in table 2. Finally, table (1&2) results show that the residuals corresponding to satellites at high elevation angles are generally less noisy compared to those at low elevation angles no matter which type of measurements are used.

3. CONCLUSIONS

A zero baseline test was undertaken (using a signal splitter) with two dual frequency GPS receivers (system 500) made by Leica. The effect of the measurement noise

on baseline results, using four days of data under various observation schemes was found to be at the submillimeter level if the phase data are collected. In order to quantify a systematic pattern in the pseudorange and carrier phase observables, single difference residuals were analyzed. Under this operating scenario the measurement precision depends on the satellite elevation. However, it should be noted that this behaviour may be different for other receivers. This conclusion might also apply for the observation types of the same receiver.

Ch. Pikridas

Lecturer, School of Rural and Surveying Engineering, Department of Geodesy and Surveying, Aristotle University, 541 24 Thessaloniki.