

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ

Διπλωματική Εργασία

Σχετικός στατικός προσδιορισμός θέσης σε πραγματικό χρόνο με χρήση ψευδοχρονισμένων ζευγών συσκευών γεωγραφικού προσδιορισμού θέσης- GPS/L1.

υπό

Σαββίδη Γιώργου

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των
απαιτήσεων για την απόκτηση του
Διπλώματος Μηχανολόγου Μηχανικού Βιομηχανίας

2008



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 6180/1
Ημερ. Εισ.: 26-03-2008
Δωρεά: Συγγραφέα
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ – ΜΜΒ
2008
ΣΑΒ

Copyright © 2007 Σαββίδης Γιώργος

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής και τον εξωτερικό επιβλέποντα:

Πρώτος Εξεταστής (Επιβλέπων ΠΘ)	Λυμπερόπουλος Γιώργος Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Δεύτερος Εξεταστής	Ζηλιασκόπουλος Αθανάσιος Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Τρίτος Εξεταστής	Τασιούλας Λέανδρος Καθηγητής, Τμήμα Μηχανικών Η/Υ & Δικτύων, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Εξωτερικός Επιβλέπων	Θωμαΐδης Θωμάς Μηχανικός Συστημάτων & Διεργασιών, Ph.D. Δ/ντής Τεχνολογικού Πάρκου Θεσσαλίας

Ευχαριστίες

Πρώτα απ' όλα, θέλω να ευχαριστήσω τον εξωτερικό επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας μου κ. Θωμά Θωμαΐδη, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια της δουλειάς μου. Επίσης, είμαι ευγνώμων στα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής της διπλωματικής εργασίας μου, Καθηγητές κκ. Λυμπερόπουλο Γ., Ζηλιασκόπουλο Α. και Τασιούλα Α. για την προσεκτική ανάγνωση της εργασίας μου και για τις πολύτιμες υποδείξεις τους. Ευχαριστώ τον συνάδελφο μου Γιώργο Σγουρίδη για την πολύτιμη βοήθειά τους στον προγραμματισμό. Πάνω απ' όλα, είμαι ευγνώμων στους γονείς μου, Κυριάκο και Γεωργία Σαββίδη για την ολόψυχη αγάπη και υποστήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια. Αφιερώνω αυτή την εργασία στους προαναφερθέντες.

Σαββίδης Γιώργος

Σχετικός στατικός προσδιορισμός θέσης σε πραγματικό χρόνο με χρήση ψευδοχρονισμένων ζευγών συσκευών (προσδιορισμού θέσης- GPS/L1).

Σαββίδης Γιώργος

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας, 2007

Επιβλέπων Καθηγητής: Λυμπερόπουλος Γιώργος, Αναπληρωτής Καθηγητής Π.Θ.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι διαφορετικές ανάγκες των τεχνολογικών εφαρμογών σε ακρίβεια και σε ταχύτητα απόκτησης αξιόπιστων δεδομένων με την ολοένα και αυξανόμενη χρήση των δορυφορικών συστημάτων προσδιορισμού θέσης (Global Positioning System) οδήγησαν σε μια σειρά από τεχνικές μέτρησης που συνδυάζουν τις μεθόδους του διαφορικού G.P.S. στον σχετικό προσδιορισμό θέσης. Στην συγκεκριμένη εργασία προτείνετε μια μεθοδολογία με στόχο την βελτίωση της ακρίβειας του προσδιορισμού της θέσης (στίγματος σε καρτεσιανές γεωκεντρικές $[X, Y, Z]$ ή ελλειψοειδείς/ γεωδαιτικές $[\varphi, \lambda, h]$) με την χρήση δύο τουλάχιστον μονόσυχνων δεκτών GPS/L1, εκ των οποίων ο ένας βρίσκεται σταθερά τοποθετημένος ή αναρτημένος από γνωστό σταθερό σημείο (βάση), ενώ ο δεύτερος μπορεί να διορθώνει (ισοσταθμίζει) την θέση του λαμβάνοντας υπόψη τις αποκλήσεις του πρώτου από τη βάση σε πραγματικό χρόνο ή όχι (online/offline). Ανατρέχοντας στην βιβλιογραφία μπορεί κάποιος να βρει εκτενή σειρά μεθόδων, αλγορίθμων και συστημάτων τα οποία αποδίδουν πολύ καλά αποτελέσματα στην πράξη, όπως φαίνεται και από σειρά μεγάλων τεχνικών έργων που αναφέρονται στην συνέχεια του κειμένου. Ωστόσο κοινό γνώρισμα της πλειονότητας των μεθόδων αποτελεί το γεγονός ότι απαιτούν σύνθετο και ακριβό εξοπλισμό και έμπειρο προσωπικό υποστήριξης.

Στην παρούσα εργασία προτείνεται μία μεθοδολογία που ευελπιστεί να οδηγήσει στην αξιοποίηση των τεχνικών του σχετικού προσδιορισμού θέσης με χρήση απλών και ευρέως διαδεδομένων εμπορικών συσκευών GPS (όπως φορητοί υπολογιστές, υπολογιστές τσέπης, κινητά τηλέφωνα, αυτοκίνητα, γεωργικά μηχανήματα κλπ.) χωρίς να απαιτείται η παρέμβαση του χειριστή για την λήψη διορθωμένων και στατιστικά αξιόπιστων δεδομένων θέσης, σε πραγματικό χρόνο ή σε λογικά μικρό χρονικό διάστημα μερικών λεπτών.

Το πρόβλημα του οποίου η επίλυση θα επιχειρηθεί στη συνέχεια μπορεί να επιλυθεί θεωρώντας τον δέκτη της βάσης (GPS1) σταθερό και το δεύτερο δέκτη (GPS2) ως στατικό ή κινητό. Στην συγκεκριμένη εργασία θεωρούνται όλοι οι δέκτες ότι παραμένουν σταθεροί καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων (στατικό πρόβλημα).

Για την συλλογή, την αξιολόγηση και την αρχειοθέτηση των απαιτούμενων πειραματικών δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν, δύο δορυφορικοί δέκτες GPS/L1 (GARMIN 18-5Hz / NMEA0183), δύο H/Y συνδεδεμένοι μέσω τοπικού δικτύου (LAN), ο πρώτος για την απευθείας συλλογή των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο (1-3 δέκτες) και ο δεύτερος για την αξιολόγηση, την καταγραφή και την ανάλυση τους. Οι δέκτες θεωρούνται ότι χρονίζονται από το ρολόι του δορυφόρου. Στην πράξη βέβαια λόγω της χαμηλότερης ακρίβειας του ρολογιού του δέκτη, παρατηρούνται υπολογίσιμες αποκλίσεις (time shift) της τάξης των μερικών χιλιοστών του δευτερολέπτου, γεγονός που εισάγει επιπλέον υπολογιστικά σφάλματα ιδιαίτερα στην επίλυση του κινηματικού προβλήματος. Για την βελτίωση της προσδοκώμενης θέσης του κινητού δέκτη για κάθε χρονική στιγμή χρησιμοποιείται το άνυσμα της απόκλισης του δέκτη αναφοράς από τη σταθερή βάση, τηρουμένων των προϋποθέσεων ότι οι συγκρινόμενοι δέκτες (του ίδιου τύπου) είναι χρονισμένοι, λειτουργούν κάτω από το ίδιο ακριβώς λειτουργικό σύστημα και χρησιμοποιούν για την επίλυση του προβλήματος τον ίδιο αλγόριθμο και το ίδιο σετ δορυφόρων. Επίσης ο αριθμός και η θέση των χρησιμοποιούμενων δορυφόρων είναι η κυριότερη παράμετρος για αξιόπιστα αποτελέσματα. Στην περίπτωση του συγκεκριμένου πειράματος τα δεδομένα που θεωρήθηκαν ως έγκυρα (valid) για κάθε μέτρηση προέρχονταν από 6 τουλάχιστον ταυτόχρονους δορυφόρους, με γεωμετρικό μέτρο ακρίβειας $DOP < 3$.

Για την εφαρμογή της πειραματικής διάταξης επιλέχθηκε ελεύθερη έκταση στην Α΄ΒΙΠΕ Βόλου και συγκεκριμένα εντός του χώρου του Τεχνολογικού Πάρκου Θεσσαλίας.

Το Τεχνολογικό Πάρκο Θεσσαλίας διέθεσε επίσης την απαραίτητη υλικοτεχνική υποδομή (H/Y, δέκτες GPS, τηλεπικοινωνιακό δίκτυο, τεχνική υποστήριξη) και εγκαταστάσεις για την όλη υποστήριξη του πειράματος.

Παραδείγματα εφαρμογών με χρήση τεχνολογιών GPS.

Στην συνέχεια καταγράφονται κάποιες εφαρμογές σε μεγάλα τεχνικά έργα που καταδεικνύουν την σημαντικότητα της χρήσης τεχνολογιών GPS για τον διαφορικό προσδιορισμό θέσης (στατικού ή κινηματικού).

Ιδρυση δικτύων με G.P.S. - ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ

Ανάπτυξη του τριγωνομετρικού δικτύου που αναπτύχθηκε για τις ανάγκες του ΜΕΤΡΟ της Αθήνας το 1991. Το δίκτυο αποτελείτο από 18 σταθμούς κατά μήκος των γραμμών του ΜΕΤΡΟ από την Εθνική Αμυνα μέχρι το Μοναστηράκι και από τα Σεπόλια μέχρι την Δάφνη. Ήταν το πρώτο δίκτυο G.P.S σε αστική περιοχή στην Ελλάδα και υλοποιήθηκε με δέκτες μονής συχνότητας (L1), σε περίοδο που το σύστημα G.P.S ήταν διαθέσιμο σε περιορισμένο χρονικό διάστημα (παράθυρο) κατά την διάρκεια του εικοσιτετραώρου.

Το δίκτυο είχε μεγάλη εσωτερική ακρίβεια και απετέλεσε τον βασικό κορμό πάνω στον οποίο βασίστηκαν όλες οι επεκτάσεις του τριγωνομετρικού δικτύου της ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ που ακολουθούν τις επεκτάσεις του ΜΕΤΡΟ.

Υπολογισμός αποχών γεωειδούς - ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΩΝ ΑΤΕ

Το 1996 η ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΩΝ ΑΤΕ ανέθεσε το σχεδιασμό, την οργάνωση και τον υπολογισμό 70 περίπου προσημασμένων τριγωνομετρικών σημείων της ΓΥΣ. Το δίκτυο υλοποιήθηκε στα πλαίσια της μελέτης «Αεροφωτογράφιση και παραγωγή ορθοφωτοχαρτών στην περιοχή 2 της Κεντρικής και Βόρειας Ελλάδας στα πλαίσια του ΟΣΔΕ» και είχε σκοπό την δημιουργία χάρτη των αποχών του γεωειδούς στην περιοχή της μελέτης. Ο χάρτης αυτός χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό των ορθομετρικών υψομέτρων των σημείων λήψης των αεροφωτογραφιών με αναγωγή των γεωμετρικών υψομέτρων αυτών που προσδιορίστηκαν με το σύστημα G.P.S.

Καθοδήγηση μηχανημάτων – Υποθαλάσσια σύνδεση Ακτιου - Πρέβεζας

Κατά την διάρκεια κατασκευής της υποθαλάσσιας ζεύξης Ακτιου – Πρέβεζας, ήταν αναγκαία η ακριβής πλοήγηση μεγάλων προκατασκευασμένων τμημάτων αυτής, σε προκαθορισμένες θέσεις με μεγάλη ακρίβεια. Το έργο απέβλεπε στην λειτουργία του εξοπλισμού και του λογισμικού στο τοπικό σύστημα αναφοράς και προβολής για τις ανάγκες του συγκεκριμένου έργου. Αντίστοιχο έργο εκπονήθηκε για την πλοήγηση των πλωτών γερανών στα πλαίσια κατασκευής του νέου λιμένα Πατρών.

Ποντίσεις Υ/Β καλωδίων

Οι ποντίσεις υποβρύχιων ενεργειακών και τηλεπικοινωνιακών καλωδίων. Στα πλαίσια των αντίστοιχων εφαρμογών, η τεχνολογία GPS αποδεικνύεται κρίσιμη στην ακριβή βυθομετρική αποτύπωση, την ακριβή πλοήγηση ερευνητικών σκαφών για τον προσδιορισμό της μορφολογίας και της στρωματογραφίας του πυθμένα καθώς και την πλοήγηση σκαφών για την πόντιση και ταφή υποβρυχίων καλωδίων σε μήκος μεγαλύτερο των 1000 km σε όλο τον ελληνικό θαλάσσιο χώρο. Οι εφαρμογές αυτές στην Ελλάδα έγιναν για τον ΟΤΕ, την ΔΕΗ αλλά και για ιδιωτικές εταιρείες που δραστηριοποιούνται στον χώρο όπως η Siemens, η Alcatel κλπ. Ο εντοπισμός γινόταν αρχικά με την μέθοδο του δορυφορικού εντοπισμού σε πραγματικό χρόνο (DGPS) είτε με δικούς τους σταθμούς αναφοράς που εξέπεμπαν στην περιοχή των UHF, είτε χρησιμοποιώντας διαφορικές διορθώσεις από ανεξάρτητους παρόχους μέσω τηλεπικοινωνιακού δορυφόρου.

Στη συνέχεια ο εντοπισμός γινόταν με την τεχνική του διαφορικού εντοπισμού σε πραγματικό χρόνο (RTK) είτε μέσω radio είτε μέσω GSM.

3D Laser scanning

Σημαντική εφαρμογή αποτελεί η αποτύπωση μνημείων και περιοχών αρχαιολογικού ενδιαφέροντος με τρισδιάστατο σαρωτή laser στην Ελλάδα, ήδη από το 2003. Στα πλαίσια των εφαρμογών αυτών, έχουν αποτυπωθεί αρχαία μνημεία και ο αρχαιολογικός χώρος της Ηλιδος στην Ηλεία, την γεωμετρική τεκμηρίωση της Επαυλης του Ηρώδου

Αττικού στην Εύα Δολιανών Κυνουρίας, την αποτύπωση της Καπνικαρέας στο κέντρο της Αθήνας, την τεκμηρίωση εκκλησιών στην Κύπρο, κλπ. Οι εφαρμογές αυτές, απέβλεπαν στην αποτύπωση της πραγματικής υφής των μνημείων, καθώς και στη δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων αυτών.

Επιπλέον, οι τρισδιάστατοι σαρωτές laser έχουν χρησιμοποιηθεί εκτεταμένα για την ακριβή γεωμετρική αποτύπωση πολύπλοκων κατασκευών όπως είναι οι ιστοί των κεραιών κινητής τηλεφωνίας, τμήματα σηράγγων της Εγνατίας οδού και της περιοχής της Κακιάς Σκάλας, κλπ. Στις εφαρμογές αυτές ζητούμενο είναι η ακριβής γεωμετρική απόδοση με "συμβατικό" τρόπο των κατασκευών αυτών (σχεδίαση όψεων, κατόψεων, διατομών, κλπ).

Παρακολούθηση μικρομετακινήσεων έργων

Συστήματα αυτόματης παρακολούθησης (monitoring) μικρομετακινήσεων κατά την εκτέλεση μεγάλων έργων εκμεταλλεύονται σημαντικά την τεχνολογία GPS και του στατικού διαφορικού προσδιορισμού θέσης. Τέτοιο σύστημα έχει αναπτυχθεί από την εταιρεία Sinning GmbH και την εταιρεία ΑΚΤΩΡ ΑΤΕ στο εργοτάξιο της δεύτερης στην περιοχή του Ελληνικού, στα πλαίσια των εργασιών επέκτασης του ΜΕΤΡΟ της Αθήνας προς την Γλυφάδα. Το σύστημα που εγκαταστάθηκε παρακολουθεί τις μικρομετακινήσεις κατά μήκος του μετώπου κατά την διάρκεια της εκσκαφής της σήραγγας. Αποτελείται από τρεις γεωδαιτικούς σταθμούς που ελέγχονται από Η/Υ και εκτελούν προγραμματισμένες μετρήσεις 24 ώρες το εικοσιτετράωρο. Οι μετρήσεις μεταδίδονται μέσω του δικτύου κινητής τηλεφωνίας στο κέντρο ελέγχου της κατασκευάστριας εταιρείας στο οποίο ολοκληρώνεται η επεξεργασία τους και από το οποίο πραγματοποιείται ο έλεγχος των πιθανών μικρομετακινήσεων κατά την διάρκεια της εκσκαφής και αποφασίζονται τυχόν επεμβάσεις. Σημειώνεται ότι το σύστημα επιτρέπει τον πλήρη έλεγχο αυτού από απομακρυσμένες θέσεις και από διαφορετικούς χρήστες, σύμφωνα με τις επιθυμίες του χειριστή του.

Προσδιορισμός γεωμετρίας οδικών αξόνων

Ηδη από το 1993 το εργαστήριο Ανώτερης Γεωδαισίας και Χαρτογραφίας του ΕΜΠ εκπόνησε έργο για την καταγραφή 1000 km του εθνικού οδικού δικτύου. Στα πλαίσια αυτής της συνεργασίας ανέπτυξαν λογισμικό υπολογισμού της γεωμετρίας του οδικού άξονα σε οριζοντιογραφία και μηκοτομή. Στοιχείο εισόδου για τον υπολογισμό είναι τα διαδοχικά στίγματα επί του οδικού άξονα που συλλέγονται από κινούμενο όχημα με το σύστημα G.P.S σε μετάβαση και επιστροφή.

Εκτοτε το λογισμικό υπολογισμού της γεωμετρίας του οδικού άξονα και τον τρόπο εντοπισμού του οχήματος που πλέον είναι η μέθοδος του κινηματικού εντοπισμού είτε σε πραγματικό χρόνο είτε με εκ των υστέρων επεξεργασία (RTK ή PPK) και παρέχει πλέον ακρίβεια εντοπισμού θέσης της τάξης του 1cm.

Τέλος βελτιώθηκε σημαντικά η ακρίβεια και η ταχύτητα αποτύπωσης και απόδοσης των ποιοτικών στοιχείων του οδικού άξονα (π.χ οριζόντια και κατακόρυφη σήμανση) με την χρήση νέων τεχνολογιών.

Το σύστημα καταγραφής των γεωμετρικών στοιχείων εφαρμόστηκε με επιτυχία στην καταγραφή του «πέταλου» του Μαλιακού και του εθνικού οδικού άξονα από το Αντίρριο έως την Κακαβιά, στην σιδηροδρομική γραμμή από την Οινόη έως την Χαλκίδα από την ΕΡΓΟΣΕ, και στην Εθνική οδό Αθηνών – Κορίνθου και στην παράκαμψη της Πάτρας από την ΤΕΡΝΑ ΑΤΕ.

- 1. Δορυφορικά γεωγραφικά συστήματα προσδιορισμού θέσης NAVSTAR / GPS**
- 2. Δομή του συστήματος GPS**
 - Το δορυφορικό τμήμα
 - Το τμήμα ελέγχου
 - Το τμήμα χρηστών
- 3. Το δορυφορικό σήμα**
 - 3.1 Οι κώδικες PRN
 - 3.2 Μέθοδος “αντί-εξαπάτησης” (A.S=Anti-Spoofing)
 - 3.3 Μέθοδος επιλεκτικής διαθεσιμότητας (SA= Selective Availability)
 - 3.4 Το μήνυμα ναυσιπλοΐας ή μήνυμα δεδομένων (πρωτόκολλο NMEA)
- 4. Αρχή λειτουργίας του GPS**
- 5. Τύποι δεκτών**
 - 5.1 Δέκτες ψευδοαποστάσεων από τον κώδικα C/A
 - 5.2 Δέκτες φέρουσας συχνότητας και κώδικα C/A
 - 5.3 Δέκτες κώδικα P
- 6. Σφάλματα των μετρήσεων GPS**
 - 6.1 Τροχιακά σφάλματα
 - 6.2 Σφάλματα των δορυφορικών χρονομέτρων
 - 6.3 Σφάλματα των δεκτών
 - 6.4 Δομή της ατμόσφαιρας και τα ατμοσφαιρικά σφάλματα
 - 6.4.1 Επίδραση της ιονόσφαιρας
 - 6.4.2 Επίδραση της τροπόσφαιρας
 - 6.5 Επίδραση της πολυδιαδρομής στις μετρήσεις
- 7. Γεωμετρικά μέτρα ακρίβειας των μετρήσεων (DOP)**
- 8. Μέθοδοι μετρήσεων**
 - 8.1.1. Απόλυτος προσδιορισμός
 - 8.1.2. Σχετικός προσδιορισμός
 - 8.2. Διαφορικός προσδιορισμός
- 9. Πηγές μείωσης της ακρίβειας: Λύσεις**
- 10. Δημιουργία του Ελληνικού Συστήματος Εντοπισμού-HEPOS**
- 11. Σχετικός στατικός προσδιορισμός θέσης**
- 12. Οργάνωση του πειράματος**

13. Το περιβάλλον LabVIEW

14. Ανάλυση δεδομένων και παρουσίαση αποτελεσμάτων

15. Βιβλιογραφία

16. Παραρτήματα

Περιεχόμενα

Εισαγωγή

1. Δορυφορικά γεωγραφικά συστήματα προσδιορισμού θέσης NAVSTAR / GPS
2. Δομή του συστήματος GPS
 - Το δορυφορικό τμήμα
 - Το τμήμα ελέγχου
 - Το τμήμα χρηστών
3. Το δορυφορικό σήμα
 - 3.1 Οι κώδικες PRN
 - 3.2 Μέθοδος “αντί-εξαπάτησης” (A.S=Anti-Spoofing)
 - 3.3 Μέθοδος επιλεκτικής διαθεσιμότητας (SA= Selective Availability)
 - 3.4 Το μήνυμα ναυσιπλοΐας ή μήνυμα δεδομένων (πρωτόκολλο NMEA)
4. Αρχή λειτουργίας του GPS
5. Τύποι δεκτών
 - 5.1 Δέκτες ψευδοαποστάσεων από τον κώδικα C/A
 - 5.2 Δέκτες φέρουσας συχνότητας και κώδικα C/A
 - 5.3 Δέκτες κώδικα P
6. Σφάλματα των μετρήσεων GPS
 - Τροχιακά σφάλματα
 - Σφάλματα των δορυφορικών χρονομέτρων
 - Σφάλματα των δεκτών
 - Δομή της ατμόσφαιρας και τα ατμοσφαιρικά σφάλματα
 - 6.4.1 Επίδραση της ιονόσφαιρας
 - 6.4.2 Επίδραση της τροπόσφαιρας
 - 6.5 Επίδραση της πολυδιαδρομής στις μετρήσεις
7. Γεωμετρικά μέτρα ακρίβειας των μετρήσεων (DOP)
8. Μέθοδοι μετρήσεων
 - 8.1.1. Απόλυτος προσδιορισμός
 - 8.1.2. Σχετικός προσδιορισμός
 - 8.2. Διαφορικός προσδιορισμός
9. Πηγές μείωσης της ακρίβειας: Λύσεις

10. Δημιουργία του Ελληνικού Συστήματος Εντοπισμού-HEPOS

11. Σχετικός στατικός προσδιορισμός θέσης

11.1 Σχετικός στατικός προσδιορισμός θέσης σε πραγματικό χρόνο με χρήση ψευδοχρονισμένων ζευγών συσκευών GPS/L1.

12. Οργάνωση του πειράματος

13. Το περιβάλλον LabVIEW

13.1 Ανάπτυξη πρωτότυπου λογισμικού σε περιβάλλον LabView V8.0.

14. Ανάλυση δεδομένων και παρουσίαση αποτελεσμάτων

15. Συμπεράσματα και προτάσεις

16. Βιβλιογραφία

Παραρτήματα

1. Δορυφορικά γεωγραφικά συστήματα προσδιορισμού θέσης NAVSTAR / GPS

Το NAVSTAR/G.P.S. (NAVigation Satelite Timing And Ranging-Global Positioning System) ή αλλιώς GPS, είναι ένα δορυφορικό σύστημα προσδιορισμού θέσης (3-Δ συντεταγμένες), χρόνου και ταχύτητας, σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή και ανεξάρτητα από τις καιρικές συνθήκες. Αυτό το σύστημα αναπτύσσεται από τις αρχές τις δεκαετίας του '70 και άρχισε να αξιοποιείται από τις αρχές της δεκαετίας του '80 πάντα υπό τον έλεγχο του υπουργείου άμυνας των Η.Π.Α. Αρχικά σχεδιάστηκε για την κάλυψη των αναγκών της ναυσιπλοΐας και για στρατιωτικούς σκοπούς και είχε ακρίβεια $\pm 10-15$ m στον προσδιορισμό θέσης σε πραγματικό χρόνο. Με την πάροδο του χρόνου όμως έγινε αντιληπτό ότι θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και σε ακριβέστερους υπολογισμούς και έτσι η χρήση επεκτάθηκε και σε γεωδαιτικές εφαρμογές.

Η βασική αρχή στην οποία βασίζεται είναι ο προσδιορισμός θέσης με την μέτρηση τεσσάρων <<ψευδοαποστάσεων>> μεταξύ του παρατηρητή και του δορυφόρου. Για αυτό το λόγο οι τροχιές των δορυφόρων έχουν σχεδιαστεί με τρόπο ώστε να είναι δυνατή η παρατήρηση 4 τουλάχιστον δορυφόρων από οποιοδήποτε σημείο της γης για κάθε χρονική στιγμή. Για τον προσδιορισμό της θέσης ενός σημείου αγνώστων συντεταγμένων στο χώρο αρκούν οι μετρήσεις των αποστάσεων από τρία σημεία γνωστών συντεταγμένων, άρα θα αρκούσαν και τρεις δορυφόροι για τον προσδιορισμό της θέσης ενός σημείου στο σύστημα αναφοράς των δορυφόρων. Ο λόγος που χρειαζόμαστε τουλάχιστον 4 δορυφόρους (αποστάσεις) είναι για να προσδιορίσουμε τη διαφορά ανάμεσα στην ένδειξη του χρονομέτρου του χρήστη και την ένδειξη του χρονομέτρου του δορυφόρου., ακριβώς για αυτό τον λόγο την ύπαρξης αυτού του σφάλματος χρησιμοποιούμε τον όρο <<ψευδοαπόσταση>>.

Οι μετρήσεις GPS είναι πάντοτε επηρεασμένες από συστηματικά σφάλματα που οφείλονται στην επίδραση της ατμόσφαιρας στο δορυφορικό σήμα και στους ταλαντωτές ή χρονόμετρα (ρολόγια) των δορυφόρων και των δεκτών. Τα σφάλματα αυτά προσδιορίζονται σε κάποιο βαθμό ή απαλείφονται με κατάλληλες τεχνικές, έτσι ώστε

από την επεξεργασία των παρατηρήσεων, εσωτερικά στον δέκτη ή εκ των υστέρων 'στο γραφείο', να προκύψουν τελικά αξιόπιστα αποτελέσματα, δηλαδή συντεταγμένες για τον προσδιορισμό θέσης.

Η ακριβής γνώση του χρόνου που αντιστοιχεί σε κάθε παρατήρηση και ο συγχρονισμός των ρολογιών, δεκτών και δορυφόρων, αποτελούν κρίσιμους παράγοντες στις εφαρμογές του GPS. Αρκεί να σκεφτούμε ότι τα χρονικά διαστήματα μεταξύ εκπομπής και λήψης των δορυφορικών σημάτων για να μετατραπούν σε αποστάσεις μεταξύ δεκτών-δορυφόρων πρέπει να πολλαπλασιαστούν με την ταχύτητα του φωτός (περίπου $3E8$ m/sec). Έτσι ένα σφάλμα ενός microsecond ($1\mu s=10^{-6}$ sec) αντιστοιχεί σε σφάλμα 300 m στην απόσταση δορυφόρου-δέκτη ενώ σφάλμα της τάξης του nanosecond ($1ns=10^{-9}$ sec) αντιστοιχεί σε 30 cm!

Όταν λοιπόν επιζητούμε ακρίβειες της τάξης του εκατοστού είναι προφανές πόσο σημαντική είναι η σωστή διαχείριση του χρόνου.

Το σύστημα αναφοράς του GPS είναι το WGS84 που είναι το γεωκεντρικό, γεωσταθερό σύστημα αναφοράς World Geodetic System. Οι συντεταγμένες GPS, καρτεσιανές γεωκεντρικές (X, Y, Z) ή ελλειψοειδείς/ γεωδαιτικές (ϕ , λ , h) μπορούν να μετασχηματιστούν είτε με ήδη γνωστές παραμέτρους μετασχηματισμού είτε με προσδιορισμό τους από μετρήσεις σε κοινά σημεία. Η ακρίβεια της θέσης ως προς ένα γεωκεντρικό σύστημα αναφοράς, συνήθως ως προς το WGS 84, με μετρήσεις από έναν μόνο δέκτη και σε πραγματικό χρόνο είναι της τάξης των μερικών μέτρων (5-15m).

Το σύστημα γεωγραφικών συντεταγμένων (LAT/LONG) είναι το ευρύτερα χρησιμοποιούμενο σύστημα συντεταγμένων και βασίζεται στην πολύ γνωστή απεικόνιση παραλλήλων και μεσημβρινών πάνω στη γήινη σφαίρα. Οι μεσημβρινοί (Meridian) έχουν για άκρα τους πόλους και είναι βαθμονομημένοι σε μοίρες, με το μηδέν στο μεσημβρινό του Greenwich (Prime Meridian) και αρίθμηση από 0 έως 180 μοίρες, Ανατολικά και Δυτικά, αντίστοιχα, του Greenwich. Οι τιμές αυτές εκφράζουν τη γωνία που σχηματίζει το κατακόρυφο επίπεδο που περνά από τον κάθε μεσημβρινό σε σχέση με το κατακόρυφο επίπεδο που περνά από το μεσημβρινό αναφοράς και αναφέρονται ως γεωγραφικό μήκος (Longitude). Οι παράλληλοι (Parallels) είναι νοητοί κύκλοι παράλληλοι με τον ισημερινό (Equator). Οι παράλληλοι είναι και αυτοί βαθμονομημένοι σε μοίρες με το μηδέν στον Ισημερινό και το 90 στο Βόρειο και το Νότιο πόλο. Η

αρίθμηση αυτή, από 0 έως 90 μοίρες βόρεια ή νότια του ισημερινού, εκφράζει τη γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στο οριζόντιο επίπεδο που περνά από τον ισημερινό και μια ευθεία που ενώνει το κέντρο της γης με τον κάθε παράλληλο, και αναφέρεται ως γεωγραφικό πλάτος (Latitude).

Η Ελλάδα βρίσκεται ανάμεσα στον 34ο και τον 42ο παράλληλο (βόρειο πλάτος) και τον 19ο και 29ο μεσημβρινό (ανατολικό μήκος).

Κάθε μοίρα διαιρείται σε 60 πρώτα λεπτά. Κάθε πρώτο λεπτό διαιρείται σε 60 δεύτερα λεπτά (τα GPS εκτός από δεύτερα λεπτά δίνουν και μονάδες του δεκαδικού συστήματος, συνήθως χιλιοστά).

Με το σύστημα αυτό, κάθε σημείο της γήινης σφαίρας προσδιορίζεται ως η τομή ενός παραλλήλου με έναν μεσημβρινό και εκφράζεται με γωνίες γεωγραφικού μήκους και πλάτους (φ και λ).

WGS-84	DDD	DDDmm	DDDmmss	DDDmmss.xx	
Για την ζώνη του ισημερινού	1 Deg	1 min	1 sec	Sec 1 /100	
39'968.1432	111'0226	1.850377	0.03084	0.0003084	<i>Kms</i>
39'968'143.2	111'022.6	1'850.377	30.84	0.3084	<i>meters</i>
Για την ζώνη των (N 39°, 22')	1 Deg	1 min	1 sec	Sec 1 /100	
31'023.9072	86.17752	1.436292	0.02394	0.00039897	<i>Kms</i>
31'023'907.2	86'177.52	1'436.292	23.94	.39897	<i>meters</i>
1 Deg = 60 min , 1min = 60 sec				30.84	<i>cm</i>

Σχ.1.1 Αντιστοιχία μοιρών, πρώτων λεπτών, δεύτερων λεπτών σε χιλιόμετρα, μέτρα και εκατοστά

Πλεονεκτήματα του GPS έναντι παλιότερων επίγειων και δορυφορικών μεθόδων είναι :

1. Δίνει απευθείας την θέση ενός σημείου στην επιφάνεια της γης και έτσι γνωρίζουμε ανά πάσα στιγμή την θέση μας.
2. Είναι σύστημα παντός καιρού ,συνεπώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί κάτω από οποιοσδήποτε καιρικές συνθήκες.
3. Για τον προσδιορισμό θέσης δεν χρειάζεται αμοιβαία ορατότητα μεταξύ των σημείων παρατήρησης. Το μόνο που απαιτείται είναι ορατότητα προς ικανοποιητικό αριθμό δορυφόρων.
4. Υπάρχει η δυνατότητα συνεργασίας με άλλα συστήματα προσδιορισμού θέσης καθώς και με άλλες σύγχρονες εφαρμογές και συστήματα (GIS,Φωτογραμμετρία)
5. Οι διαδικασίες των μετρήσεων είναι αρκετά απλή και απαιτείται μικρός χρόνος μέτρησης. Οι μετρήσεις μπορούν να γίνουν όλο το 24ωρο χωρίς να απαιτείται μεγάλος αριθμός προσωπικού, ένα άτομο ανά σημείο παρατήρησης ή και ένα άτομο σε πολλά σημεία παρατήρησης καθώς ο δέκτης εφόσον ξεκινήσει τις μετρήσεις δεν χρειάζεται επίβλεψη.
6. Σε πολύ μικρότερο χρόνο δίνει καλή ακρίβεια προσδιορισμού θέσης σε σχέση με άλλες μεθόδους.

Αντίθετα τα μόνα μειονεκτήματα του GPS έναντι των άλλων μεθόδων είναι ότι :

1. Προϋποθέτει ανοιχτό ορίζοντα για να έχει οπτική επαφή με δορυφόρους, κάτι που δυσκολεύει την χρήση του μέσα σε πόλεις και ειδικότερα σε πυκνοκατοικημένες περιοχές.
2. Η μείωση της ακρίβειας του συστήματος και η εισαγωγή σφαλμάτων από πλευράς των Η.Π.Α. κατά χρονικά διαστήματα λόγω του στρατιωτικού χαρακτήρα του συστήματος δεν εγγυώνται την απρόσκοπτη λειτουργία του.

Εξελίξεις στον δορυφορικό εντοπισμό

Τρεις είναι οι σημαντικότερες εξελίξεις στον δορυφορικό εντοπισμό που αναμένεται να επηρεάσουν τον τρόπο μέτρησης τα επόμενα χρόνια. Αυτές είναι ο εκσυγχρονισμός του συστήματος G.P.S, το σύστημα Glonass και το σύστημα Galileo. Επιπλέον η Ιαπωνία σε συνεργασία με την Αυστραλία (QZSS, MSAS), η Κίνα (Beidou, Compass, SNAS) και η Ινδία (IRNSS, GAGAN) έχουν ήδη εμπλακεί στην ανάπτυξη δορυφορικών συστημάτων εντοπισμού και αναμένεται να αποκτήσουν συμμετοχή στις εξελίξεις.

ΕΚΣΥΓΧΡΟΝΙΣΜΟΣ G.P.S

Ο εκσυγχρονισμός του συστήματος G.P.S αφορά στην ανανέωση των δορυφόρων του συστήματος ώστε να εκπέμπουν σήματα στις συχνότητες L2C και L5.

Τα σήματα στην συχνότητα L2C , αποτελούν το πρώτο βήμα στον εκσυγχρονισμό του συστήματος G.P.S. Είναι δυνατότερα από αυτά στην συχνότητα L2, εξασφαλίζοντας περισσότερη αξιοπιστία στις μετρήσεις G.P.S που «υποφέρουν» από το χαμηλό λόγο σήματος προς θόρυβο των μετρήσεων στη συχνότητα L2. Ήδη, έχουν τεθεί σε τροχιά τέσσερις δορυφόροι της σειράς G.P.S IIR-M.

Το επόμενο βήμα εκσυγχρονισμού του συστήματος G.P.S αποτελεί η νέα συχνότητα L5. Η νέα συχνότητα προβλέπεται να «απογειώσει» τις δυνατότητες του εντοπισμού σε πραγματικό χρόνο-RTK. Επιπλέον το σήμα στη συχνότητα L5, θα είναι ισχυρότερο από τα σήματα στις άλλες συχνότητες, διευκολύνοντας την λήψη και την παρακολούθησή του. Η δυνατότητα εκπομπής στην νέα συχνότητα παρέχεται από τους δορυφόρους της σειράς IIF, ο πρώτος από τους οποίους αναμένεται να εκτοξευτεί τον Μάρτιο του 2008.

ΣΥΣΤΗΜΑ GLONASS

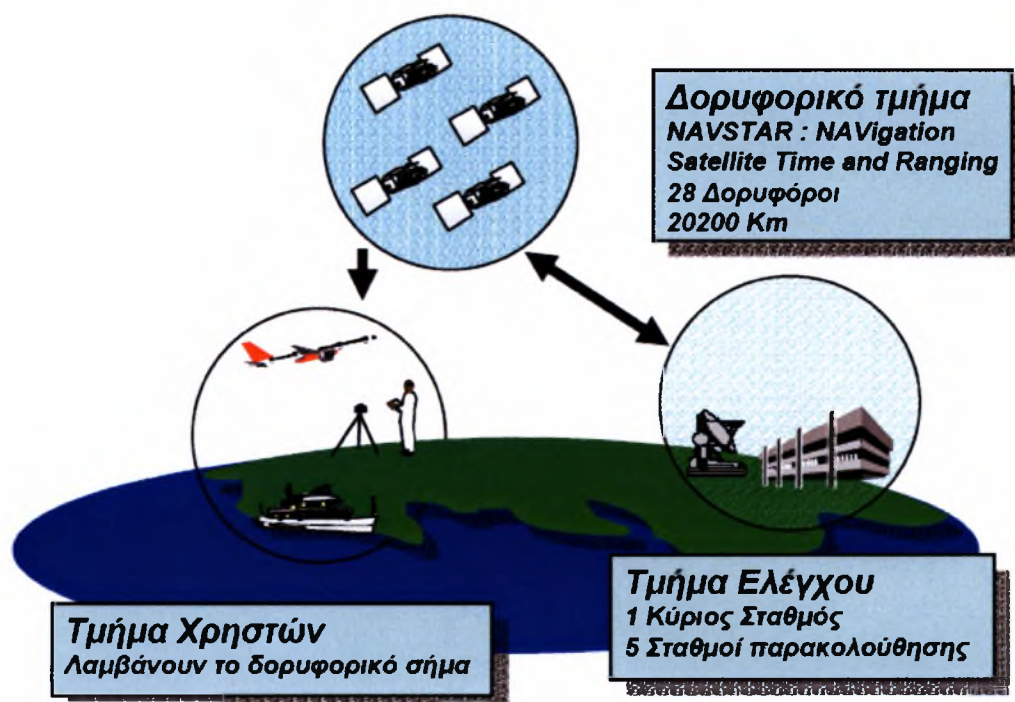
Το σύστημα GLONASS αναπτύσσεται από την Ρωσία. Στις αρχές Δεκεμβρίου 2006 διέθετε 12 δορυφόρους σε λειτουργία, ενώ τρεις επιπλέον επρόκειτο να εκτοξευθούν μέχρι το τέλος του 2006. Το σύστημα αναμένεται να είναι σε πλήρη λειτουργία το 2009, με 24 δορυφόρους σε τροχιά παρέχοντας ακρίβεια σε πραγματικό χρόνο αντίστοιχη με αυτή του G.P.S . Ήδη από το 2004, οι ΗΠΑ και οι Ρωσία, δεσμεύτηκαν να συνεργαστούν για να διατηρήσουν και να επεκτείνουν την συνεργασία ανάμεσα στα δύο συστήματα.

ΣΥΣΤΗΜΑ GALILEO

Η ευρωπαϊκή ένωση αντιλαμβανόμενη την χρησιμότητα του συγκεκριμένου συστήματος και παίρνοντας υπόψη τον κατά βάση στρατιωτικό χαρακτήρα του GPS - αν και τα τελευταία χρόνια οι Η.Π.Α. προχώρησαν στην δημιουργία πολιτικού σκέλους του GPS προχώρησε στο σχεδιασμό και την ανάπτυξη δικού της συστήματος εντοπισμού θέσης με την ονομασία GALILEO με αυξημένες δυνατότητες και πολιτικό χαρακτήρα. Το σύστημα GALILEO, που θα αναπτυχθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση, προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα στον δορυφορικό εντοπισμό, παρέχοντας επιπλέον δορυφόρους, επιπλέον εκπεμπόμενα σήματα και κυρίως συμβατότητα με το σύστημα G.P.S. Ηδη δύο πρωτότυποι δορυφόροι του συστήματος Galileo έχουν τεθεί σε τροχιά, ενώ το πλήρες σύστημα αποτελούμενο από 27 δορυφόρους σε τροχιά αναμένεται, σύμφωνα με τους υπεύθυνους, πριν από το τέλος της δεκαετίας.

2. Δομή του δορυφορικού συστήματος G.P.S

Το δορυφορικό σύστημα GPS περιλαμβάνει μια ολοκληρωμένη δομή συνεχούς λειτουργίας, παρακολούθησης, ελέγχου και συντήρησης των δορυφόρων με την ευθύνη του υπουργείου άμυνας των Η.Π.Α. Ποιο συγκεκριμένα αποτελείται από τρία κύρια τμήματα.



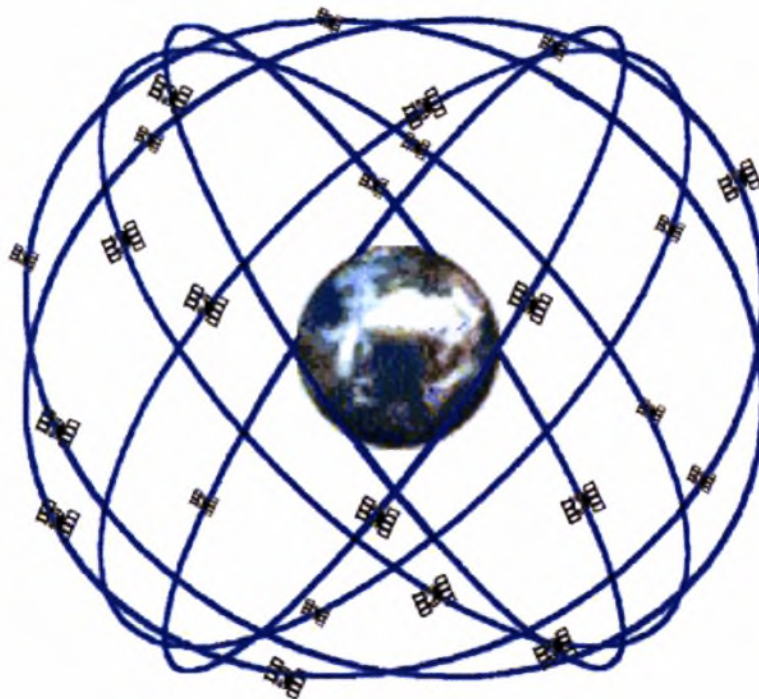
Σχ.2.1 Τα τρία τμήματα του συστήματος G.P.S

2.1 Δορυφορικό τμήμα

Σήμερα γύρω από την γη περιστρέφονται περίπου 28 δορυφόροι. Από τους 28 δορυφόρους οι 25 είναι άμεσα χρησιμοποιήσιμοι ενώ οι υπόλοιποι 3 βρίσκονται σε εφεδρεία και είναι σε ετοιμότητα να αντικαταστήσουν τους προηγούμενους σε περιπτώσεις βλάβης ή δυσλειτουργίας. Ο σχεδιασμός του δορυφορικού σχηματισμού του

συστήματος GPS επιτρέπει στον χρήστη να <<βλέπει>> πάντα μεταξύ 5 και 8 δορυφόρων από οποιοδήποτε σημείο πάνω στη Γη.

Ο πρώτος δορυφόρος GPS εκτοξεύτηκε τον Φεβρουάριο του 1978. Ο κάθε δορυφόρος ζυγίζει κάτι λιγότερο από 1 τόνο, και το πλάτος του δεν ξεπερνά τα 5 μέτρα με τις ηλιακές κυψέλες σε ανοιχτή θέση. Οι δορυφόροι GPS έχουν μέση διάρκεια ζωής 10 χρόνια. Η αντικατάστασή τους γίνεται κανονικά εδώ και χρόνια με νέους δορυφόρους.



Σχ. 2.2 Ο δορυφορικός σχηματισμός του συστήματος G.P.S

2.2. Τμήμα ελέγχου

Το τμήμα ελέγχου αποτελείται από 5 επίγειους σταθμούς ελέγχου και παρακολούθησης των δορυφορικών σημάτων από τους οποίους ο ένας χαρακτηρίζεται ως κύριος σταθμός ελέγχου και βρίσκεται στο Colorado Springs των Η.Π.Α. και οι

υπόλοιποι στα Ascension Island, Diego Garcia, Kwajalein και Hawaii. Οι σταθμοί ελέγχου προβλέπουν τις δορυφορικές θέσεις και τις παραμέτρους των δορυφορικών χρονομέτρων και τροφοδοτούν τους δορυφόρους με δεδομένα. Τα δεδομένα τελικά εκπέμπονται από τους δορυφόρους στους χρήστες. Ο περιορισμένος αριθμός σταθμών παρακολούθησης έχει σαν αποτέλεσμα η παρεχόμενη ακρίβεια του δικτύου να είναι επαρκής για την ναυτιλία και την πλοήγηση αλλά να μην επαρκεί για γεωδαιτικές εφαρμογές.



Σχ.2.3. Οι τοποθεσίες των σταθμών ελέγχου του συστήματος G.P.S

2.3. Τμήμα χρηστών

Το τμήμα χρηστών απαρτίζεται από τους δέκτες GPS οι οποίοι λαμβάνουν, επεξεργάζονται τα σήματα και καταγράφουν τις μετρήσεις. Ο δέκτης αποτελείται από την κεραία, τον κυρίως δέκτη και τον υπολογιστή. Ο σχεδιασμός των τροχιών είναι τέτοιος ώστε ανά πάσα στιγμή και σε οποιοδήποτε σημείο της γης, να υπάρχουν τουλάχιστον 4 ορατοί δορυφόροι που να λαμβάνονται ταυτόχρονα. Αυτός ο αριθμός δορυφόρων είναι απαραίτητος για να καταστεί δυνατός ο προσδιορισμός θέσης ενός σημείου με ένα δέκτη.

3. Το δορυφορικό σήμα

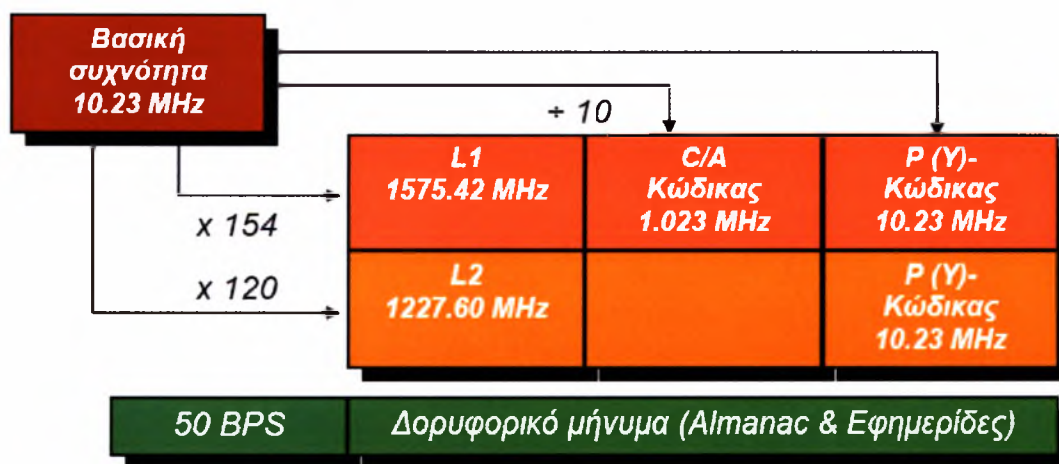
Οι δορυφόροι του συστήματος G.P.S εκπέμπουν σε δύο φέρουσες συχνότητες (carrier frequencies) την L1 και L2, οι οποίες παράγονται από την θεμελιώδη συχνότητα των 10,23 MHz

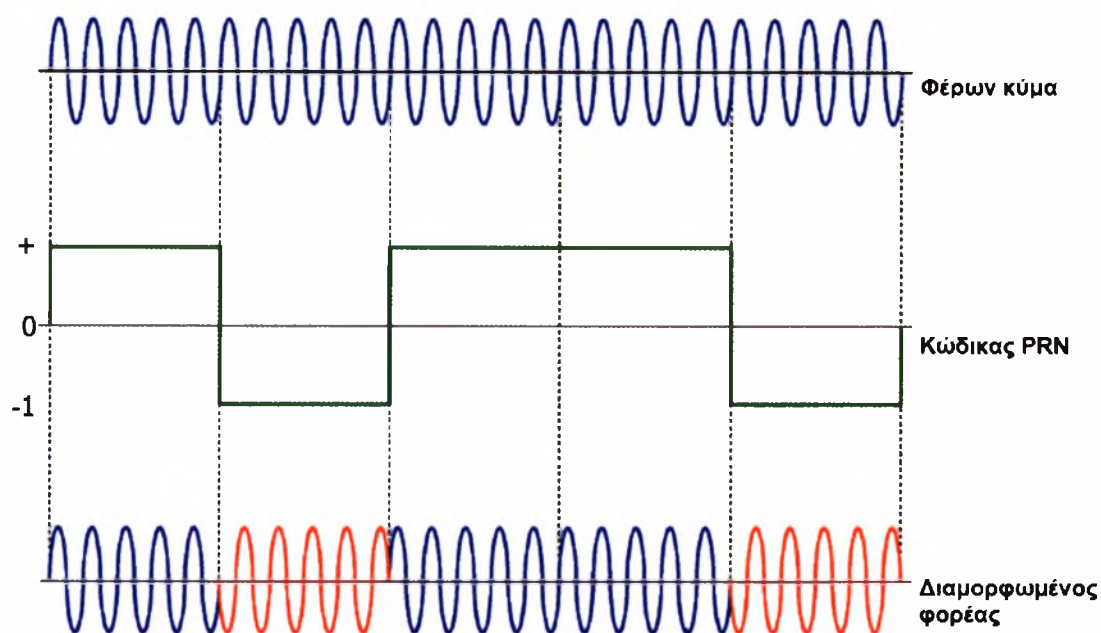
$$L1 : 154 \times 10,23 \text{ MHz} = 1575,42 \text{ MHz} (\approx 19,05 \text{ cm})$$

$$L2 : 120 \times 10,23 \text{ MHz} = 1227,60 \text{ MHz} (\approx 24,45 \text{ cm})$$

3.1 Οι κώδικες PRN

Η διαμόρφωση των φερουσών συχνοτήτων L1 και L2 (εκπεμπόμενων σημάτων) γίνεται με τον κώδικα PRN (Pseudo Random Noise Code), που αποτελείται από μια σειρά από +1 και -1 που μοιάζει τυχαία. (Τα GPS πολιτικής χρήσης - όπως αυτά που χρησιμοποιούνται για τις ανάγκες του πειράματος - χρησιμοποιούν τη συχνότητα L1, στα 1575.42 MHz). Ποιά συγκεκριμένα υπάρχουν δύο διαθέσιμοι κώδικες, οι P και C/A.

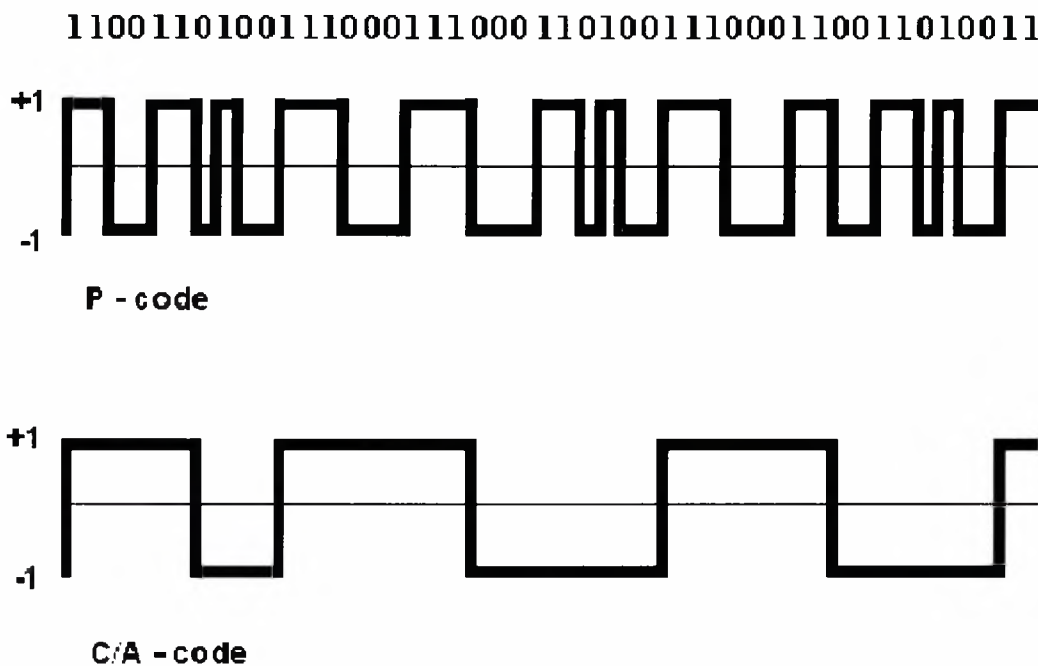




Σχ.3.1 Το εκπεμπόμενο σήμα και αρχή διαμόρφωσης φορέα από κώδικα

Ο πρώτος κώδικας ονομάζεται P –ακριβής κώδικας- (Precision code) και έχει συχνότητα ίση με την θεμελιώδη $f=10,23$ MHz μήκος παλμού ≈ 30 m και επαναλαμβάνεται κάθε περίπου 267 ημέρες. Ο κώδικας P μεταδίδεται τόσο με την L1 όσο και με την L2, δηλαδή λαμβάνεται και στις δύο συχνότητες.

Ο δεύτερος κώδικας ονομάζεται C/A (Coarse/acquisition code) , είναι πολύ χαμηλότερης ακρίβειας από τον P (10 φορές χαμηλότερη), έχει συχνότητα $f=1,023$ MHz επαναλαμβάνεται κάθε 1 msec και μεταδίδεται μόνο στη συχνότητα L1.



Σχ.3.2 Μορφή του κώδικα P και C/A

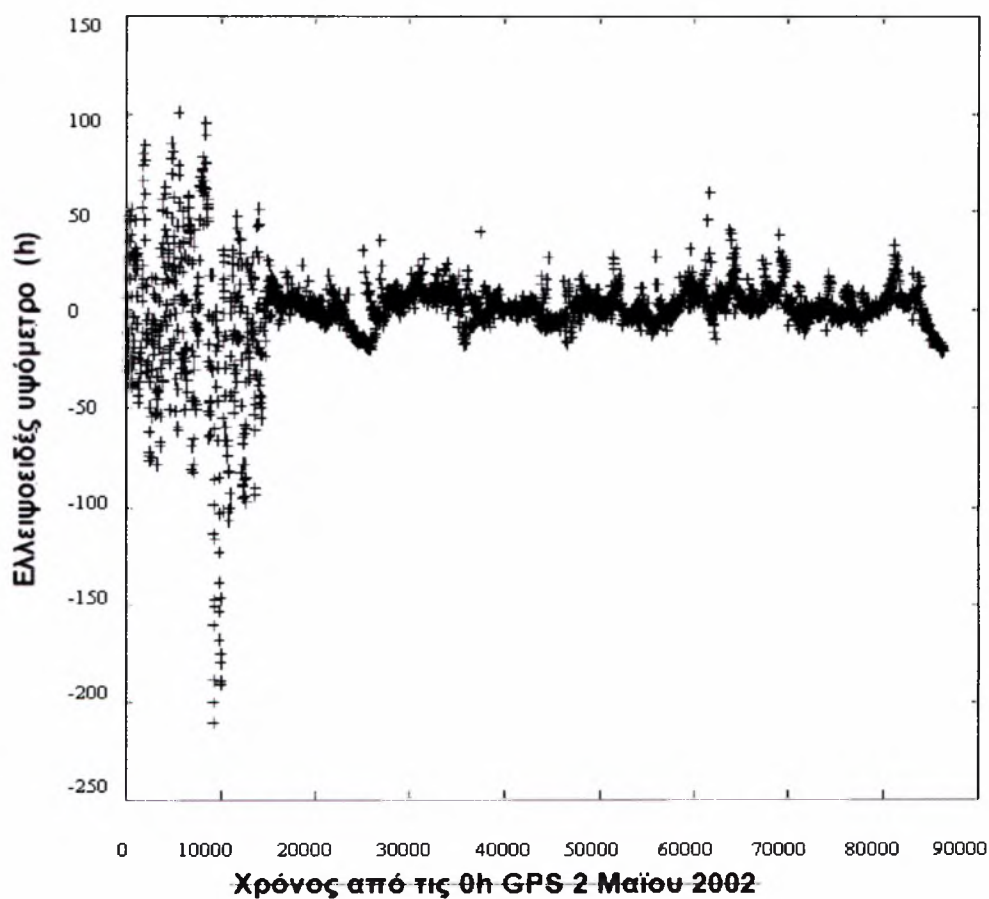
Οι στρατιωτικές υπηρεσίες των Η.Π.Α. στην προσπάθεια τους για μείωση της ακρίβειας του συστήματος G.P.S παραποιούν το σήμα όταν αυτό χρησιμοποιείται από μη εξουσιοδοτημένους χρήστες. Οι εξουσιοδοτημένοι χρήστες γνωρίζουν βέβαια τις παραποιήσεις και έχουν την δυνατότητα να ανακτήσουν τις ορθές παραμέτρους. Η παραποίηση του σήματος επιτυγχάνεται με τις δύο παρακάτω μεθόδους.

3.2. Μέθοδος της “αντί-εξαπάτησης”(A.S.=Anti-Spoofing)

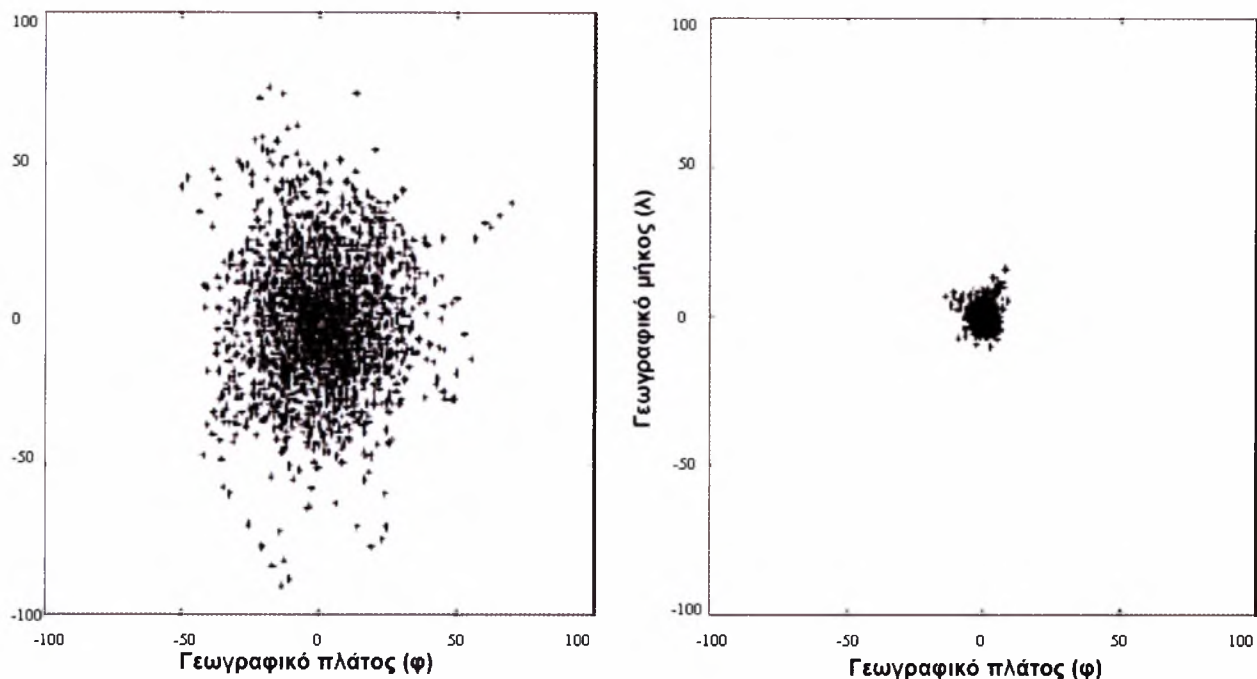
Η μέθοδος αυτή αποκρύπτει τον κώδικα P ,πολλαπλασιάζοντας τον με κάποιον μυστικό κώδικα W. Αποτέλεσμα του παραπάνω συνδυασμού είναι η εμφάνιση ενός κρυφού κώδικα Y. Με τον τρόπο αυτό ο χρήστης χωρίς εξουσιοδότηση δεν έχει πρόσβαση στον κώδικά P με αποτέλεσμα λανθασμένους υπολογισμούς. Η παραμόρφωση λόγω Anti-Spoofing ενεργοποιήθηκε το 1994 κ παραμένει μέχρι σήμερα.

3.3. Μέθοδος της επιλεκτικής διαθεσιμότητας (SA= Selective Availability)

Η μέθοδος αυτή βασίζεται σε δύο μεθόδους παραποίησης των πληροφοριών της μεταδιδόμενης εφημερίδας, στην μέθοδο δ που προστίθενται σφάλματα στις παραμέτρους του ρολογιού του δορυφόρου, και στην μέθοδο ε που προστίθενται σφάλματα στις παραμέτρους της τροχιάς του δορυφόρου. Με αυτόν τον τρόπο, η αρχική ακρίβεια των 15-40 m μειώνεται σε ≈ 100 m. **Η μέθοδος της επιλεκτικής διαθεσιμότητας απενεργοποιήθηκε το έτος 2002** οπότε και η αρχική ακρίβεια που προσφέρει το G.P.S στον προσδιορισμό θέσης βελτιώθηκε.



Σχ. 3.3. Παράδειγμα προσδιορισμού υψόμετρου (h) σημείου με GPS, με SA αριστερά χωρίς SA δεξιά



Σχ. 3.4. Παράδειγμα προσδιορισμού θέσης με GPS, με επιλεκτική διαθεσιμότητα (SA) αριστερά χωρίς επιλεκτική διαθεσιμότητα (SA) δεξιά

3.4 Το μήνυμα- πρωτόκολλο ναυσιπλοΐας ή πρωτόκολλο δεδομένων (National Marine Electronics Association, **NMEA-0183**)

Για τη μεταφορά του στίγματος (φ , λ) που υπολογίζει, ο δέκτης GPS συνδέεται με έναν Η/Υ μέσω των σειριακών θυρών RS-232C. Με τον τρόπο αυτό ο δέκτης GPS στέλνει μηνύματα προς τον Η/Υ. Τα μηνύματα αυτά μπορεί να περιέχουν τη θέση του δέκτη (φ , λ), αλλά και άλλες πληροφορίες, θα πρέπει δε να έχουν ένα συγκεκριμένο format, το οποίο είναι γνωστό ως NMEA-0183. Το όνομα αυτό προέρχεται από την πλήρη ονομασία National Marine Electronics Association και υποδηλώνει ένα συγκεκριμένο πρωτόκολλο επικοινωνίας μεταξύ ηλεκτρονικών συσκευών για τη ναυσιπλοΐα, ένα συγκεκριμένο δηλαδή σε δομή μήνυμα που μεταδίδεται από τη μία συσκευή στην άλλη μεταφέροντας πληροφορίες. Μια ηλεκτρονική συσκευή, και στην προκειμένη περίπτωση ένας δέκτης GPS, μπορούν να μεταδίδουν πολλούς συνδυασμούς πληροφοριών υπό μορφή προτάσεων (sentences) που αποτελούνται από μια σειρά ASCII

χαρακτήρων.

Η αποκωδικοποίηση και η σειρά και με την οποία οι προτάσεις μεταδίδονται από τους δέκτες GPS φαίνονται παρακάτω :

•**Προτεινόμενα ελάχιστα δεδομένα**

\$GPRMC <1>,<2>,<3>,<4>,<5>,<6>,<7>,<8>,<9>,<10>,<11>,<12>

- <1> UTC time hhmmss.s (Παγκόσμιος χρόνος σε ώρες, λεπτά, δευτερόλεπτα και εκατοστά του δευτερολέπτου)
- <2> Status, A=valid position, V=warning (Δηλώνει την εγκυρότητα της μέτρησης)
- <3> latitude, ddmm.mmmmm το γεωγραφικό πλάτος φ του σημείου μέτρησης στο WGS 84, σε μοίρες, λεπτά και χιλιοστά του λεπτού)
- <4> N ή S για βόρειο ή νότιο
- <5> Longitude ddmm.mmmmm το γεωγραφικό μήκος λ στο WGS 84
- <6> W ή E για δυτικό ή ανατολικό
- <7> Ταχύτητα σε κόμβους
- <8> Γωνία ίχνους σε μοίρες
- <9> UTC date ddmmyy
- <10> μαγνητική μεταβολή
- <11> W ή E για δυτικό ή ανατολικό
- <12> δείκτης μεθόδου

•**GPS Fix Data**

\$GPGGA <1>,<2>,<3>,<4>,<5>,<6>,<7>,<8>,<9>,M,<10>,<11>,<12>

- <1> UTC time hhmmss.s είναι ο Παγκόσμιος χρόνος
- <2> latitude το γεωγραφικό πλάτος φ του σημείου μέτρησης στο WGS 84
- <3> N ή S για βόρειο ή νότιο

- <4> longitude το γεωγραφικό μήκος λ στο WGS 84
- <5> W ή E για δυτικό ή ανατολικό
- <6> Ένδειξη ποιότητας του GPS, 0=fix not available, 1=non-differential GPS fix available, 2=differential GPS (WAAS) fix available
- <7> ο αριθμός των δορυφόρων σε χρήση, 00 έως 12
- <8> HDOP η ακρίβεια οριζοντιογραφικού προσδιορισμού
- <9> το ύψος της αντένας του GPS, M (σε m),
- <10> Ύψος γεωειδούς σε μέτρα
- <11> (μόνο για διαφορικά GPS)
- <12> (μόνο για διαφορικά GPS)

•Στοιχεία ακριβείας και δορυφόροι που μετρώνται κάθε στιγμή

GPGSA <1>,<2>,<3>,<3>,<3>,<3>,<3>,<3>,<3>,<3>,<3>,<3>,<3>,<3>,<3>,<4>,<5>,<6>

- <1> ένδειξη αυτόματης (A=Automatic) ή μη λειτουργίας (M=Manual),
- <2> ένδειξη για τρισδιάστατο ή όχι εντοπισμό θέσης (1= όχι εντοπισμός, 2= για 2D και 3= για 3D)
- <3> αριθμός PRN δορυφόρου που χρησιμοποιείται για την επίλυση, χώρος για 12
- <4> PDOP
- <5> HDOP
- <6> VDOP

οι εκτιμώμενες ακρίβειες εντοπισμού στις τρεις διαστάσεις, στο οριζόντιο επίπεδο και υψομετρικά αντίστοιχα).

• Δορυφόροι σε ορατότητα

\$GPGSV<1>,<2>,<3>,<4>,<5>,<6>,<7>,...<4>,<5>,<6>,<7>

- <1>Συνολικός αριθμός μεταδιδόμενων GSV προτάσεων
- <2>Αριθμός τρέχων πρότασης

- <3> Συνολικός αριθμός δορυφόρων σε ορατότητα, 00 έως 12
- <4> αριθμός PRN δορυφόρου, 01 έως 32
- <5> υψόμετρο δορυφόρου 00 έως 99 μίρες
- <6> αζιμούθιο δορυφόρου 000 έως 359 μίρες
- <7> αναλογία σήματος παρασίτων 00 έως 99 dB

• **Εκτιμώμενη πληροφορία σφάλματος**

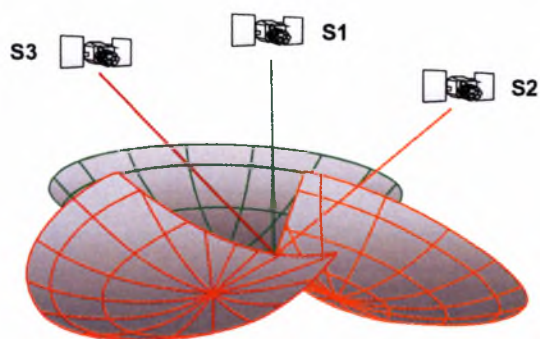
\$PGRME <1>,<2>,<3>

- <1> εκτιμώμενο λάθος οριζόντιας θέσης (HPE)
- <2> εκτιμώμενο λάθος κατακόρυφης θέσης (VPE)
- <3> εκτιμώμενο λάθος θέσης (EPE)

Εκτός από τις παραπάνω υπάρχουν και άλλες ακόμη προτάσεις NMEA-0183 που παρέχουν στοιχεία για διαφορετικές εφαρμογές (όπως π.χ. GPGLL, GPVTG, PGRMV, κ.λπ.).

4. Αρχή λειτουργίας του G.P.S.

Το GPS είναι ένα σύστημα πλοήγησης που βασίζεται σε σήματα που εκπέμπονται από ένα δίκτυο δορυφόρων που βρίσκονται σε τροχιά γύρω από τη γη. Η μετάδοση από κάθε δορυφόρο πληροφοριών για την ακριβή ώρα και θέση του, επιτρέπει σε έναν κατάλληλο δέκτη (συσκευή GPS) να υπολογίσει με τριγωνισμό τη δική του θέση, η οποία εμφανίζεται στην οθόνη του εκφρασμένη σε συντεταγμένες ενός συγκεκριμένου γεωδαιτικού συστήματος αναφοράς (προεπιλεγμένο το WGS 84). Στο δέκτη G.P.S. γίνεται η λήψη και η ανάλυση του λαμβανόμενου σήματος και μέσω μετρήσεων αποστάσεων μεταξύ δορυφόρου-δέκτη, προσδιορίζεται η θέση του δέκτη. Επειδή οι δέκτες G.P.S. διαθέτουν κατά κανόνα χρονόμετρα χαμηλής ή μέσης ακρίβειας και όχι ατομικά χρονόμετρα ρουβιδίου ή καισίου όπως οι δορυφόροι του συστήματος, εκτός των καθυστερήσεων που οφείλονται στην ατμόσφαιρα έχουμε και χρονικές καθυστερήσεις που οφείλονται κατά κύριο λόγο στο χρονόμετρο του δέκτη αλλά και δευτερευόντως του δορυφόρου. Έτσι για τον προσδιορισμό της θέσης εκτός από τις τρεις συντεταγμένες του δέκτη (X, Y, Z) προστίθεται άλλη μια άγνωστη ποσότητα που αντιπροσωπεύει την χρονική καθυστέρηση του χρονομέτρου του δέκτη σε σχέση με τον χρόνο αναφοράς του GPS. Ας δούμε όμως γιατί ο χρονικός προσδιορισμός του σήματος είναι απαραίτητος. Για να προσδιορίσει την ακριβή θέση του, το GPS συγκρίνει την ώρα που ο δορυφόρος εξέπεμψε το μήνυμα, με την ώρα που το μήνυμα ελήφθη από το GPS. Η διαφορά αυτή δείχνει στο GPS πόσο μακριά είναι ο δορυφόρος-αποστολέας. Αν τώρα προσθέσουμε και τις μετρήσεις που παίρνουμε και από τους άλλους δορυφόρους που βρίσκονται στην εμβέλειά μας, προσδιορίζουμε την ακριβή θέση μας με τριγωνομετρικούς υπολογισμούς. Αυτή ακριβώς είναι η δουλειά που κάνει το GPS. Γι' αυτό χρειάζονται τουλάχιστον τρεις δορυφόροι ώστε να μπορεί να προσδιοριστεί το γεωγραφικό μήκος και πλάτος (latitude /longitude), το στίγμα μας σε δύο διαστάσεις. Με περισσότερους από τρεις δορυφόρους διαθέσιμους, ένα GPS μπορεί να προσδιορίσει και την τρίτη διάσταση (το ύψος-altitude).



Σχ.4.1 Βασική αρχή του GPS για τον απόλυτο προσδιορισμό θέσης

Οι μετρήσεις GPS διαχωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες : σε μετρήσεις ψευδοαποστάσεων και σε μετρήσεις φάσεων. Ακριβέστερες μετρήσεις είναι οι μετρήσεις φάσεων. Επίσης υπάρχουν γενικά δύο μέθοδοι προσδιορισμού θέσης η **στατική** και η **κινηματική**. Στον στατικό προσδιορισμό ο δέκτης είναι στάσιμος και οι μετρήσεις διαρκούν από λίγα λεπτά μέχρι μερικές ώρες, αντίθετα με την κινηματική μέθοδο όπου ο δέκτης βρίσκεται σε κίνηση λαμβάνοντας συνεχώς το δορυφορικό σήμα.

Ο τρόπος προσδιορισμού θέσης με το GPS μπορεί να είναι απόλυτος ή σχετικός. Στον απόλυτο εντοπισμό η θέση του δέκτη (X, Y, Z) υπολογίζεται ως προς το γεωκεντρικό σύστημα αναφοράς ενώ στον σχετικό η θέση του δέκτη καθορίζεται σε σχέση με κάποιο άλλο δέκτη ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$). Στον σχετικό εντοπισμό αντί των πρωτογενών παρατηρήσεων είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν οι λεγόμενες διαφορές (ψευδοαποστάσεων, φάσεων) συνήθως απλές, διπλές, ή και τριπλές διαφορές.

Οι εφαρμογές που απαιτούν μεγάλη ακρίβεια π.χ αποτυπώσεις σε μεγάλες κλίμακες, γεωδαιτικά δίκτυα κάθε είδους, χρησιμοποιούν τεχνικές του σχετικού προσδιορισμού (διαφορικός εντοπισμός).

5. Τύποι δεκτών

Τα κύρια μέρη ενός συστήματος - δέκτη GPS αποτελούνται από :

- A) Κεραία με προενισχυτή.
- B) Τμήμα υψηλής συχνότητας για την επεξεργασία των σημάτων.
- Γ) Υπολογιστική μονάδα (CPU) για έλεγχο και προσδιορισμό θέσης.
- Δ) Χρονομετρικό σύστημα ακριβείας (CLOCK unit).
- E) Πηγή ηλεκτρικής ενέργειας



Σχ. 5.1. Κέντρωση δέκτη GPS σε τρίποδα

Οι δέκτες είναι συστήματα υψηλής τεχνολογίας που ποικίλουν σε δυνατότητες ανάλογα με τη χρήση για την οποία προορίζονται. Καθώς υπάρχει η ανάγκη για παρακολούθηση τουλάχιστον τεσσάρων δορυφόρων (αν και πάντα πρέπει να επιδιώκεται η παρακολούθηση περισσότερων), κάθε δέκτης διαθέτει ανάλογο αριθμό διαύλων (channels). Οι δίαυλοι είναι είτε παράλληλοι είτε εναλλασσόμενοι. Στους παράλληλους κάθε δίαυλος παρατηρεί ένα διαφορετικό δορυφόρο, ενώ στους εναλλασσόμενους υπάρχει εναλλαγή των δορυφόρων ανά συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα, ώστε κάθε δίαυλος να "σαρώνει" όλους τους διαθέσιμους δορυφόρους. Οι εναλλασσόμενοι έχουν χαμηλότερο κόστος, αλλά είναι πιο αργοί και γι' αυτό έχουν αντικατασταθεί πλέον από τους παράλληλους. Υπάρχουν τρεις βασικοί τύποι δεκτών, οι οποίοι διακρίνονται από τον κώδικα που χρησιμοποιούν και από την δυνατότητα ή μη να αξιοποιούν τις φέρουσες συχνότητες μέσω παρατηρήσεων διαφορών φάσης.

5.1 Δέκτες ψευδοαποστάσεων από τον κώδικα C/A

Εκτός από Τοπογραφικές και Γεωδαιτικές εφαρμογές όπου απαιτούνται υψηλές ακρίβειες, το GPS χρησιμοποιείται και σε αρκετές εφαρμογές στις οποίες η ακρίβεια δεν χρειάζεται να είναι υψηλή. Για παράδειγμα το GPS μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην ορειβασία, στην αλιεία, στους περιπάτους, στην πλοήγηση πλοίων, αυτοκινήτων κ.τ.λ. Οι δέκτες που χρησιμοποιούνται στις παραπάνω εφαρμογές είναι φορητοί δέκτες ευρείας χρήσεως, μικρής ακρίβειας και χαμηλού κόστους και είναι οι πλέον γνωστοί στο ευρύ κοινό. (Στην βελτίωση των δυνατοτήτων αυτού του τύπου των δεκτών στοχεύει η συγκεκριμένη έρευνα). Έχουν πολύ μικρές διαστάσεις, όσο ένα κινητό τηλέφωνο ή ένα κουτί σπέρτα, ανάλογα με το αν προορίζονται για αυτόνομη χρήση ή για χρήση σε συνδυασμό με Η/Υ. Διαθέτουν κατά μέγιστο και ανάλογα με τον τύπο τους από 1 έως 12 διαύλους. Όταν ο προσδιορισμός γίνεται από σταθερή θέση ένας διάυλος είναι αρκετός να παρατηρεί εναλλακτικά διαφορετικούς δορυφόρους. Σε εφαρμογές όπου ο δέκτης βρίσκεται σε κίνηση χρειάζονται τέσσερις τουλάχιστον διάυλοι, για την ταυτόχρονη παρακολούθηση ισάριθμων δορυφόρων. Αυτοί οι τύποι δεκτών έχουν μικρό μέγεθος για να μεταφέρονται εύκολα, άλλα και σημαντικά μικρότερο κόστος σε σχέση με τους ακριβέστερους γεωδαιτικούς δέκτες. Η ακρίβεια που επιτυγχάνεται με τους δέκτες αυτούς είναι της τάξεως των 15-50 m (95%) ανάλογα πάντα με τις δυνατότητες του κάθε τύπου και την κατασκευάστρια εταιρεία. Η ακρίβεια αυτή είναι αρκετή για την πλοήγηση και την ναυσιπλοΐα, αλλά και για εφαρμογές όπως η ενημέρωση χαρτών σε μικρές κλίμακες (π.χ 1:10.000) και χρήση σε προγράμματα GPS



Σχ. 5.2. Φορητοί δέκτες GPS: απλός δέκτης (αριστερά), δέκτης με χάρτες (μέσον), συνδυασμός δέκτη GPS με υποφορητή συσκευή και (κάτω) εξωτερικός δέκτης GPS/RS232 κατάλληλος για σύνδεση με Η/Υ.

5.2 Δέκτες φέρουσας συχνότητας και κώδικα C/A

Αυτοί οι δέκτες εκτελούν παρατηρήσεις ψευδοαποστάσεων από τον κώδικα C/A και φάσεων από την φέρουσα συχνότητα L1. Διαθέτουν από 4 έως 12 διαύλους και έχουν την δυνατότητα καταχώρησης σε μνήμη των παρατηρήσεων αποστάσεων και φάσεων, μαζί με τους αντίστοιχους χρόνους. Υπάρχουν και δέκτες οι οποίοι μπορούν να μετρήσουν και φάσεις της φέρουσας συχνότητας L2 με κυριότερο πλεονέκτημα την μείωση της ιονοσφαιρικής επίδρασης από συνδυασμό φάσεων L1 και L2. Τέτοιοι δέκτες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε τοπογραφικές εφαρμογές καθώς διαθέτουν σε σχέση με τους προηγούμενους χαμηλότερη αναλογία σήματος προς θόρυβο.

5.3 Δέκτες κώδικα P

Δέκτες αυτοί έχουν την δυνατότητα να δημιουργούν ένα αντίγραφο του κώδικα P και να το συσχετίζουν με το λαμβανόμενο σήμα που περιέχει ένα τμήμα του κώδικα πάνω στις συχνότητες L1 και L2. Με τη συσχέτιση αναγνωρίζεται το συγκεκριμένο τμήμα και αφαιρείται από το σήμα έτσι ώστε να παραμείνουν "καθαρές" πλέον οι φέρουσες συχνότητες L1 και L2 για την μέτρηση φάσεων. Οι δέκτες αυτοί πετυχαίνουν ακρίβειες της τάξης των μερικών cm για αποστάσεις 100 km.

6. Σφάλματα των μετρήσεων G.P.S.

Τα σφάλματα των μετρήσεων G.P.S διακρίνονται σε τέσσερις βασικές κατηγορίες.

- Στα δορυφορικά σφάλματα
- Στα σφάλματα των παρατηρήσεων
- Στα σφάλματα των δεκτών
- Στα σφάλματα σταθμού

Πιο συγκεκριμένα στα δορυφορικά σφάλματα διακρίνονται τα τροχιακά σφάλματα λόγω της λανθασμένης και μη ακριβούς γνώσης της πραγματικής τροχιάς των δορυφόρων καθώς και τα σφάλματα των χρονομέτρων των δορυφόρων. Στα σφάλματα των δεκτών ανήκουν τα σφάλματα των χρονομέτρων των δεκτών και τα σφάλματα θορύβου στους δέκτες. Στα σφάλματα παρατηρήσεων ανήκουν τα ατμοσφαιρικά σφάλματα, δηλαδή οι επιδράσεις των στρωμάτων της ατμόσφαιρας μέσα από τα οποία διέρχεται το δορυφορικό σήμα. Υπάρχουν δύο ειδών ατμοσφαιρικά σφάλματα, το ιονοσφαιρικό και το τροποσφαιρικό. Τέλος στα σφάλματα σταθμού ανήκουν το σφάλμα λόγω μη ακριβούς γνώσης των πραγματικών συντεταγμένων του σταθμού και τα σφάλματα λόγω των πολλαπλών ανακλάσεων του σήματος μέχρι να φτάσει από τον δορυφόρο στον δέκτη, τα οποία οφείλονται στο φαινόμενο της πολυδιαδρομής (multipath).

6.1. Τροχιακά σφάλματα

Στην Γη υπάρχουν διασκορπισμένοι διάφοροι σταθμοί για τον ακριβή προσδιορισμό της δορυφορικής τροχιάς οι οποίοι μεταξύ των άλλων είναι επιφορτισμένοι με το να προσδιορίζουν με πολύ μεγάλη ακρίβεια τα διάφορα στοιχεία της τροχιάς των δορυφόρων του συστήματος G.P.S. Μετά τον υπολογισμό της τροχιάς η πληροφορία μεταδίδεται από τους σταθμούς στους δορυφόρους και κατόπιν από τους δορυφόρους στους δέκτες G.P.S μέσω του μηνύματος ναυσιπλοΐας. Καθώς δεν υπάρχει

μέτρηση που να μην περιέχει σφάλματα, οι μεταδιδόμενες πληροφορίες των δορυφόρων για την τροχιά τους δεν παρέχουν την πραγματική θέση του δορυφόρου αλλά κάποια διαφορετική που προσεγγίζει την αληθή με κάποιο σφάλμα.

6.2. Σφάλματα των δορυφορικών χρονομέτρων

Οι δορυφόροι του συστήματος G.P.S διαθέτουν ρολόγια, χρονόμετρα δηλαδή, τα οποία χρησιμοποιούνται στην καταγραφή του χρόνου εκπομπής του σήματος από τον δορυφόρο προς τον δέκτη. Αν λάβουμε υπόψη ότι τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα μεταδίδονται με την ταχύτητα του φωτός, δηλαδή $c \approx 300000 \text{ km/s}$ διαπιστώνουμε ότι ένα σφάλμα της τάξης του 1 ms μεταφράζεται σε σφάλμα 300000 m στον προσδιορισμό θέσης. Εύκολα γίνεται αντιληπτό, ότι η ακρίβεια των δορυφορικών χρονομέτρων πρέπει να είναι πολύ μεγάλη, καθώς και ένα μικρό σφάλμα στο χρονόμετρο του δορυφόρου, μεταφράζεται σε ένα πού μεγάλο σφάλμα στον προσδιορισμό θέσης. Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος οι δορυφόροι είναι εξοπλισμένοι με ατομικά ρολόγια καισίου-ρουβιδίου πολύ μεγάλης ακρίβειας. Ακόμα και τα ρολόγια αυτά όμως, συσσωρεύουν λάθη. Για να αναχθεί η ολίσθηση του χρονομέτρου του δορυφόρου, τα χρονόμετρα αυτά παρακολουθούνται από επίγειους σταθμούς και συγκρίνονται με το κύριο χρονόμετρο ελέγχου (master control clock), όπου είναι ένας συνδυασμός από περισσότερα από δέκα μεγάλης ακριβείας ατομικά χρονόμετρα. Τα λάθη και οι ολισθήσεις των χρονομέτρων των δορυφόρων υπολογίζονται και περιλαμβάνονται στα μεταδιδόμενα από τους δορυφόρους σήματα.

6.3. Σφάλματα των δεκτών

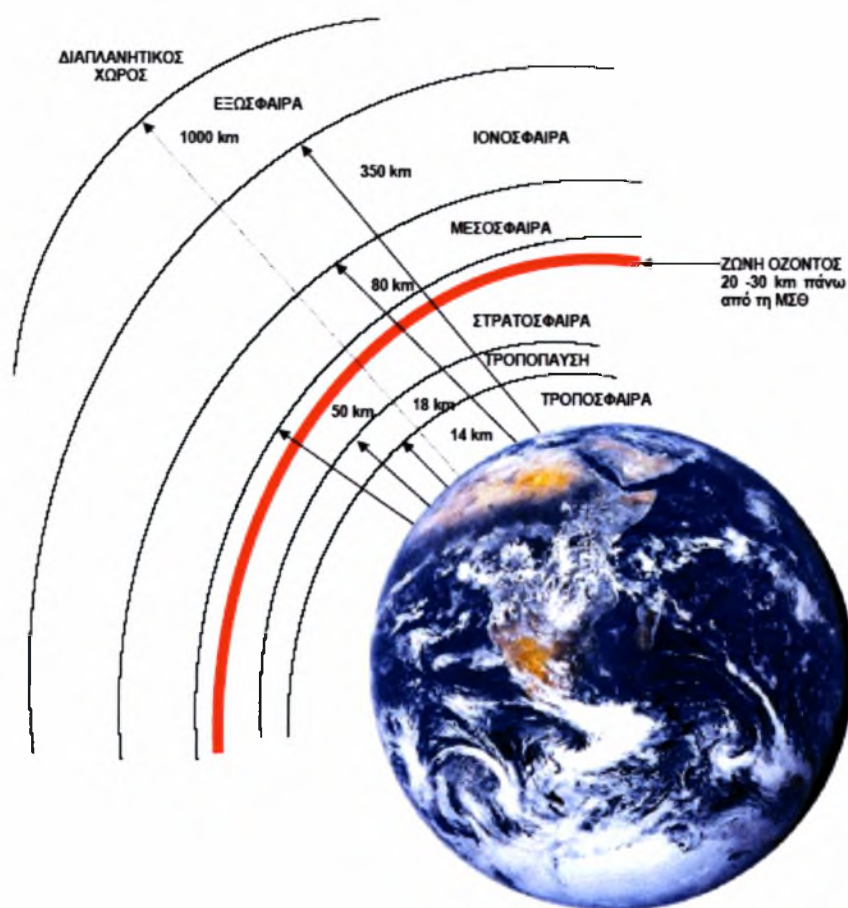
Στα σφάλματα των δεκτών περιλαμβάνονται το σφάλμα του χρονομέτρου του δέκτη και ο θόρυβος του δέκτη. Το σφάλμα του χρονομέτρου του δέκτη ίδιο στη φύση με αυτό του δορυφορικού ρολογιού και οφείλεται σε ατέλειες και σφάλματα των χρονομέτρων που χρησιμοποιούνται. Οποιαδήποτε μέτρηση και οποιοδήποτε όργανο μέτρησης κάποιας ποσότητας περιέχει σφάλματα. Τα ρολόγια των δεκτών δεν είναι φυσικά τόσο μεγάλης ακρίβειας σαν αυτά των δορυφόρων καθώς κάτι τέτοιο θα σήμαινε

κατακόρυφη αύξηση του κόστους τους. Αρκεί να αναφερθεί ότι τα ατομικά χρονόμετρα ακριβείας με τα οποία εξοπλίζονται οι δορυφόροι ζυγίζουν περισσότερο από 20 κιλά ,κοστίζουν περίπου \$50000 και απαιτούν εκτεταμένη φροντίδα. Το σφάλμα στα ρολόγια των δεκτών είναι της τάξης των 200 ns μέχρι μερικά ms που σημαίνει ότι το σφάλμα που εισάγουμε ποικίλει από 60-30000 m ή και παραπάνω. Προκειμένου να υπολογίσουμε τις συντεταγμένες ενός δέκτη, δηλαδή το διάνυσμα θέσης του (x,y,z) , πραγματοποιούμε πολλές μετρήσεις προς πολλούς, τουλάχιστον τέσσερις δορυφόρους. Έτσι η λύση προκύπτει από μια μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων κατά την οποία εκτιμούμε τις άγνωστες παραμέτρους ελαχιστοποιώντας το τετράγωνο του διανύσματος των σφαλμάτων τους. Σε πλήρη αναλογία, έχουμε την δυνατότητα να εισάγουμε το σφάλμα συνόρθωσης των παρατηρήσεων και να υπολογίσουμε μια βέλτιστη τιμή της. Προκειμένου όμως να εισαχθεί το χρονόμετρο του δέκτη σαν άγνωστη ποσότητα πρέπει οι παρατηρήσεις προς τους (τέσσερις) δορυφόρους να είναι ταυτόχρονες καθώς αν πραγματοποιούνται διαφορετικές χρονικές στιγμές θα έχουν διαφορετικά σφάλματα χρονομέτρου του δέκτη. Άλλη δυνατότητα απαλοιφής του σφάλματος του χρονομέτρου του δέκτη είναι το διαφορικό G.P.S δηλαδή ο σχηματισμός απλών διαφορών μεταξύ των δορυφόρων.

6.4. Δομή της ατμόσφαιρας και τα ατμοσφαιρικά σφάλματα

Η περιοχή των αερίων που περιβάλλει τον πλανήτη γη είναι γνωστή σαν ατμόσφαιρα.

Η ατμόσφαιρα της Γης διακρίνεται στις : α) τροπόσφαιρα που εκτείνεται από την επιφάνεια της θάλασσας μέχρι και ύψος 14 km πάνω από αυτή, β) στρατόσφαιρα που εκτείνεται από 18-50 km πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, γ) μεσόσφαιρα που εκτείνεται από 50-80 km πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας και ε) εξώσφαιρα που εκτείνεται από 350- 1000 km πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Μετά την εξώσφαιρα βρίσκεται ο διαπλανητικός χώρος.



Σχ.6.1. Η δομή της ατμόσφαιρας της γης

6.4.1. Επίδραση της ιονόσφαιρας

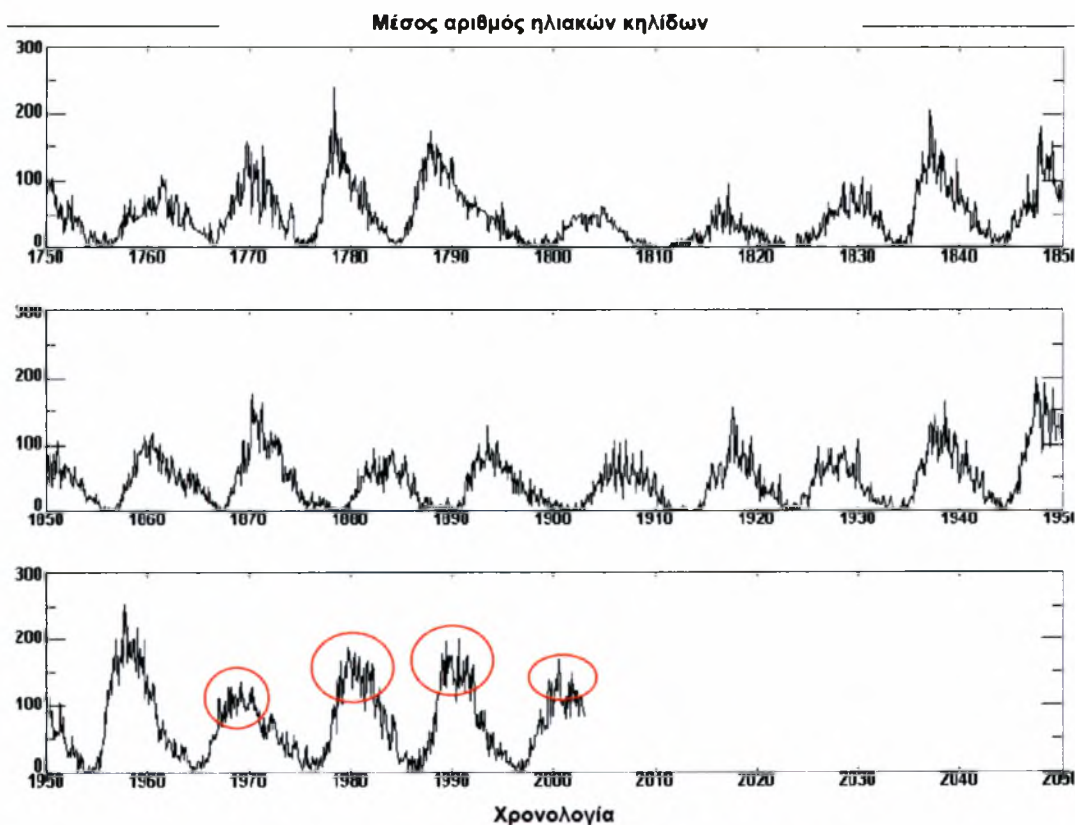
Η ιονόσφαιρα είναι στρώμα της ανώτερης ατμόσφαιρας το οποίο περιέχει φορτισμένα ιόντα και ηλεκτρόνια. Η ιονόσφαιρα επιφέρει στα κύματα του G.P.S

A) Καθυστέρηση του κύματος του οποίου η ταχύτητα γίνεται μικρότερη από αυτή του φωτός

B) Διάθλαση

Η καθυστέρηση και η διάθλαση του σήματος στην ιονόσφαιρα, εξαρτάται από την περιεκτικότητα ηλεκτρονίων κατά την πορεία του σήματος και από τη συχνότητα του διερχόμενου κύματος. Η περιεκτικότητα των ηλεκτρονίων επηρεάζεται από την ηλιακή ακτινοβολία και το γεωμαγνητικό πεδίο. Η επίδραση της ιονόσφαιρας εκφράζεται συνήθως σε σχέση με την λεγόμενη συνολική περιεκτικότητα ηλεκτρονίων, που αποτελεί

τον συνολικό αριθμό των ηλεκτρονίων σε μια κατακόρυφη εγκάρσια επιφάνεια εμβαδού 1 m^2 . Η περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε ηλεκτρόνια μεταβάλλεται ημερήσια, εποχιακά και περιοδικά, γι αυτό το λόγο το σφάλμα που εισάγεται ποικίλει. Έτσι η συνολική περιεκτικότητα ηλεκτρονίων και το ιονοσφαιρικό σφάλμα είναι μεγαλύτερα τις μεσημβρινές ώρες από ότι τις βραδινές κατά τους μήνες Μάρτιο-Μάιο σε σχέση με τους υπόλοιπους και τέλος κατά την κορυφή της ηλιακής δραστηριότητας που λαμβάνει χώρα κάθε 11 χρόνια. Στο σχήμα φαίνεται ο κύκλος της ηλιακής δραστηριότητας από το 1750 έως σήμερα, από όπου διαπιστώνουμε την περιοδικότητα του φαινομένου (11 χρόνια). Η επίδραση της ιονόσφαιρας εξαρτάται από την συχνότητα, την γεωγραφική θέση και τον χρόνο. Το σφάλμα στην μέτρηση των αποστάσεων ποικίλει από λιγότερο του 1 m έως και περισσότερο από 100 m. Πολύ μεγάλη περιεκτικότητα ηλεκτρονίων συναντούμε σε περιοχές του ισημερινού. Η Ελλάδα ωστόσο βρίσκεται εκτός της ζώνης επικινδυνότητας. Η ιονόσφαιρα αποτελεί τον κύριο παράγοντα επίδρασης σφαλμάτων στα σήματα G.P.S



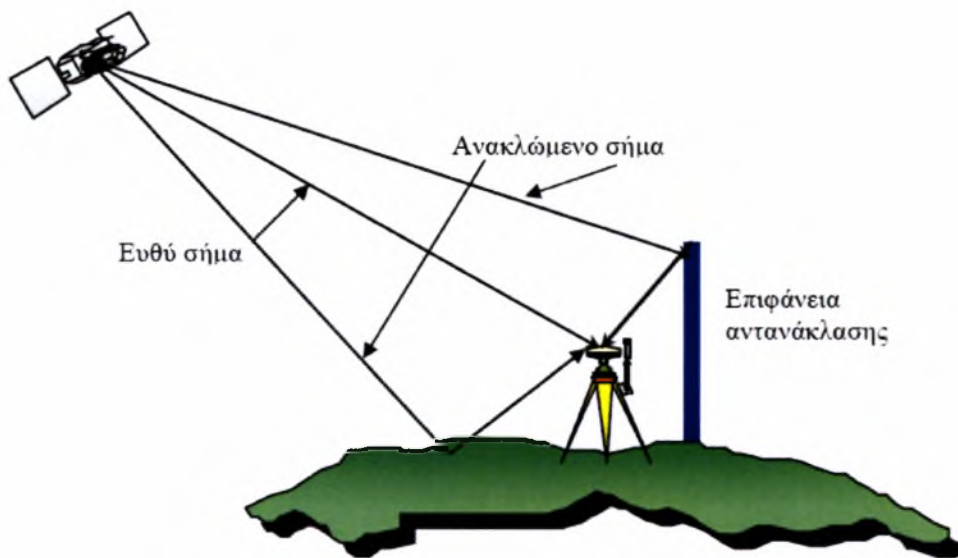
Σχ.6.2. Η ηλιακή δραστηριότητα από το 1750-σήμερα

6.4.2. Επίδραση της τροπόσφαιρας

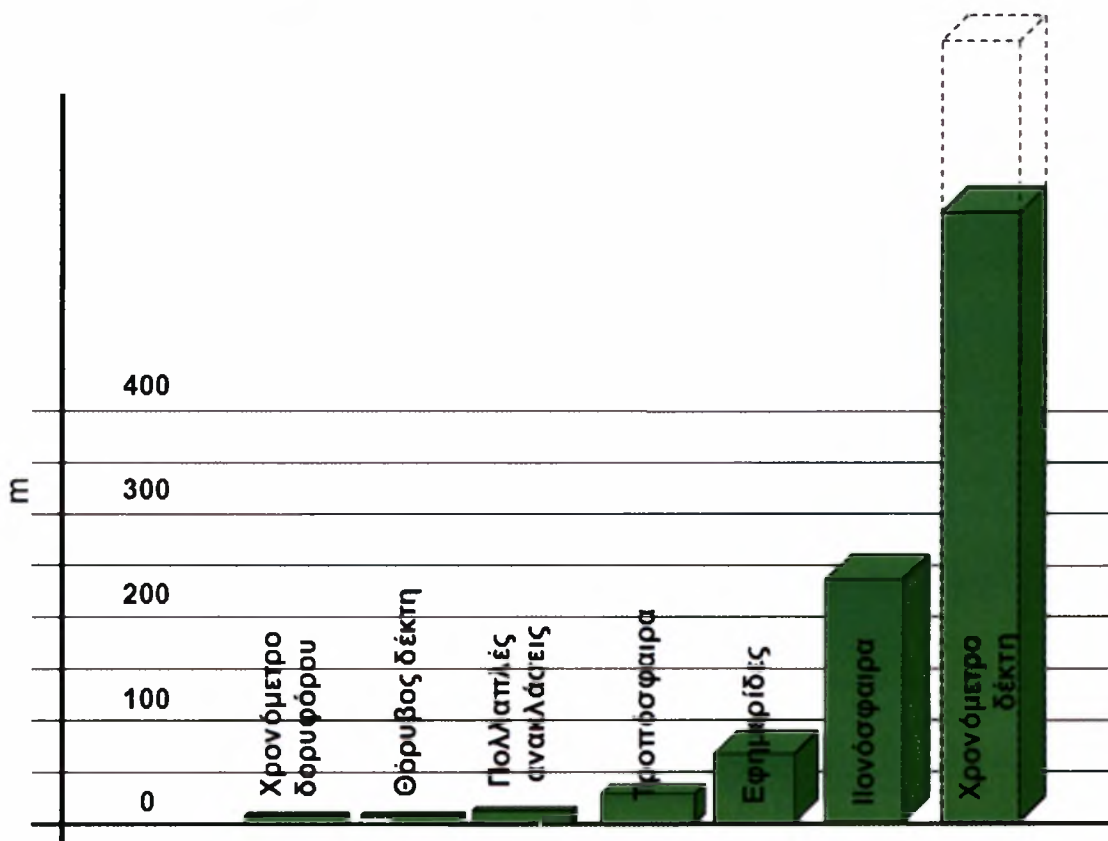
Ένα άλλο σφάλμα που υπεισέρχεται στις μετρήσεις G.P.S είναι το τροποσφαιρικό, εξαιτίας της καθυστέρησης του σήματος κατά τη διέλευση του από την τροπόσφαιρα. Η τροπόσφαιρα αποτελεί το στρώμα της ατμόσφαιρας στο οποίο δημιουργούνται και λαμβάνουν χώρα όλα τα μετεωρολογικά φαινόμενα του πλανήτη μας, μιας και σε αυτό συγκεντρώνεται το σύνολο σχεδόν των υδρατμών της ατμόσφαιρας. Η τροπόσφαιρα εκτείνεται σε ένα υψόμετρο περίπου 9 km πάνω από τους πόλους και περίπου 16 km πάνω από τον ισημερινό. Η καθυστέρηση του σήματος στην τροπόσφαιρα είναι σημαντική για τον ακριβή προσδιορισμό θέσης και βάσης μιας και οι τροποσφαιρικές παράμετροι είναι φτωχά συσχετισμένες για μεγάλες αποστάσεις.

6.5. Επίδραση της πολυδιαδρομής (multipath)

Ένα από τα κυριότερα ατμοσφαιρικά σφάλματα που εισέρχεται στις μετρήσεις είναι η πολυδιαδρομή-ανάκλαση του σήματος. Λέγοντας πολυδιαδρομή-ανάκλαση (multipath) εννοούμε την άφιξη του σήματος στην κεραία του δέκτη ύστερα από αρκετές ανακλάσεις που έχουν συμβεί σε αυτό από την επιφάνεια του εδάφους και των γειτονικών αντικειμένων (π.χ κτίρια, αυτοκίνητα, δέντα, κ.λ.π) . Το σύνθετο σήμα δημιουργεί μια αβεβαιότητα για τον αληθή χρόνο λήψης του σήματος, με τον ίδιο τρόπο με τον οποίο η ηχώ δημιουργεί μια αβεβαιότητα για τον ακριβή χρόνο τον οποίο μεταδόθηκε - παράχθηκε κάποιος ήχος. Κάτω από άσχημες συνθήκες η ανάκλαση μπορεί να επιφέρει μέχρι και χάσιμο σήματος.



Σχ.6.3. Το φαινόμενο τις πολυδιαδρομής (multipath)



Σχ.6.4. Τάξη μεγέθους των διαφόρων σφαλμάτων μετρήσεων GPS

7. Γεωμετρικά μέτρα ακρίβειας των μετρήσεων (DOP – Dilution Of Precision)

Στις προηγούμενες παραγράφους αναφερθήκαμε στα σφάλματα τα οποία υπεισέρχονται στις μετρήσεις των αποστάσεων από τους δορυφόρους. Η ερώτηση που τίθεται τώρα είναι ποια είναι η σχέση μεταξύ αυτών των σφαλμάτων και του σφάλματος στον υπολογισμό της θέσης. Με άλλα λόγια πόσα μέτρα σφάλματος εισάγονται στον υπολογισμό της θέσης για κάθε μέτρο σφάλματος στον υπολογισμό της απόστασης δορυφόρου-δέκτη.

Η απάντηση είναι ότι εξαρτάται από τον αριθμό των δορυφόρων που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της θέσης και από την γεωμετρία τους στον χώρο (ορίζοντα). Όταν όλοι οι δορυφόροι είναι συγκεντρωμένοι η γεωμετρία τους δεν θεωρείται καλή και η τιμή του DOP είναι υψηλή. Όταν όμως οι δορυφόροι είναι σωστά κατανομημένοι οι γεωμετρία τους είναι καλή και η τιμή του DOP είναι χαμηλή. Για παράδειγμα αν τέσσερις δορυφόροι είναι συγκεντρωμένοι σε κάποιο σημείο του ορίζοντα, τότε ένα μέτρο σφάλματος στον υπολογισμό των αποστάσεων προς αυτούς είναι πιθανό να εισάγει δεκάδες ή εκατοντάδες μέτρα σφάλματος στον υπολογισμό της θέσης. Αν όμως αρκετοί δορυφόροι είναι διασκορπισμένοι στον ορίζοντα τότε το σφάλμα στον υπολογισμό της θέσης είναι πιθανό να είναι μικρότερο από 1.5m για κάθε μέτρο σφάλματος στον υπολογισμό των αποστάσεων προς τους δορυφόρους. Η επίδραση της γεωμετρίας των δορυφόρων στο σφάλμα υπολογισμού της θέσης ονομάζεται GDOP (Geometrical Dilution Of Precision) και μπορεί χονδρικά να ερμηνευτεί ως ο λόγος του σφάλματος υπολογισμού της θέσης με το σφάλμα υπολογισμού των αποστάσεων προς τους δορυφόρους. Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν το DOP εκτός από τις τροχιές των δορυφόρων είναι η παρουσία εμποδίων που κάνει αδύνατη την χρησιμοποίηση δορυφόρων σε συγκεκριμένους τομείς του ορίζοντα ειδικά σε αστικές περιοχές.

Τιμή DOP	Rating	Περιγραφή
1	Ιδανικό	Αυτή είναι η μικρότερη δυνατή τιμή που μπορεί να πάρει το DOP δίνοντας μας τα πιο ακριβή αποτελέσματα.
2-3	Εξαιρετικό	Σε αυτό το επίπεδο εμπιστοσύνης οι μετρήσεις εντοπισμού θέσεως θεωρούνται έγκυρες χωρίς να μπορούμε να επεκταθούμε όμως σε εφαρμογές που απαιτούν μεγάλη ακρίβεια
4-6	Καλό	Αυτό το επίπεδο είναι το ελάχιστο απαιτούμενο για μετρήσεις όχι όμως και αρκετά ικανοποιητικό για εντοπισμό θέσης.
7-8	Μέτριος	Μετρήσεις εντοπισμού θέσεως μπορούν ακόμα να γίνουν αλλά απαιτείται καλύτερη γεωμετρία των δορυφόρων για ακριβή αποτελέσματα.
9-20	Επαρκής	Αυτό το επίπεδο εμπιστοσύνης θεωρείται χαμηλό για μετρήσεις εντοπισμού θέσεως. Οι μετρήσεις θα πρέπει να απορρίπτονται ή να χρησιμοποιούνται μόνο για χοντρική εκτίμηση της θέσεως .
21-50	Ανεπαρκής	Σε αυτό το επίπεδο εμπιστοσύνης οι μετρήσεις είναι ανακριβείς και πρέπει να απορρίπτονται.

Γεωμετρική εκτίμηση ακρίβειας-Dilution of precision (DOP). Είναι το βαθμωτό μέτρο της επίδρασης της γεωμετρίας των δορυφόρων στην εκτίμηση της ακρίβειας προσδιορισμού του διανύσματος θέσης και του σφάλματος του χρονομέτρου του δέκτη. (Ο “καλός” δορυφορικός γεωμετρικός σχηματισμός επιδρά στην ακρίβεια προσδιορισμού θέσης
(Το DOP είναι μια εκτίμηση της γεωμετρικής “ισχύος” των δορυφόρων την στιγμή της παρατήρησής τους.

-GDOP(Geometric DOP - Γεωμετρικό DOP)

Περιλαμβάνει γεωγραφικό πλάτος, μήκος, υψόμετρο και χρόνο

-PDOP(Position DOP - Θέσης και υψομέτρου DOP)

Περιλαμβάνει γεωγραφικό πλάτος, μήκος και υψόμετρο

-HDOP(Horizontal DOP - Οριζόντιας θέσης DOP)

Περιλαμβάνει γεωγραφικό πλάτος και μήκος

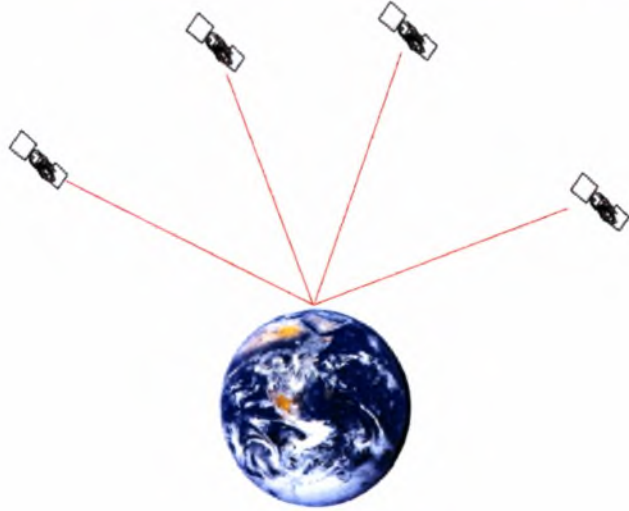
-VDOP(Vertical DOP - Κατακόρυφης θέσης (Υψομέτρου) DOP)

Περιλαμβάνει μόνο υψόμετρο

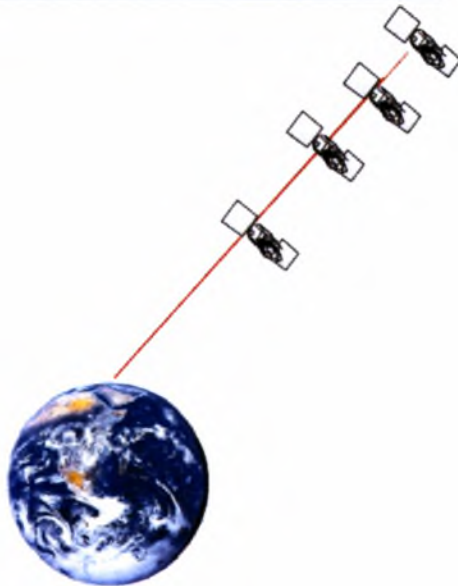
-TDOP(Time DOP - Χρόνου DOP)

Περιλαμβάνει μόνο χρόνο

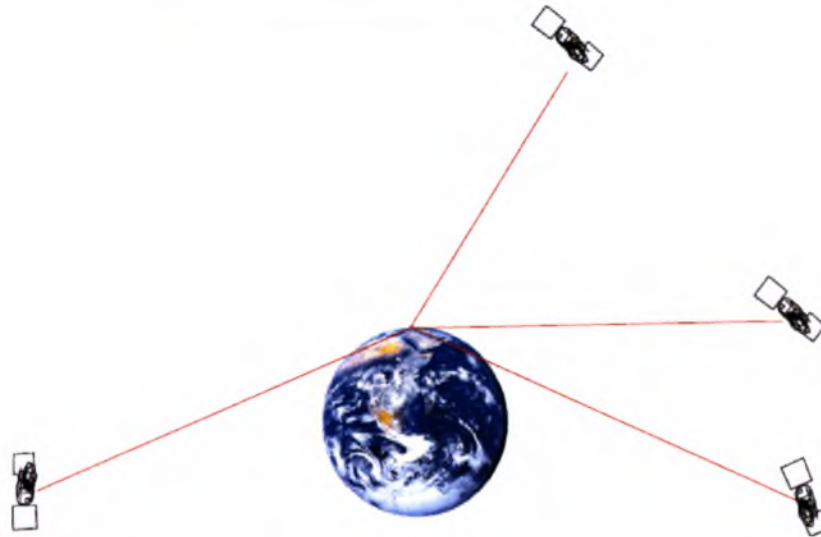
“Καλό” GDOP



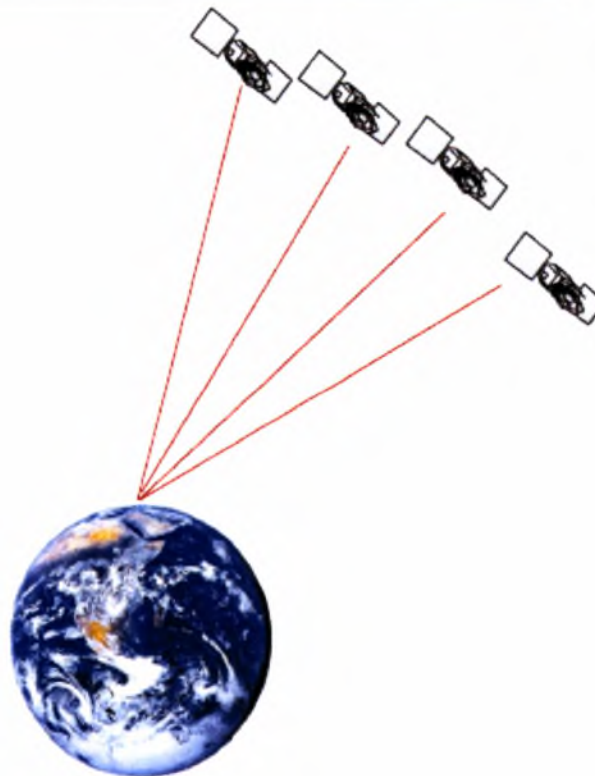
“Κακό” GDOP III

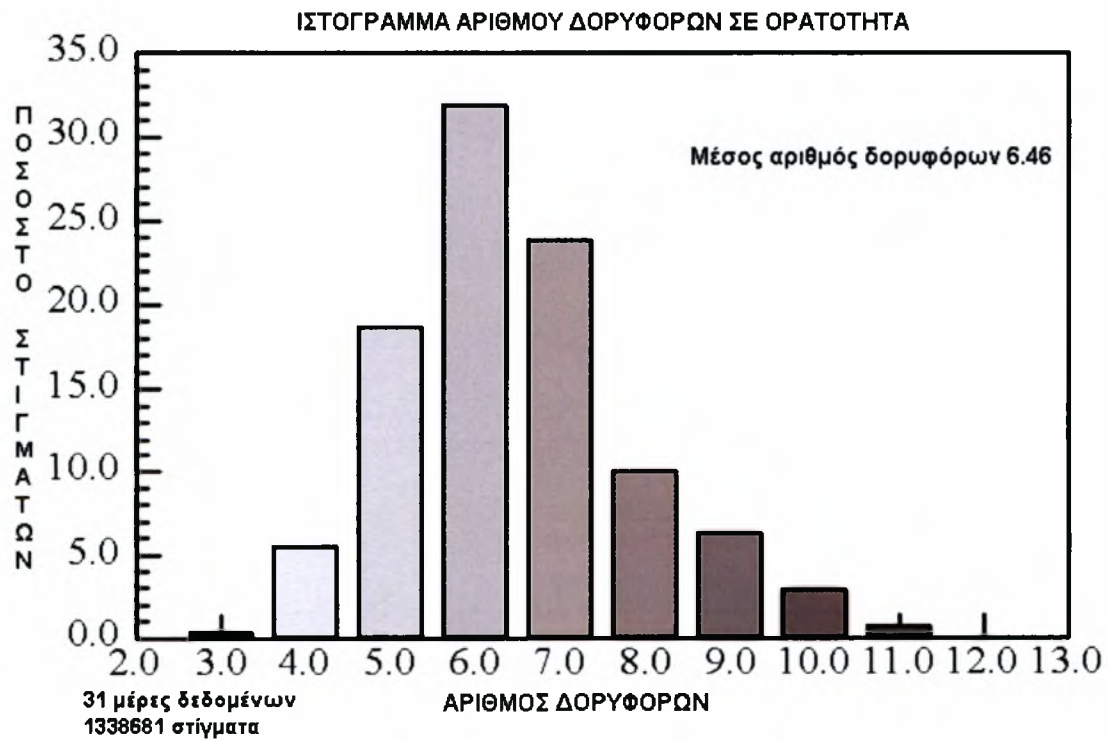
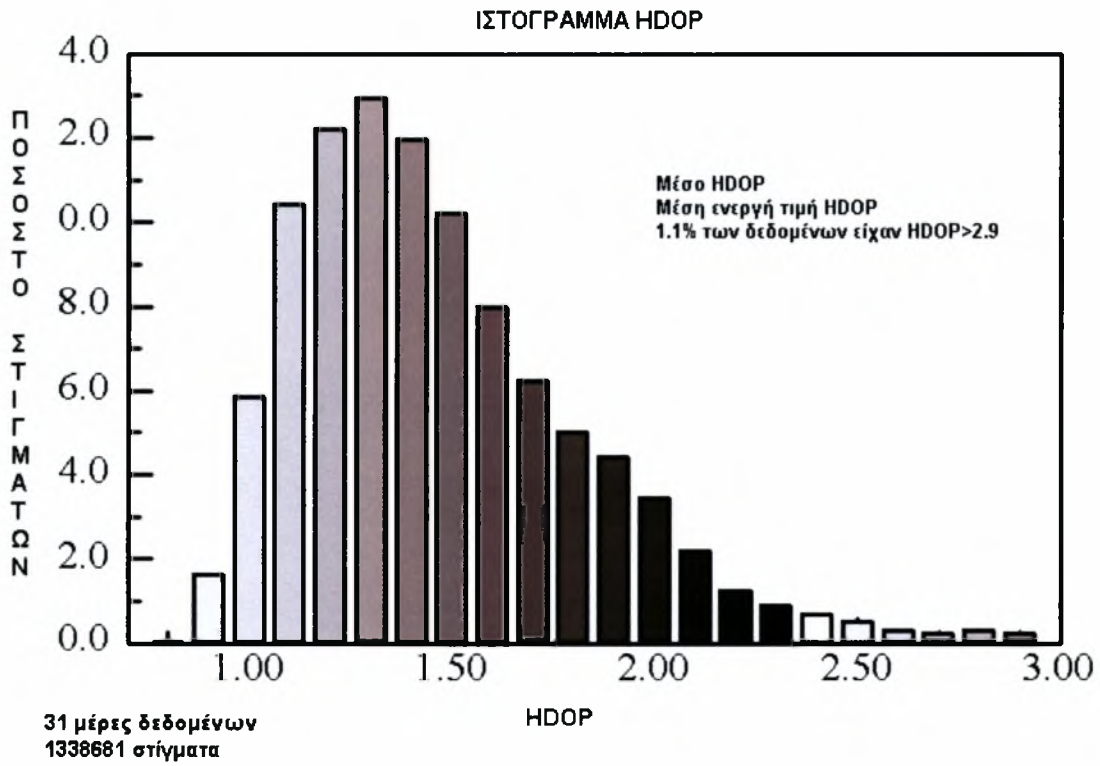


“Κακό” GDOP II



“Κακό” GDOP I





8. Μέθοδοι μετρήσεων

Η μέθοδος που θα χρησιμοποιήσουμε για τον προσδιορισμό θέσης με το G.P.S εξαρτάται κυρίως από την ακρίβεια που απαιτείται σε κάθε εφαρμογή και από τον συνολικό χρόνο παρατήρησης. Στόχος μας είναι να επιτυγχάνουμε την μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια στον μικρότερο δυνατό χρόνο παρατήρησης.

Οι τρόποι μέτρησης με το G.P.S μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με το αν ο δέκτης κινείται ή παραμένει ακίνητος στο σημείο μέτρησης, αν προσδιορίζουμε τις συντεταγμένες του σημείου απευθείας στο WGS'84 ή έμμεσα ως προς ένα άλλο γνωστό σημείο ή αν υπολογίζουμε σε πραγματικό χρόνο τις συντεταγμένες του σημείου (κατά την διάρκεια της μέτρησης) 'η εκ των υστέρων στο γραφείο.

Ανάλογα με το αν ο δέκτης παραμένει ακίνητος ή όχι στο σημείο του προσδιορισμού έχουμε δύο βασικές κατηγορίες προσδιορισμού θέσης τον στατικό και τον κινηματικό προσδιορισμό.

A) Στατικός προσδιορισμός

Στον στατικό προσδιορισμό ο δέκτης ή οι δέκτες GPS παραμένουν ακίνητοι στα προσδιοριζόμενα σημεία σε όλη την διάρκεια των μετρήσεων. Ο δέκτης δεν είναι απαραίτητο να έχει συνεχή επαφή με τους δορυφόρους όταν μεταφέρεται από σημείο σε σημείο.

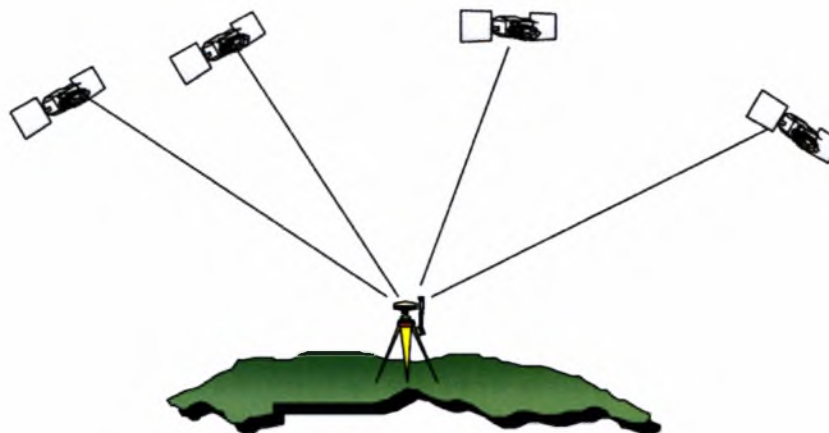
B) Κινηματικός προσδιορισμός

Στον κινηματικό προσδιορισμό ο δέκτης ή οι δέκτες G.P.S κινούνται κατά μήκος μιας διαδρομής και ο δέκτης υπολογίζει συντεταγμένες σε " τυχαία σημεία " της διαδρομής ανά χρονικά διαστήματα που έχουμε ορίσει εμείς, στον κινηματικό προσδιορισμό η επαφή του δέκτη με τους δορυφόρους θα πρέπει να είναι συνεχής κατά την διάρκεια της κίνησης.

Ανάλογα με το αν ο προσδιορισμός του σημείου γίνεται απευθείας στο σύστημα αναφοράς του G.P.S ή αν προσδιορίζεται η σχετική του θέση ως προς ένα άλλο γνωστό σημείο, διακρίνουμε δύο μεθόδους προσδιορισμού τον απόλυτο και τον σχετικό.

8.1.1. Απόλυτος προσδιορισμός θέσης

Ο απόλυτος προσδιορισμός θέσης αφορά τον προσδιορισμό ενός μόνο σημείου ή μιας διαδρομής λαμβάνοντας δεδομένα μόνο από ένα δέκτη. Σε αυτήν την περίπτωση υπολογίζουμε απευθείας τις συντεταγμένες (X,Y,Z) του σημείου, ως προς γεωδαιτικό σύστημα WGS'84, χρησιμοποιώντας μετρήσεις ψευδοαποστάσεων (τουλάχιστον τέσσερις δορυφόρους) και έχοντας ακρίβεια μερικές δεκάδες μέτρα.



Βασική αρχή απόλυτου προσδιορισμού θέσης

8.1.2. Σχετικός προσδιορισμός θέσης

Ο σχετικός προσδιορισμός θέσης αφορά τον προσδιορισμό της θέσης ενός σημείου, ως προς ένα άλλο σημείο (προσδιορισμός των συνιστωσών βάσης $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$), για την εφαρμογή αυτής της μεθόδου απαιτούνται ταυτόχρονες μετρήσεις με δύο ή περισσότερους δέκτες σε δύο ή περισσότερα σημεία αντίστοιχα στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούμε μετρήσεις φάσεων.

Μια άλλη γενική διάκριση αφορά το πότε υπολογίζονται οι συντεταγμένες των σημείων σε σχέση με τον χρόνο εκτέλεσης των μετρήσεων. Έτσι έχουμε τον

προσδιορισμό σε πραγματικό χρόνο, την ίδια ή σχεδόν την ίδια χρονική στιγμή εκτέλεσης των μετρήσεων και τον εκ των υστέρων προσδιορισμό μετά το πέρας των μετρήσεων.

8.2. Διαφορικός προσδιορισμός

Για τις ψευδοαποστάσεις :

$$\rho = \rho + d_{orb} + c(dt - dT) + d_{ion} + d_{trop} + \epsilon_p$$

ρ είναι η παρατηρηθείσα απόσταση

ρ είναι η αληθής απόσταση μεταξύ δορυφόρου και δέκτη

d_{orb} τα τροχιακά σφάλματα

dt το σφάλμα συγχρονισμού του ρολογιού του δορυφόρου με το χρόνο του G.P.S

dT το σφάλμα συγχρονισμού των δύο ρολογιών δορυφόρου- δέκτη

c η ταχύτητα του φωτός

d_{trop} η τροποσφαιρική καθυστέρηση

d_{ion} η ιονοσφαιρική καθυστέρηση

ϵ_p ο θόρυβος παρατήρησης (τυχαίο σφάλμα)

Για τις μετρήσεις φάσεως :

$$\rho = -\lambda \Phi' = \Phi + d_{orb} + c(dt - dT) + \lambda N - d_{ion} + d_{trop} + \epsilon_\phi$$

ρ η μετρηθείσα απόσταση μεταξύ δορυφόρου και δέκτη

Φ' η μετρηθείσα διαφορά φάσεως μεταξύ δορυφόρου και δέκτη (κύκλοι)

Φ είναι η αληθής δεκαδική διαφορά φάσης

λ είναι το μήκος κύματος

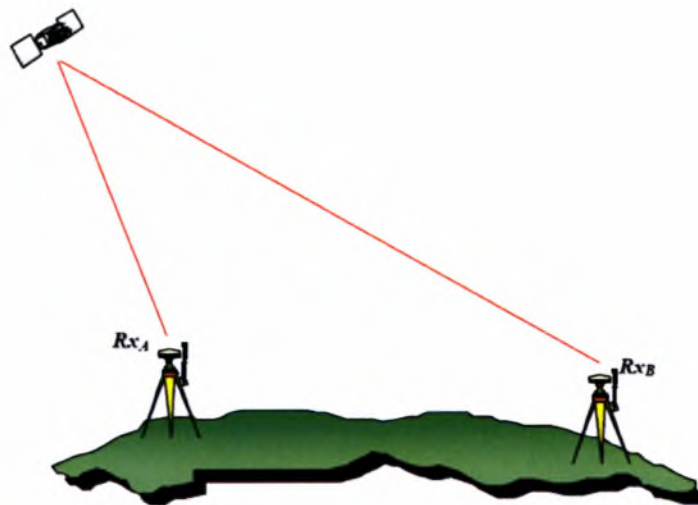
N είναι ο ακέραιος αριθμός κύκλων για κάθε ζεύγος δέκτη-δορυφόρου

ϵ_ϕ ο θόρυβος παρατήρησης (τυχαίο σφάλμα)

Μπορούμε να πετύχουμε βελτίωση της ακρίβειας στον προσδιορισμό του διανύσματος θέσης, με βάση τις μετρήσεις ψευδοαποστάσεων ή φάσεων, με την χρησιμοποίηση στην επεξεργασία δεδομένων όχι των πρωτογενών παρατηρήσεων αλλά των πρώτων, δεύτερων ή και τρίτων διαφορών αυτών. Ο λόγος που χρησιμοποιούνται οι διαφορές των πρωτογενών παρατηρήσεων είναι ότι στο σχετικό εντοπισμό θέσης πολλά από τα σφάλματα μεταξύ των μετρήσεων είναι συσχετισμένα και συνεπώς απαλείφονται ή μειώνονται οι κοινές τους ποσότητες με την χρήση διαφορών. Η αντιμετώπιση των σφαλμάτων αυτών και η ελαχιστοποίηση της επίδρασης τους στα τελικά αποτελέσματα μπορεί να γίνει μέσω του σχηματισμού απλών, διπλών ή και τριπλών διαφορών μεταξύ δεκτών, δορυφόρων, εποχών μέτρησης και των συχνοτήτων.

Απλές διαφορές μεταξύ δεκτών

Είναι η διαφορά ανάμεσα στις φάσεις ή τις ψευδοαποστάσεις που μετρώνται ταυτόχρονα από δύο δέκτες προς τον ίδιο δορυφόρο (ίδιο σήμα και προφανών ίδια συχνότητα)



$$\Delta = (\bullet)_{rx2} - (\bullet)_{rx1}$$

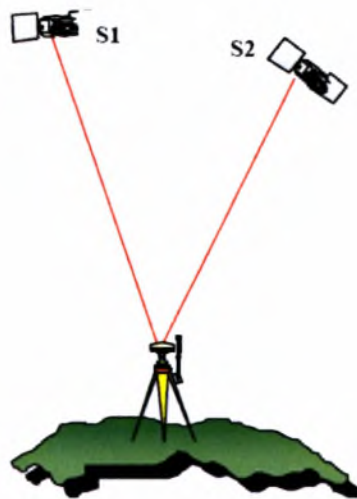
$$\Delta p = \Delta p + \Delta d p - c \Delta d T + \Delta d_{ion} + \Delta d_{trop} + \epsilon_{\Delta p}$$

$$\Delta \Phi = \Delta p + \Delta d p - c \Delta d T + \lambda \Delta N - \Delta d_{ion} + \Delta d_{trop} + \epsilon_{\Delta \Phi}$$

Οι διαφορές μεταξύ δεκτών μειώνουν ή εξαλείφουν την επίδραση του σφάλματος του χρονομέτρου του δορυφόρου, επίσης μειώνουν σημαντικά τα τροχιακά και τα ατμοσφαιρικά σφάλματα για μικρές βάσεις (μικρό μήκος).

Απλές διαφορές μεταξύ δορυφόρων

Είναι η διαφορά ανάμεσα στις φάσεις ή ψευδοαποστάσεις που γίνονται από τον ίδιο δέκτη ταυτόχρονα προς δύο δορυφόρους (δύο σήματα, ίδια συχνότητα). Οι διαφορές μεταξύ δορυφόρων μειώνουν ή εξαλείφουν την επίδραση του σφάλματος του χρονομέτρου του δέκτη.



$$\Delta = (\bullet)s_2 - (\bullet)s_1$$

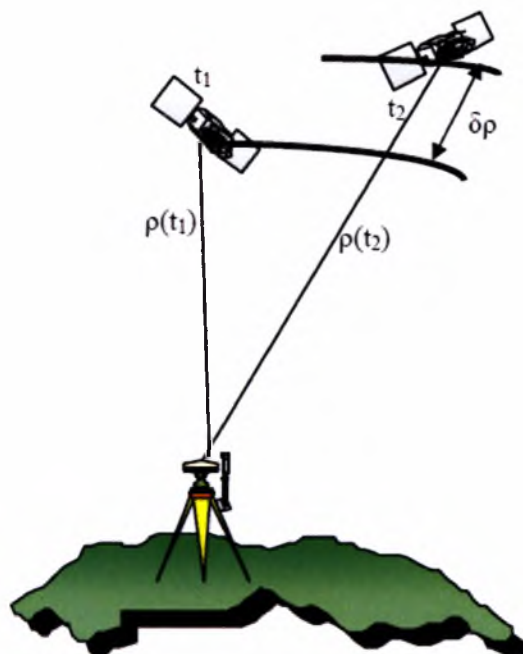
$$\Delta\rho = \Delta\rho + \Delta d\rho - c\Delta dt + \Delta d_{\text{ion}} + \Delta d_{\text{trop}} + \varepsilon_{\Delta\rho}$$

$$\Delta\Phi = \Delta\rho + \Delta d\rho - c\Delta dt + \lambda\Delta N - \Delta d_{\text{ion}} + \Delta d_{\text{trop}} + \varepsilon_{\Delta\Phi}$$

Απλές διαφορές μεταξύ εποχών (χρόνος)

Είναι η διαφορά ανάμεσα στις φάσεις ή τις ψευδοαποστάσεις που γίνονται από τον ίδιο δέκτη προς τον ίδιο δορυφόρο σε δύο διαφορετικές χρονικές στιγμές (δύο σήματα, ίδια συχνότητα). Οι διαφορές μεταξύ εποχών εξαλείφουν την ολίσθηση κύκλων και μειώνουν τα τροχιακά και ατμοσφαιρικά σφάλματα. Είναι απαραίτητο ο δορυφόρος

να παρατηρείται συνεχώς καθ' όλη της διάρκειας παρατήρησης και να λαμβάνεται συνεχώς σήμα.



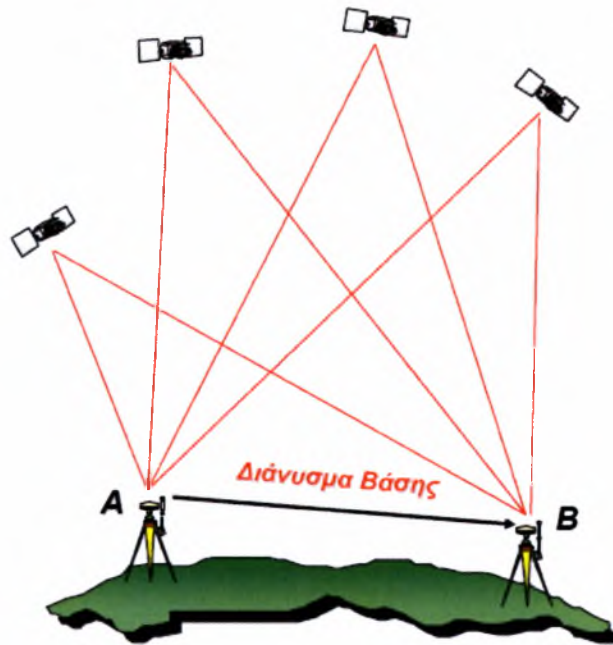
$$\delta = (\bullet)t_2 - (\bullet)t_1$$

$$\delta\rho = \delta\rho + \delta d\rho - c(\delta dt - \delta dt) + \delta d_{ion} + \delta d_{trop} + \epsilon_{\delta\rho}$$

$$\delta\Phi = \delta\rho + \delta d\rho - c(\delta dt - \delta dt) + \lambda\delta N - \delta d_{ion} + \delta d_{trop} + \epsilon_{\delta\Phi}$$

9. Πηγές μείωσης της ακρίβειας: Λύσεις

Ας υποθέσουμε ότι έχουμε δύο δέκτες όχι πολύ απομακρυσμένους μεταξύ τους. Τα σφάλματα των δορυφορικών χρονομέτρων, των δορυφορικών τροχιών, της ιονόσφαιρας και της τροπόσφαιρας, επηρεάζουν και τους δύο δέκτες κατά τον ίδιο τρόπο και βαθμό. Εάν γνωρίζαμε την ακριβή θέση ενός από τους δύο δέκτες θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε αυτή την πληροφορία ώστε να υπολογίσουμε τα σφάλματα στις μετρήσεις. Στη συνέχεια μεταφέροντας αυτά τα σφάλματα (ή καλύτερα διορθώσεις) στον άλλο δέκτη, επιτυγχάνουμε την απαλοιφή τους. Αυτή η τεχνική ονομάζεται διαφορικός εντοπισμός.



Σχ.9.1. Διαφορικός προσδιορισμός θέσης

Ο δέκτης που βρίσκεται σε θέση γνωστών συντεταγμένων ονομάζεται διεθνώς "base" (βάση) <math>0</math>, ενώ ο άλλος που είναι σε άγνωστη θέση ονομάζεται "rover" (κινητός). Ο δέκτης βάσης υπολογίζει τη στιγμιαία απόστασή του προς κάθε δορυφόρο, βασιζόμενος στη γνωστή του θέση και τη στιγμιαία θέση κάθε δορυφόρου. Η διαφορά της υπολογισμένης με τη μετρημένη απόσταση είναι η τιμή της διόρθωσης για κάθε ένα δορυφόρο. Μεταδιδόμενες οι διορθώσεις αυτές στον κινητό δέκτη, επιτρέπουν στον τελευταίο να ανάγει τις δικές του μετρημένες αποστάσεις προς όλους τους δορυφόρους, υπολογίζοντας τελικά τη θέση του με πολύ καλύτερη ακρίβεια.

Εξαιτίας της διαρκούς κίνησης των δορυφόρων αλλά και των ολισθήσεων των χρονομέτρων τους, οι παραγόμενες διορθώσεις αλλάζουν ραγδαία σε συνάρτηση με το χρόνο. Επομένως ο δέκτης βάσης πρέπει να παράγει τις διορθώσεις και να τις μεταδίδει στον κινητό δέκτη όσο το συντομότερο δυνατό.

Αυτονόητο είναι ότι η ορθότητα των συντεταγμένων του δέκτη βάσης επηρεάζει άμεσα τις συντεταγμένες του κινητού. Εάν εισαχθεί η θέση του βάσης λανθασμένα προς κάποια συγκεκριμένη κατεύθυνση, τότε όλες οι διορθώσεις που θα υπολογίσει και θα μεταδώσει στον κινητό δέκτη θα είναι κατά τέτοιο τρόπο λανθασμένες ώστε να

προσδίνουν στον κινητό δέκτη εντοπισμό θέσης που θα έχει το ίδιο λάθος σε μέγεθος και διεύθυνση όπως ο base.

Το διάνυσμα μεταξύ της βάσης και του κινητού δέκτη ονομάζεται διάνυσμα βάσης (baseline). Όταν η βάση είναι μικρή, τότε τα σφάλματα απόστασης των δύο δεκτών προς τους δορυφόρους είναι σχεδόν ίδια, επιτρέποντας τη χρήση των παραγόμενων διορθώσεων από την βάση για τον προσδιορισμό της θέσης του κινητού δέκτη. Όσο αυξάνεται το μήκος της βάσης, τόσο ελαττώνεται η συνοχή των σφαλμάτων απόστασης. Με άλλα λόγια θα προκύπτουν υπολοίπωντα σφάλματα στον προσδιορισμό της θέσης του rover τα οποία αυξάνονται με την αύξηση του μήκους της βάσης.

Σαν γενικός κανόνας, θα πρέπει να προστίθεται επιπλέον ασάφεια 1ppm (ενός χιλιοστού για κάθε χιλιόμετρο αύξησης στο μήκος της βάσης) και στην περίπτωση δεκτών μίας συχνότητας (L1), το σφάλμα αυτό αυξάνει $> 2\text{ppm}$.

Ο διαφορικός εντοπισμός εξαλείφει σχεδόν όλα τα σφάλματα εκτός από αυτά της πολυδιαδρομής "multipath" και των σφαλμάτων των δεκτών. Αυτό τα σφάλματα υπεισέρχονται για κάθε δέκτη χωριστά και δεν μπορούν να εξαλειφθούν με τον διαφορικό εντοπισμό.

Το σφάλμα του δέκτη (εσωτερικός θόρυβος) είναι όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο περίπου 10cm για τον κώδικα του φέροντος κύματος και περίπου 1mm για την φάση. Σε δέκτες υψηλής ακρίβειας και ποιότητας αυτά τα σφάλματα είναι αρκετές φορές μικρότερα. Το σφάλμα που υπεισέρχεται από το "multipath" όμως μπορεί να είναι αρκετά μέτρα για τον κώδικα και αρκετά εκατοστά για την φάση του φέροντος κύματος. Ως εκ τούτου, αν με κάποιο τρόπο αντιμετωπίσουμε το "multipath" θα μπορούμε να επιτύχουμε ακρίβεια χιλιοστού για μετρήσεις φάσης και ακρίβεια εκατοστού για μετρήσεις κώδικα.

Ο διαφορικός εντοπισμός με χρήση του κώδικα του φέροντος κύματος ονομάζεται DGPS ενώ με χρήση της φάσης του φέροντος κύματος ονομάζεται CPD (Carrier Phase Differential). Ο διαφορικός εντοπισμός με χρήση φάσης σε πραγματικό χρόνο ονομάζεται RTK (Real-Time kinematic).

Στο διαφορικό εντοπισμό με χρήση φάσης φέροντος κύματος, οι υπολογισμοί είναι αρκετά πιο πολύπλοκοι επειδή προστίθενται άγνωστοι που αφορούν τον αριθμό των

αρχικών ακεραίων κύκλων (ασάφεια φάσης). Είναι πιθανό να χρειαστούν αρκετά λεπτά για να επιλυθεί η ασάφεια φάσης και να προσδιοριστεί ο αριθμός των ακεραίων κύκλων. Άπαξ και επιλυθεί η αρχική ασάφεια φάσης, τότε κάθε συμπληρωματικός υπολογισμός θέσης είναι άμεσος. Όταν όμως ο αριθμός των ορατών από το δέκτη δορυφόρων πέσει κάτω από 4, τότε πρέπει να επαναυπολογιστεί η ασάφεια φάσης μόλις ο αριθμός των διαθέσιμων δορυφόρων το επιτρέψει, δηλαδή μόλις ο δέκτης αποκτήσει πάλι τουλάχιστον 4 ορατούς δορυφόρους (5 για αξιοπιστία). Η διαδικασία αυτή μπορεί να διαρκέσει αρκετά λεπτά. Μια DGPS λύση όμως, είναι άμεση, δεν πάσχει από ασάφεια, αλλά ταυτόχρονα είναι λιγότερο ακριβής.

Για μικρές βάσεις (<20Km) ο χρόνος ο οποίος απαιτείται για την επίλυση της ασάφειας φάσης εξαρτάται από τις επόμενες παραμέτρους:

- Το επίπεδο εμπιστοσύνης που έχει τεθεί για τον υπολογισμό του αριθμού των ακεραίων κύκλων
- Τον αριθμό των δορυφόρων
- Το είδος των δεκτών (δέκτες THALES ή όχι)
- Την επίδραση του σφάλματος πολλαπλών διαδρομών "multipath" (συντελεστής ανακλασιμότητας του εδάφους)
- Την ικανότητα εξάλειψης του "multipath" από την κεραία

Ο αριθμός των χρησιμοποιούμενων δορυφόρων είναι η κυριότερη παράμετρος για την αξιόπιστη και γρήγορη επίλυση της ασάφειας φάσης. Σαν κανόνα μπορούμε να πούμε ότι χρειάζονται τουλάχιστον 6 δορυφόροι για μικρές βάσεις.

10. Δημιουργία του Ελληνικού Συστήματος Εντοπισμού-HEPOS (Hellenic Positioning System)

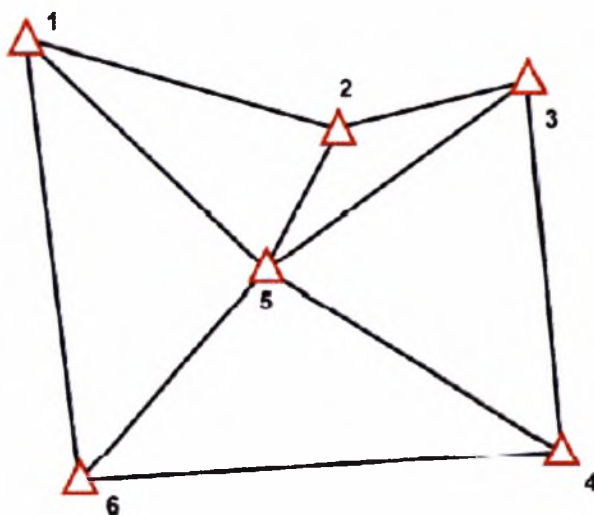
Αντικείμενο του έργου είναι η ανάπτυξη του Ελληνικού Συστήματος Εντοπισμού (HEPOS: HELLenic POsitioning System). Το HEPOS είναι ένα σύστημα, το οποίο θα παρέχει υπηρεσίες εντοπισμού θέσης υψηλής ακρίβειας αξιοποιώντας το υφιστάμενο παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα εντοπισμού (GPS - Global Positioning System).

Το HEPOS θα αποτελείται από ένα δίκτυο 100 περίπου μόνιμων σταθμών αναφοράς GPS, κατανεμημένων σε ολόκληρη τη χώρα, υλοποιώντας έτσι ένα σύστημα αντίστοιχο με αυτά που λειτουργούν τα τελευταία χρόνια στις περισσότερες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Οι μετρήσεις των σταθμών αυτών θα συγκεντρώνονται σε πραγματικό χρόνο σε ένα Κέντρο Ελέγχου, το οποίο θα τις επεξεργάζεται και θα αποστέλλει στους χρήστες τα δεδομένα που απαιτούνται για το εντοπισμό της θέσης του χρήστη με μεγάλη ακρίβεια. Οι χρήστες θα μπορούν να παίρνουν τα δεδομένα είτε σε πραγματικό χρόνο, είτε μέσω διαδικτυακού εξυπηρετητή (web server) για εφαρμογές επεξεργασίας στο γραφείο (post-processing).

Το HEPOS υλοποιείται για να καλύψει τις ανάγκες σύνταξης του Εθνικού Κτηματολογίου για τα επόμενα χρόνια. Με το σύστημα αυτό θα γίνονται ομοιογενείς και ακριβείς τοπογραφικές μετρήσεις στο σύνολο της χώρας, ταχύτερα και οικονομικότερα. Παράλληλα όμως θα μπορεί να έχει και πλήθος άλλων εφαρμογών στις οποίες απαιτείται είτε ακρίβεια εκατοστού είτε ακρίβεια της τάξης του μισού μέτρου. Τα κύρια πεδία εφαρμογών του συστήματος αποτελούν οι κτηματολογικές, τοπογραφικές και γεωδαιτικές εργασίες, τα μεγάλα κατασκευαστικά έργα, η επιστημονική έρευνα και η συλλογή δεδομένων για εφαρμογές GIS (Γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών) με αυξημένες απαιτήσεις χωρικής ακρίβειας. Το έργο προβλέπεται να ολοκληρωθεί μέχρι το τέλος του 2008.

11. Σχετικός στατικός προσδιορισμό θέσης

Οι διαφορετικές ανάγκες σε ακρίβεια και σε ταχύτητα που δημιουργούνται στις πρακτικές εφαρμογές οδήγησαν σε μια σειρά από τεχνικές μέτρησης που συνδυάζουν τις μεθόδους του διαφορικού G.P.S στον σχετικό προσδιορισμό θέσης. Επιλέγοντας τον σχετικό στατικό προσδιορισμό θέσης για την επίλυση του προβλήματος (σύμφωνα με την ισχύουσα πρακτική), ο χρόνος παραμονής σε κάθε σημείο μέτρησης για δέκτη μιας συχνότητας θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 20 λεπτά για αποστάσεις μέχρι 5 Km από το σημείο αναφοράς (βάση). Στο σημείο αυτό ένας από τους δύο δέκτες παραμένει καθ' όλη την διάρκεια των μετρήσεων (συνήθως είναι κάποιο τριγωνομετρικό ή γενικά σημείο με γνωστές συντεταγμένες). Η βέλτιστη απαιτούμενη χρονική διάρκεια συλλογής παρατηρήσεων εξαρτάται από την απόσταση μεταξύ των σημείων, από τον αριθμό και την γεωμετρία των δορυφόρων, όπου δείκτης της ακρίβειας των μετρήσεων είναι η τιμή του GDOP (Geometrical Dilution of Precision) η οποία κατά την διάρκεια των μετρήσεων δεν θα πρέπει να ξεπερνά το 8 (στην περίπτωση μας $DOP < 3$). Ο ρυθμός καταγραφής των παρατηρήσεων θα πρέπει να κυμαίνεται (για τις παραπάνω αποστάσεις) από 10 μέχρι 20 sec. Η γωνία αποκοπής δορυφόρου ορίζεται στις 15° μοίρες από τον ορίζοντα (είναι οι γωνία κάτω από την οποία δεν καταγράφονται μετρήσεις). Συνήθως (όταν απαιτείται μεγάλη ακρίβεια) μετράμε όσο το δυνατό περισσότερες βάσεις μεταξύ των σημείων προσέχοντας να φτιάχνουμε "κλειστά" γεωμετρικά σχήματα π.χ τρίγωνα ή τετράπλευρα με μια έστω διαγώνιο μετρημένη, έτσι ώστε να μπορούμε πάντοτε να έχουμε έλεγχο στα σφάλματα των μετρήσεων μας. Για την μέτρηση ενός δικτύου στην πιο απλή περίπτωση που διαθέτουμε δύο δέκτες, αρκεί ένας να τοποθετηθεί σε ένα γνωστό σημείο και ο άλλος δέκτης να περιφέρεται στα υπόλοιπα σημεία, κάθε φορά δηλαδή μετράμε στην ουσία μια βάση και στην συνέχεια συμπληρώνουμε τις παρατηρήσεις στο δίκτυο μας, μετρώντας τις υπόλοιπες βάσεις. Για την μέτρηση δικτύων με αυτή τη μέθοδο είναι καλύτερο να διαθέτουμε τρεις δέκτες έτσι ώστε να μετράμε κάθε φορά τρίγωνα από βάσεις και να μειώνουμε τον χρόνο μετακίνησης.



Σχ.11.1 Παράδειγμα σχετικού στατικού προσδιορισμού

11. 1 Σχετικός στατικός προσδιορισμός θέσης σε πραγματικό χρόνο με χρήση ψευδοχρονισμένων ζευγών συσκευών GPS/L1.

Όπως αναφέρεται και στο κεφάλαιο 9 υποθέτουμε ότι έχουμε δύο δέκτες όχι πολύ απομακρυσμένους μεταξύ τους. Τα σφάλματα των δορυφορικών χρονομέτρων, των δορυφορικών τροχιών, της ιονόσφαιρας και της τροπόσφαιρας, επηρεάζουν και τους δύο δέκτες κατά τον ίδιο τρόπο και βαθμό. Υποθέτοντας ότι γνωρίζοντας την ακριβή θέση ενός από τους δύο δέκτες (βάση) θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε αυτή την πληροφορία ώστε να υπολογίσουμε τα σφάλματα στις μετρήσεις. Στη συνέχεια μεταφέροντας αυτά τα σφάλματα (αποκλίσεις) στον άλλο δέκτη, θεωρητικά επιτυγχάνουμε την απαλοιφή τους. Αυτή η τεχνική βασίζεται στην αρχή του διαφορικού εντοπισμού θέσης.

Τον δέκτη (GPS₀) που βρίσκεται τοποθετημένος στο σημείο αναφοράς και σε θέση γνωστών συντεταγμένων (βάση) τον ονομάζουμε σταθμό βάσης, ενώ ο άλλος/άλλοι δέκτης/ες (GPS₁) που είναι σε άγνωστη θέση ονομάζονται κινητοί δέκτες . Ο δέκτης αναφοράς (βάση) υπολογίζει τη στιγμιαία θέση του (θεωρώντας την απόστασή του προς κάθε δορυφόρο), βασιζόμενος στη γνωστή του θέση και τη στιγμιαία υπολογισμένη θέση του. Η διαφορά της υπολογισμένης θέσης της βάσης (S_0) από την γνωστή θέση της, μας δίνει την τιμή της διόρθωσης. Μεταδιδόμενες και συνυπολογιζόμενες οι διορθώσεις

αυτές στον κινητό δέκτη, επιτρέπουν στον τελευταίο να ανάγει τις δικές του μετρημένες αποστάσεις προς όλους τους δορυφόρους, υπολογίζοντας τελικά τη θέση του με πολύ καλύτερη ακρίβεια.

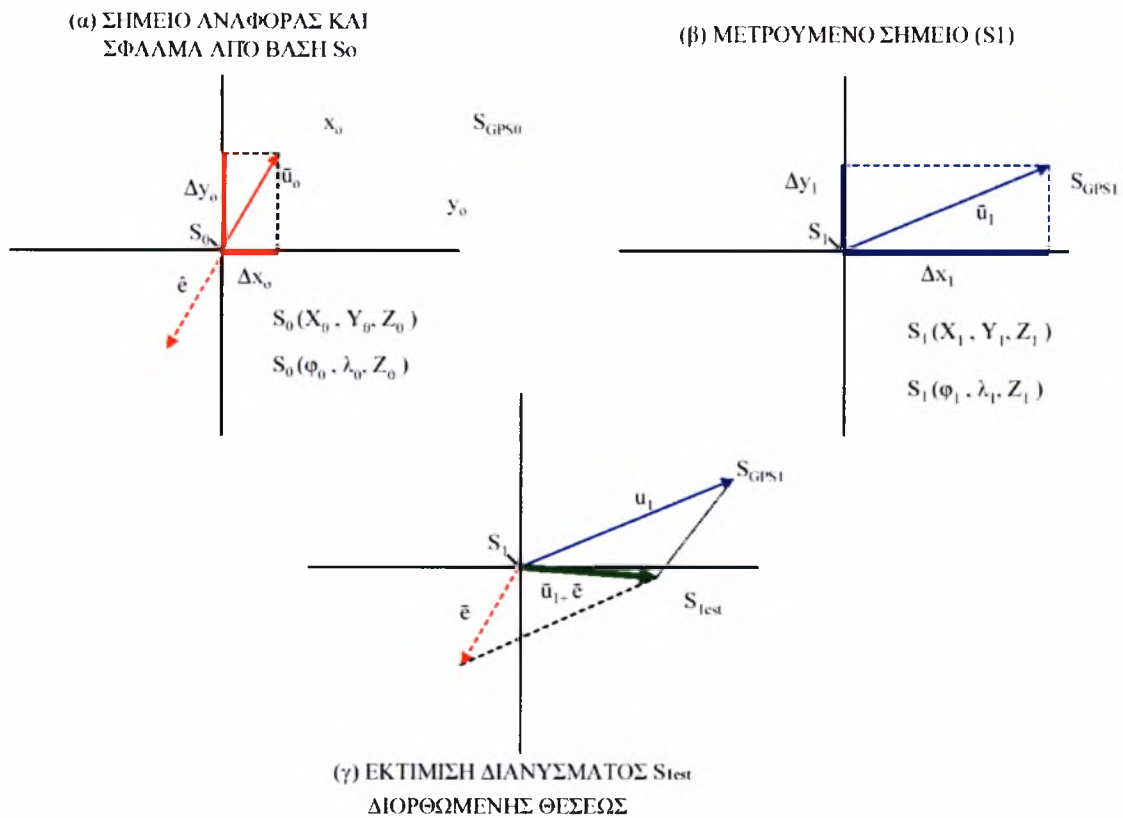
Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 9, εξαιτίας της διαρκούς κίνησης των δορυφόρων αλλά και των ολισθήσεων των χρονομέτρων τους «time shift», οι παραγόμενες διορθώσεις αλλάζουν ραγδαία σε συνάρτηση με το χρόνο. Επομένως ο δέκτης βάσης πρέπει να παράγει τις διορθώσεις και να τις μεταδίδει στον κινητό δέκτη όσο το συντομότερο δυνατό και με την καλύτερη δυνατή ακρίβεια και αξιοπιστία.

Αυτονόητο είναι ότι η ορθότητα των συντεταγμένων του δέκτη βάσης επηρεάζει άμεσα τις συντεταγμένες του κινητού δέκτη.

Εάν εισαχθεί η θέση του βάσης λανθασμένα προς κάποια συγκεκριμένη κατεύθυνση, τότε όλες οι διορθώσεις που θα υπολογίσει και θα μεταδώσει στον κινητό δέκτη θα είναι κατά τέτοιο τρόπο λανθασμένες ώστε να προσδίνουν στον κινητό δέκτη εντοπισμό θέσης που θα έχει το ίδιο λάθος σε μέγεθος και διεύθυνση όπως ο δέκτης βάσης.

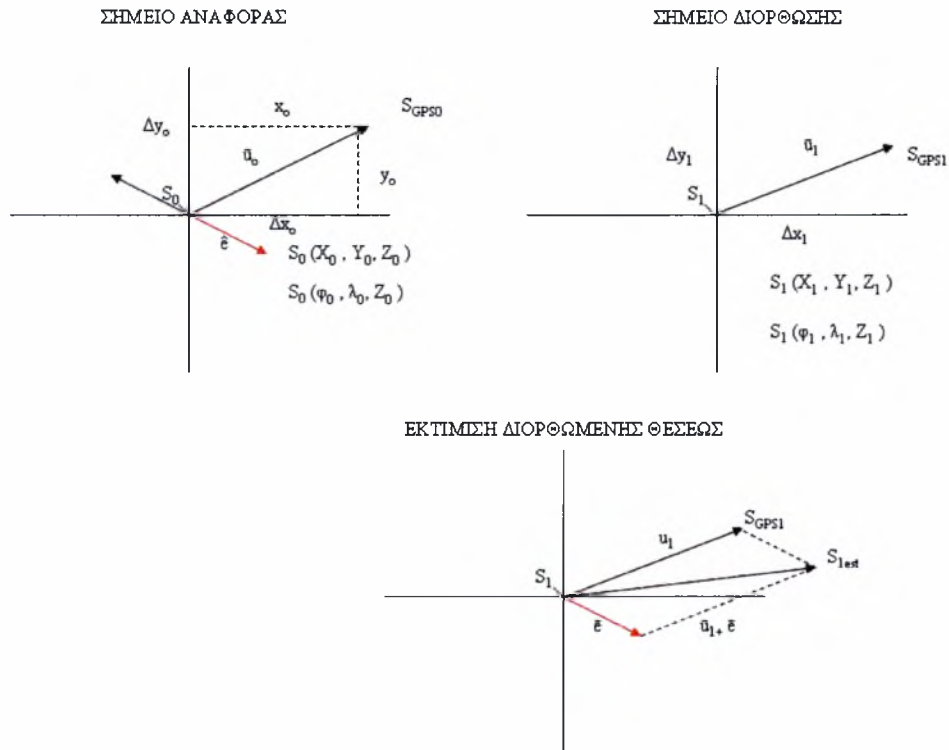
Το διάνυσμα μεταξύ της βάσης και του κινητού δέκτη ονομάζεται διάνυσμα βάσης (baseline). Όταν η βάση είναι μικρή, τότε τα σφάλματα απόστασης των δύο δεκτών προς τους δορυφόρους είναι σχεδόν ίδια, επιτρέποντας τη χρήση των παραγόμενων διορθώσεων από την βάση για τον προσδιορισμό της θέσης του κινητού δέκτη. Όσο αυξάνεται το μήκος της βάσης, τόσο ελαττώνεται η συνοχή των σφαλμάτων απόστασης. Με άλλα λόγια θα προκύπτουν κι εδώ συνεχώς υπολοίποντα σφάλματα στον προσδιορισμό της θέσης του κινητού δέκτη, τα οποία αναμένεται ότι θα αυξάνονται με την αύξηση του μήκους της βάσης.

Στην συνέχεια παρουσιάζεται γραφικά Σχ.11.2α και β η ανάλυση των διανυσμάτων σύμφωνα με την οποία υπολογίζονται οι απαραίτητες εκτιμήσεις διόρθωσης της θέσης του κινητού δέκτη. Η διαδικασία παρουσιάζεται για σύστημα δύο δεκτών GPS όπου ο ένας λειτουργεί πάντα ως σημείο αναφοράς βάση.



Σχ.11.2α Διανυσματική ανάλυση για τον σχετικό στατικό προσδιορισμό θέσης.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η θεωρούμενη μέθοδος έχει αποτέλεσμα όταν εκτιμάται για έναν ικανό πληθυσμό δειγμάτων, ενώ στις περιπτώσεις μία απλής παρατήρησης μπορεί να γίνει υπο/υπερεκτίμηση της θέσεως του κινητού δέκτη, γεγονός όμως που αναιρείται όπως θα δείξουμε στην συνέχεια από την στατιστική εκτίμηση μιας ομάδας μεγαλύτερης ομάδας δειγμάτων.



Σχ.11.2β Διανυσματική ανάλυση για τον σχετικό στατικό προσδιορισμό θέσης.
Περίπτωση υπερεκτίμησης θέσης

Θεωρούμε ελλειψοειδείς/γεωδαιτικές $[\varphi, \lambda, h]$ συντεταγμένες σε (WGS 84) που εναρμονίζονται στο σύστημα αναφοράς World Geodetic System 1984. Όπου φ το γεωγραφικό μήκος, λ το γεωγραφικό πλάτος και h το ύψος.

Οι μονάδες μέτρησης αντίστοιχα εκφράζονται αντίστοιχα για
 φ_0 : [μοίρες.λεπτά], λ_0 : [μοίρες.λεπτά] και για h, Z : [μέτρα]

Ορίζεται ως σταθερό και γνωστό σημείο αναφοράς (Βάση) το $S_0 : (\varphi_0, \lambda_0, h_0)$
Όπου φ_0 : [μοίρες.λεπτα], λ_0 : [μοίρες.λεπτα], h_0 : [μέτρα]

Παραδοχή 1^η

Για τον μετασχηματισμό από ελλειψοειδείς/γεωδαιτικές $[\varphi, \lambda, h]$ συντεταγμένες, σε καρτεσιανές, γεωκεντρικές $[X, Y, Z]$ θεωρείται ότι κάθε σημείο γύρω από το σημείο αναφοράς (βάση) $S_0 : S_0[X_0, Y_0, Z_0]$ μπορεί να εκφρασθεί ως απλή γραμμική σχέση με σταθερούς συντελεστές μετατροπής των ελλειψοειδών/γεωδαιτικών συντεταγμένων σε καρτεσιανές γεωκεντρικές ως ακολούθως:

$$X_0 = c_x \cdot \varphi_0, \quad Y_0 = c_y \cdot \lambda_0, \quad Z_0 = c_z + h_0$$

Όπου c_x, c_y, c_z : θεωρώ σταθερούς συντελεστές μετατροπής υπολογισμένους για το γεωγραφικό μήκος και πλάτος της βάσης, σταθερούς για μικρές γεωγραφικές αποκλίσεις από αυτή. Ειδικότερα για την μετατροπή αντίστοιχα από πρώτα λεπτά της μοίρας σε μέτρα:

α. Ο συντελεστής $c_x = 1850.377$ [μέτρα/πρώτο λεπτό της μοίρας] υπολογίζεται μεν για την ζώνη του ισημερινού (equator) αλλά δεν μεταβάλλεται για οποιαδήποτε γεωγραφικό πλάτος και μήκος, και

β. Ο συντελεστής $c_y = 1436.292$ [μέτρα/πρώτο λεπτό της μοίρας] τον οποίο θεωρώ σταθερό για σχετικά μικρές αποκλίσεις γύρω από το γεωγραφικό πλάτος του σημείου αναφοράς (δηλαδή $32^\circ 22'$ North) υπολογίζεται $c_y = 1436.292$ [μέτρα/λεπτό της μοίρας]

γ. Ο συντελεστής (c_z) τον οποίο θεωρώ πρακτικά σταθερό και ίσο με το μηδέν δηλαδή $Z_0 = h_0$ εφόσον θεωρώ μετρήσεις στην κατακόρυφο απευθείας από GPS που λειτουργούν στο WGS84.

Επίσης ορίζεται το διάνυσμα αποκλίσεων \bar{u}_0 (από το σημείο αναφοράς GPS_0 γνωστής βάσης S_0) ως

$$\bar{u}_0 : (x_0, y_0, z_0)$$

όπου

$$x_0 = \Delta X_0 = X_{GPS_0} - X_0 \quad y_0 = \Delta Y_0 = Y_{GPS_0} - Y_0 \quad z_0 = \Delta Z_0 = Z_{GPS_0} - Z_0$$

Ορίζεται το διάνυσμα λάθους «error vector» της βάσης (S_0) ως το αντίθετο του διανύσματος των αποκλίσεων \bar{u}_0 του GPS_0 από την βάση (S_0): ($\bar{e} = -\bar{u}_0$)

$\bar{e} [e_x, e_y, e_z]$ το αντίθετο του διανύσματος διαφορών του GPS_0 από το σημείο αναφοράς (βάση)

Ορίζεται επίσης το $S_1 (\varphi_1, \lambda_1, h_1)$ ως το σημείο εκτίμησης της διόρθωσης.

Το σημείο S_1 αποτελεί λοιπόν γνωστό σημείο το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό των αποκλίσεων των εκτιμώμενων θέσεων S_{1est} από το σημείο αυτό.

Μετασχηματισμός του S_1 από ελλειψοειδείς/γεωδαιτικές $[\varphi_1, \lambda_1, h_1]$ συντεταγμένες, σε καρτεσιανές / γεωκεντρικές $S_1 : (X_1, Y_1, Z_1)$

$$\text{Όπου } X_1 = c_x \varphi_1, \quad Y_1 = c_y \lambda_1, \quad Z_1 = h_1$$

Ορίζεται το διάνυσμα διαφορών του κινητού δέκτη GPS_1 από το σημείο διόρθωσης S_1 ως

$$\bar{u}_1 : (x_1, y_1, z_1)$$

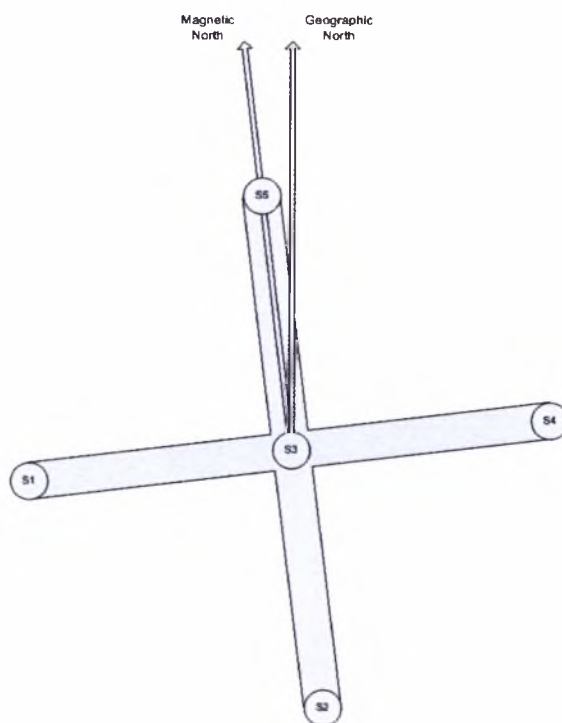
$$\text{όπου } x_1 = \Delta X_1 = X_{\text{GPS1}} - X_1, \quad y_1 = \Delta Y_1 = Y_{\text{GPS1}} - Y_1, \quad z_1 = \Delta Z_1 = Z_{\text{GPS1}} - Z_1$$

Για τον προσδιορισμό της διορθωμένης θέσης $S_{1\text{est}}$ του κινητού δέκτη GPS₁ χρησιμοποιείται η παρακάτω σχέση :

$$S_{1\text{est}} = S_1 + (\bar{u}_1 + \bar{e})$$

όπου $(\bar{u}_1 + \bar{e})$ ισοδυναμεί με την διόρθωση για το σημείο S_1

$$\bar{u}_{1\text{est}} = \bar{u}_1 + \bar{e}$$



	S1	S2	S3	S4	S5
S1		35 27	24 98	49 91	35 58
S2	35 27		24 97	35 41	50 01
S3	24 98	24 97		24 93	25 05
S4	49 91	35 41	24 93		35 05
S5	35 58	50 01	25 05	35 05	

Σχ.11.3 Η διάταξη του πεδίου διεξαγωγής του πειράματος για το σχετικό στατικό προσδιορισμό θέσης και ο πίνακας με τις σχετικές αποστάσεις των βάσεων σε μέτρα.

Σημείωση: Ως σημείο αναφοράς (S₀) για την συγκεκριμένη διάταξη θεωρείται το σημείο S3 (Κέντρο) του τετραπλεύρου.

12. Οργάνωση του πειράματος

Το πρόβλημα του οποίου η επίλυση θα επιχειρηθεί στη συνέχεια μπορεί να επιλυθεί θεωρώντας ένα δέκτη βάσης (GPS1) σταθερό και ένα δεύτερο δέκτη (GPS2). Στην συγκεκριμένη εργασία θεωρούνται όλοι οι δέκτες ότι παραμένουν σταθεροί καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων (στατικό πρόβλημα).

Για την διεξαγωγή του πειράματος (συλλογή, αξιολόγηση και την αρχειοθέτηση των απαιτούμενων πειραματικών δεδομένων) χρησιμοποιήθηκαν, οι δορυφορικοί δέκτες GPS/L1 (GARMIN 18-5Hz / NMEA0183),



Συγκεκριμένα αρχικά αξιολογήθηκαν τρεις (3) δέκτες GPS του οίκου Garmin τύπου 18-5Hz με δυνατότητα δειγματοληψίας έως 5Hz, δηλαδή 5 στίγματα X.Y.Z ανα δευτερόλεπτο). Οι συσκευές GPS1, GPS2 και GPS3 μπορούν να επικοινωνούν ταυτόχρονα με τις αντίστοιχες σειριακές θύρες (RS-232) του H/Y και ρυθμίσθηκαν έτσι ώστε να λαμβάνουν έκαστη πέντε (5) μετρήσεις το δευτερόλεπτο. Η ονομαστική ακρίβεια των συγκεκριμένων GPS (βλέπε παράρτημα) είναι κάτω των 15 μέτρων για το 95% των μετρήσεων. Η σειρά και το μέγεθος των προτάσεων που αποστέλλονται από τα GPS (πρωτόκολλο NMEA 0183) είναι η ακόλουθη.

Sentence	Output by Default?	Maximum Characters
GPRMC	✓	74
GPGGA	✓	82
GPGLL	✓	66
GPGSV	✓ (PC and LVC only)	70
PGRME	✓ (PC and LVC only)	35
GPVTG	✓ (18-5Hz only)	42
PGRMV		32
PGRMF		82
PGRMB	✓ (PC and LVC only)	40
PGRMT	Once per minute	50

Από τις παραπάνω προτάσεις NMEA 0183 για το συγκεκριμένο πείραμα θα χρειασθούν δεδομένα μόνο από τις 5 πρώτες προτάσεις του πίνακα.

Επίσης δύο H/Y συνδεδεμένοι μέσω τοπικού δικτύου (LAN), ο πρώτος για την απευθείας συλλογή των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο (1-3 δέκτες) και ο δεύτερος για την αξιολόγηση, την καταγραφή και την ανάλυση τους. Οι δέκτες θεωρούνται ότι χρονίζονται από το ρολόι του δορυφόρου. Στην πράξη βέβαια λόγω της χαμηλότερης ακρίβειας του ρολογιού του δέκτη, παρατηρούνται υπολογίσιμες αποκλίσεις (time shift) της τάξης των μερικών χιλιοστών του δευτερολέπτου, γεγονός που εισάγει επιπλέον υπολογιστικά σφάλματα ιδιαίτερα στην επίλυση του κινηματικού προβλήματος. Για την βελτίωση της προσδοκώμενης θέσης του κινητού δέκτη για κάθε χρονική στιγμή χρησιμοποιείται το άνυσμα της απόκλισης του δέκτη αναφοράς από τη σταθερή βάση, όπως αναλύθηκε προηγουμένως, τηρουμένων των υποθέτοντάς ότι:

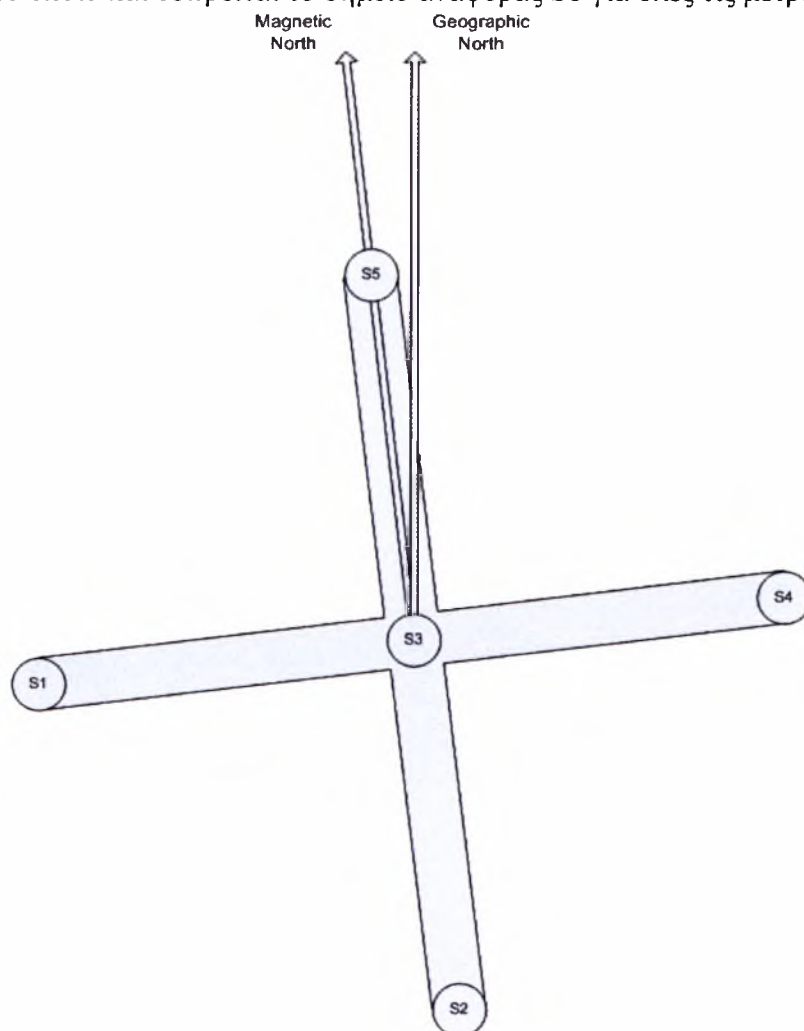
- οι συγκρινόμενοι δέκτες (του ίδιου τύπου) είναι χρονισμένοι,
- λειτουργούν κάτω από το ίδιο ακριβώς λειτουργικό σύστημα και
- χρησιμοποιούν για την επίλυση του προβλήματος τον ίδιο αλγόριθμο και το ίδιο σετ δορυφόρων.

Επίσης ο αριθμός και η θέση των χρησιμοποιούμενων δορυφόρων είναι η κυριότερη παράμετρος για αξιόπιστα αποτελέσματα μιας και καθορίζουν το γεωμετρικό μέτρο ακρίβειας (GDOP). Στην περίπτωση του συγκεκριμένου πειράματος τα δεδομένα που θεωρήθηκαν ως έγκυρα (valid) για κάθε μέτρηση προέρχονταν από 6 τουλάχιστον ταυτόχρονους δορυφόρους, με γεωμετρικό μέτρο ακρίβειας $DOP < 3$.

Ωστόσο κατά την εφαρμογή όλες οι μετρήσεις βρέθηκε ότι μας έχουν ικανοποιητικά μέτρα PDOP, HDOP και VDOP (< 2) κι έτσι θεωρούνται αξιόπιστες και χρήσιμες για τις ανάγκες του πειράματος.

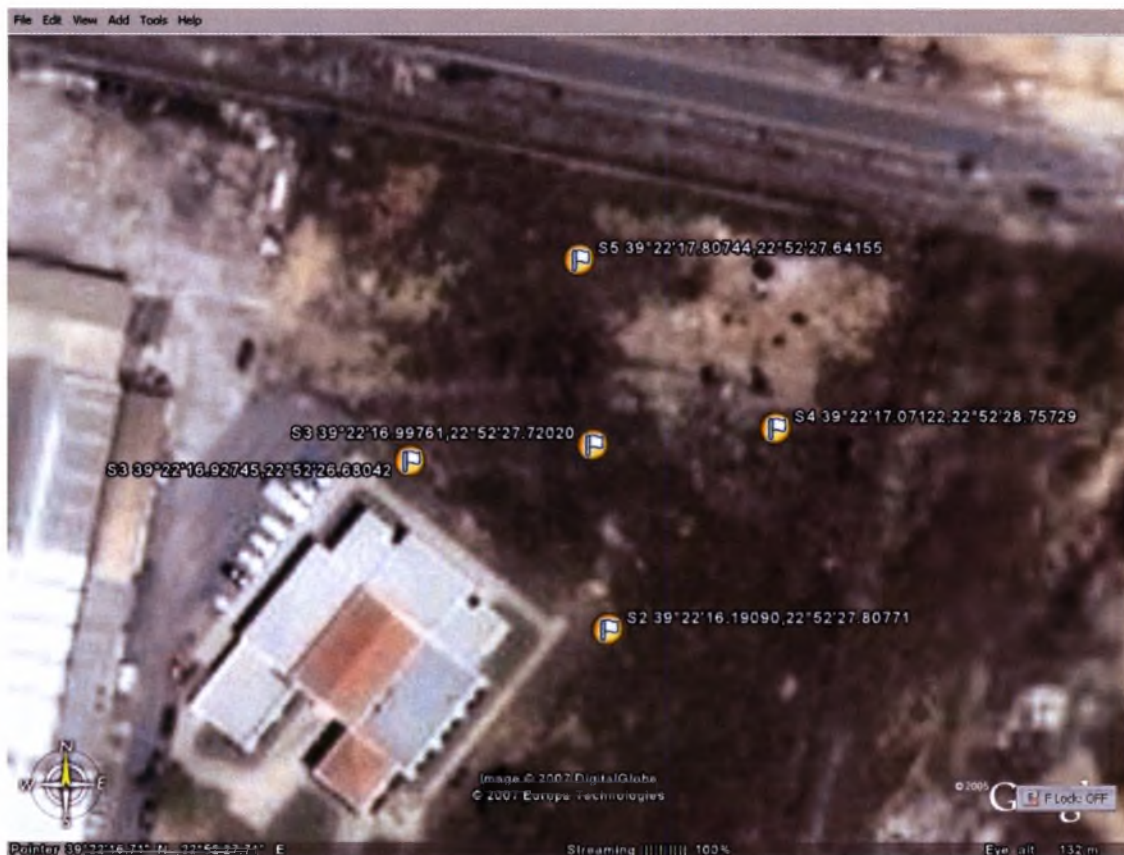
Πρέπει βέβαια να λάβουμε σοβαρά υπόψη μας σφάλματα τα οποία προέρχονται από το φαινόμενο της πολυδιαδρομής και του επιπλέον θορύβου, καθώς οι μετρήσεις μας πραγματοποιήθηκαν σε περιοχή όπως φαίνεται στο **σχήμα 13.1**, 13.3, όχι σε απόλυτα ανοιχτό ορίζοντα, αλλά εν μέρη ανάμεσα σε κτίρια τα οποία βρίσκονται μέσα σε βιομηχανική περιοχή με πιθανή παρουσία ηλεκτρομαγνητικού θορύβου (συστήματα παραγωγής ενέργειας, βολταϊκά τόξα, ηλεκτροκινητήρες μεγάλης ισχύος κλπ).

Τα σταθερά σημεία (βάσεις) σε σχέση με τα οποία έγιναν οι απαραίτητες διορθώσεις ορίστηκαν ούτως ώστε να σχηματίζουν ένα τετράγωνο (S1, S2, S4, S5) με κέντρο στο (S3) το οποίο και θεωρείται το σημείο αναφοράς S₀ για όλες τις μετρήσεις.



	S1	S2	S3	S4	S5
S1		35.27	24.98	49.91	35.58
S2	35.27		24.97	35.41	50.01
S3	24.98	24.97		24.93	25.05
S4	49.91	35.41	24.93		35.05
S5	35.58	50.01	25.05	35.05	

Σχ.12.1 Γραφική απεικόνιση πεδίου μετρήσεων καθώς και οι αποστάσεις σε μέτρα μεταξύ των γνωστών μας σημείων



Σχ.12.2 Απεικόνιση και γεωγραφικές συντεταγμένες των σταθερών σημείων πάνω σε χάρτη (εικόνα από το Google Earth). Στο κάτω αριστερά τμήμα της εικόνας φαίνεται σε κάτοψη το Τεχνολογικό Πάρκο Θεσσαλίας καθώς και τμήμα του Βιομηχανοστασίου του.

Σημείωση: Τον ακριβή προσδιορισμό των σημείων πραγματοποίησε συνεργείο τοπογράφων της εταιρείας ΓΕΩΑΝΑΛΥΣΗ ΑΕ, με την χρήση διαφορικού GPS και την ανάρτηση των σημείων από σταθερό τριγωνομετρικό σημείο της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (Τ51) εντός της Βιομηχανικής Περιοχής Βόλου.

Στην συνέχεια παρατήθεται ο πίνακας με όλα τα στίγματα προσδιορισμένα στο γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς WGS 84. Επιλέχθηκε το WGS84 μιας και αυτό το σύστημα χρησιμοποιούν οι δέκτες GPS που χρησιμοποιήθηκαν για την διεξαγωγή του πειράματος.

Point	WGS84		
	Latitude ϕ_0 (DD,mm,sec.xxxxx)	Longitude λ_0 (DD,mm,sec.xxxxx)	Height Z
S1	39°22'16.92745"N	22°52'26.68042"E	80.64 m 44.604m
S2	39°22'16.19090"N	22°52'27.80771"E	80.46 m 44.493m
S3(ϕ_0, λ_0, Z_0)	39°22'16.99761"N	22°52'27.72020"E	80.53 m 44.114m
S4	39°22'17.07122"N	22°52'28.75729"E	80.13 m 44.423m
S5	39°22'17.80744"N	22°52'27.64155"E	80.15 m 44.090m
Εξάρτηση από τριγωνομετρικό σημείο ΓΥΣ: T51	39°22'28.64722"N	22°51'59.96956"E	168.661m 132.625m

Πίνακας 12.1 Γεωγραφικές συντεταγμένες και υψόμετρο των σταθερών σημείων (S1,S2,S3,S4, & S5) σε μοίρες, πρώτα λεπτά δεύτερα λεπτά και μέτρα αντίστοιχα , πλέον του τριγωνομετρικού σημείου T51 της ΓΥΣ)

Για το συγκεκριμένο πείραμα σε κάθε σύνολο μετρήσεων που πραγματοποιούνται απαιτούνται ταυτόχρονα μόνο δύο (2) δέκτες GPS. Για την ελαχιστοποίηση των λαθών μέτρησης οι δέκτες πρέπει να παρουσιάζουν παρόμοια συμπεριφορά (ιδεατά ταυτόσημη) κάτω από ακριβώς ίδιες συνθήκες λήψης (στο ίδιο σημείο, στον ίδιο χρόνο και από τον ίδιο αριθμό δορυφόρων σε θέα), ωστόσο για λόγους κατασκευαστικών ατελειών, παρεμβολών, πολυδιαδρομής λόγω ανακλάσεων του σήματος, ατμοσφαιρικούς αλλά και χρονισμού στη πράξη παρατηρούνται μετρήσιμες και πολλές φορές σημαντικές αποκλίσεις από την ιδεατή συμπεριφορά.

Χρονισμός των δεκτών GARMIN 18/5Hz.

Ως προς τον χρονισμό των δεκτών πρέπει να αναφερθεί ότι οι μονάδες ρυθμίστηκαν ώστε να λαμβάνουν 5 μετρήσεις / δευτερόλεπτο κατανεμημένες στο πεδίο του χρόνου ανά 200ms. Δηλαδή σε ένα κύκλο (1 sec^{-1}) λαμβάνονταν πέντε μετρήσεις στα 0ms, 200ms, 400ms, 600ms και 800ms. Ο κύκλος κάθε μέτρησης συγχρονίζεται με το ρολόι του δέκτη του GPS (χαμηλότερης ακρίβειας από το ρολόι των δορυφόρων). Ωστόσο οι δέκτες δεν είναι μεταξύ τους απόλυτα χρονισμένοι (όπως συμβαίνει στα διαφορικά GPS) αλλά ψευδο-χρονίζονται μόνο με την χρήση του σήματος (L1) που λαμβάνουν από τους δορυφόρους. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την μετατόπιση της κάθε μέτρησης ως προς το ρολόι αναφοράς των δορυφόρων κατά μερικά χιλιοστά του δευτερολέπτου (ms) γεγονός

το οποίο εισάγει μετρήσιμα σφάλματα ακόμη και εάν όλες οι άλλες παράμετροι είναι ταυτόσημες. Για τον λόγο αυτό θεωρούμε ότι έχουμε **ψευδοχρονισμό**, μεταξύ των δεκτών μιάς και η μέθοδος αυτή αποτελεί μία εύκολη και φθηνή λύση που μπορεί να εφαρμοσθεί σε απλούς εμπορικούς δέκτες GPS χωρίς να απαιτούνται ακριβές διατάξεις ή χρήση επιπλέον συχνοτήτων.

Συγκριτική αξιολόγηση των δεκτών

Σύμφωνα με τα παραπάνω για την ταυτοποίηση της συμπεριφοράς των τριών δεκτών GPS ακολουθήθηκε μια διαδικασία συγκριτικής αξιολόγησης. Πρέπει να σημειωθεί ότι και οι τρεις δέκτες ρυθμίσθηκαν να λειτουργούν με τις ίδιες ακριβώς παραμέτρους και με την ίδια έκδοση λογισμικού βασικής λειτουργίας 'firmware'. Επίσης παραγγέλθηκαν από τον κατασκευαστή έτσι ώστε να έχουν συνεχόμενους αριθμούς σειράς κατασκευαστή «serial numbers» για την εξασφάλιση των ελάχιστων κατασκευαστικών διαφοροποιήσεων. Θεωρήθηκαν και συνυπολογίσθηκαν 2 ομάδες μετρήσεων που ελήφθησαν σε τυχαίους χρόνους ως ακολούθως

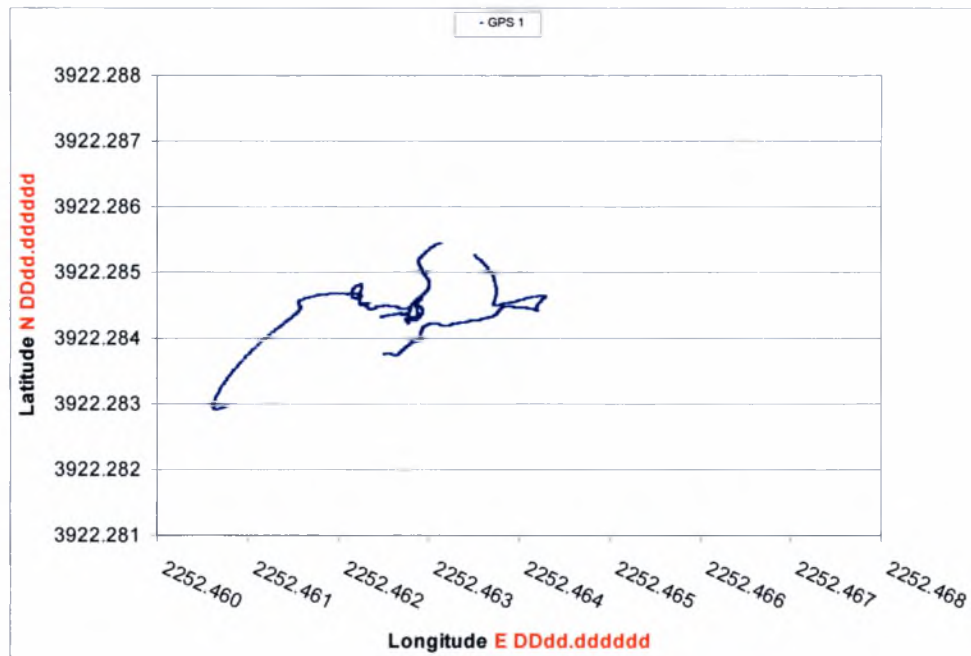
χρόνος μέτρησης		Ημερομηνία Μετρήσεων	ATHENS time
από	έως		
(00:00'00")	(00:59'59")	26/08/2007	18:00-19:00
(01:00'00")	(01:59'59")	27/08/2007	03:00-04:00

Στη συνέχεια παρατίθενται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα για κάθε δέκτη

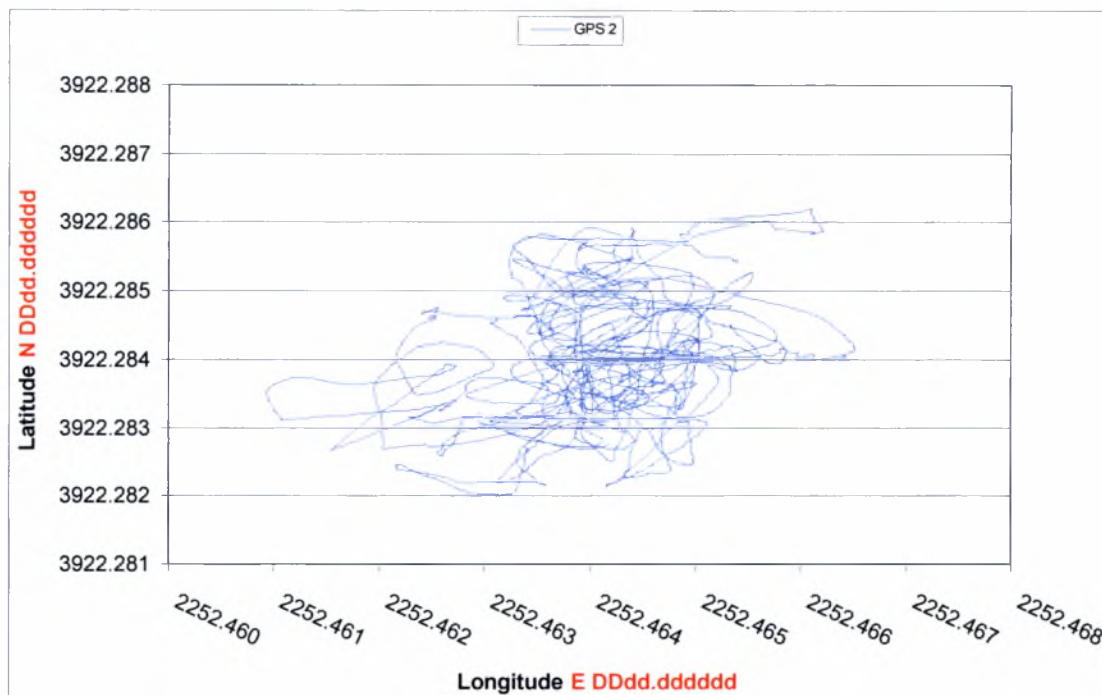
GPS 1							
	N		E DD.dddddd		Elevation(m)	PDOP	Nr.Sats.track
	DDMM.mmmmm	meters		meters			
average	3922.284352		2252.462691		46.82	1.9	7.6
st.dev.	0.000212	0.30	0.000437	0.81	3.10	0.3	0.7
n (valid)	12769		12769		12770	12771	12770
max	3922.285430	1.55	2252.464270	2.92	56.60	2.2	9.0
min	3922.282890	-2.10	2252.460600	-3.87	37.00	1.4	7.0
GPS 2							
	N		E DD.dddddd		Elevation(m)	PDOP	Sats.tracked
	DDMM.mmmmm	meters		meters			
average	3922.283990		2252.464095		49.16	2.0	7.5
st.dev.	0.000885	1.27	0.000846	1.57	3.60	0.3	0.6
n (valid)	15958		15958		15959	15960	15959
max	3922.286200	3.17	2252.466510	4.47	98.30	2.2	9.0
min	3922.282010	-2.84	2252.460930	-5.86	41.60	1.4	7.0
GPS 3							
	STATISTICS N		E DD.dddddd		Elevation(m)	PDOP	Nr.Sats.track
	DDMM.mmmmm	meters		meters			
average	3922.2836787		2252.463593		47.60	0.3	0.7
st.dev.	0.00081968	1.18	0.00102477	1.896	2.49	16160	16159
n (valid)	16157		16157		16160	2.3	9.0
max	3922.287330	5.24	2252.467480	7.19	54.80	1.4	7.0
min	3922.281570	-3.03	2252.460950	-4.89	40.50		

Πίνακας 12.2 Συγκεντρωτικά στατιστικά αποτελέσματα για κάθε δέκτη GPS

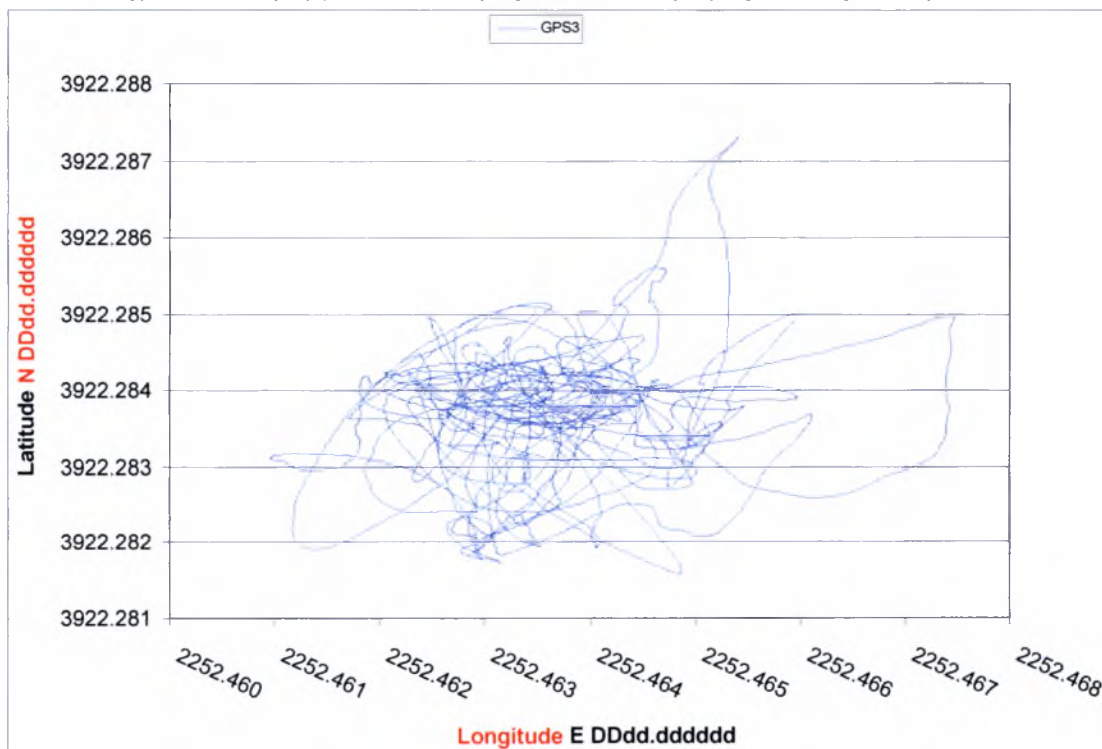
Με βάση τα στοιχεία που συλλέχθηκαν δημιουργήθηκαν συγκριτικά διαγράμματα διασποράς τα οποία παρατίθενται στη συνέχεια.



Σχ.12.3 Διαγράμματα διασποράς X,Y υπολογισμός θέσεως δέκτη GPS I

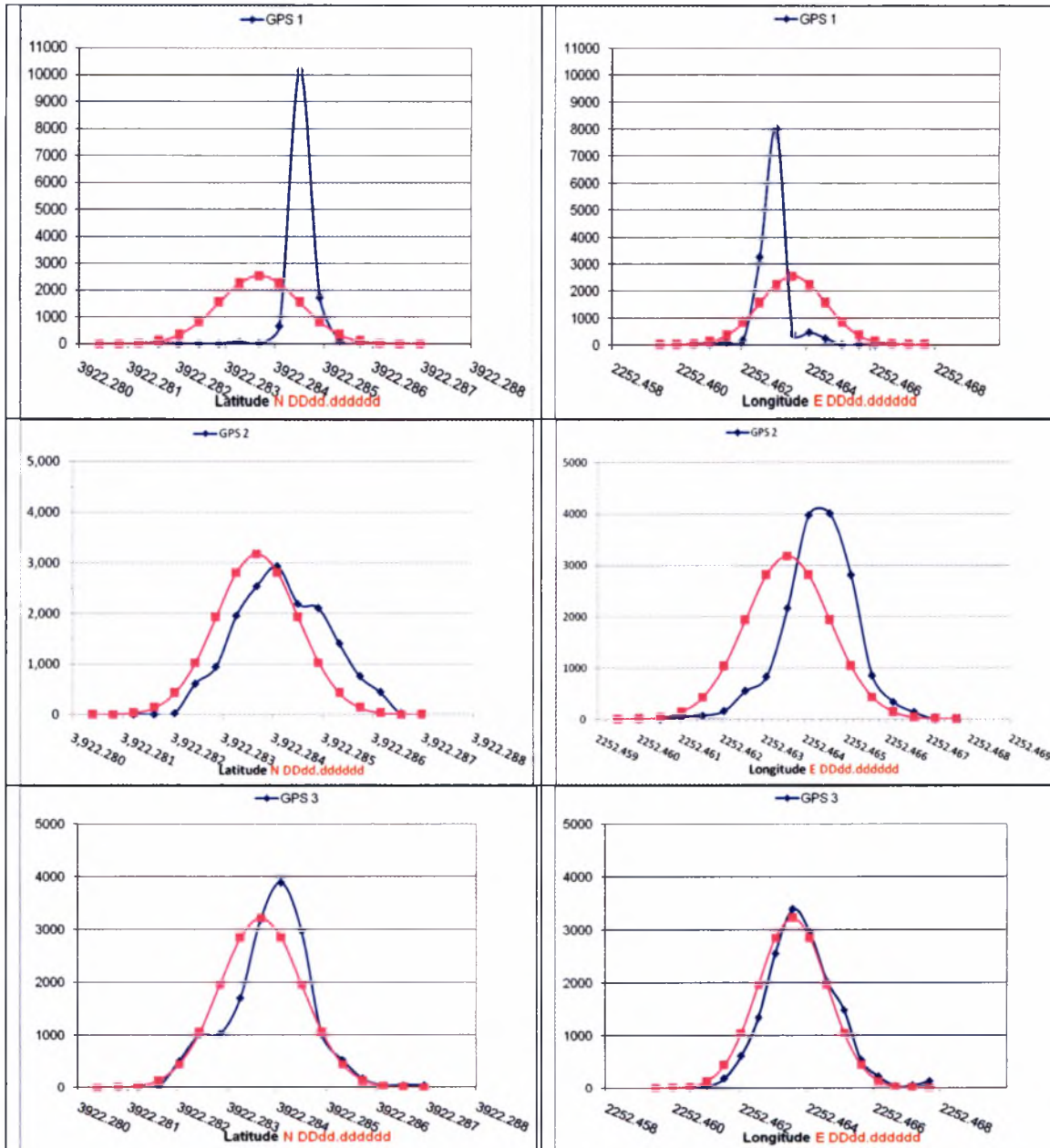


Σχ.12.4 Διαγράμματα διασποράς Χ,Υ υπολογισμός θέσεως δέκτη GPS2



Σχ.12.5 Διαγράμματα διασποράς Χ,Υ υπολογισμός θέσεως δέκτη GPS13

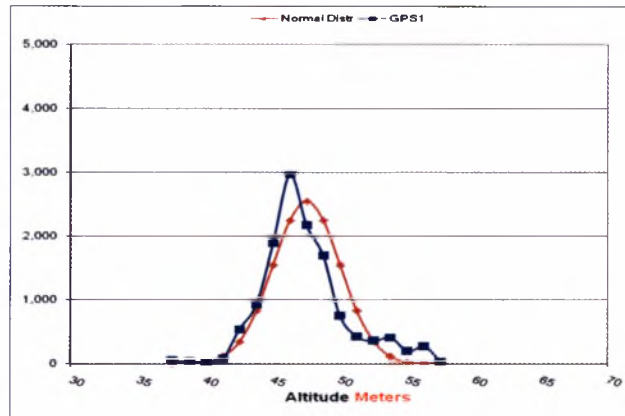
Έλεγχος προσαρμογής δείγματος στην κανονική κατανομή N_i (μ_i , σ_i)



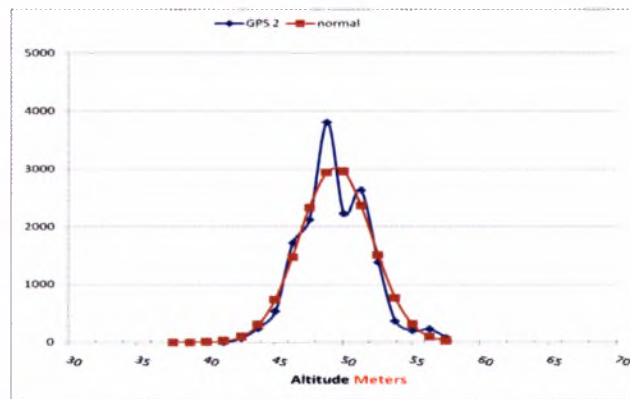
Σχ.12.6 Διαγράμματα προσαρμογής δείγματος εκτίμησης θέσης (X,Y) στην κανονική κατανομή για τους δέκτες GPS1, GPS2 και GPS3

Για την συγκριτική αξιολόγηση των δεκτών έγινε η υπόθεση ότι τα δείγματα προσαρμόζονται σε κανονική κατανομή N_i (μ_i , σ_i) με μέση τιμή και τυπική απόκλιση που υπολογίστηκαν με βάση το πληθυσμό του κάθε δείγματος. Βλέπε πίνακα ()

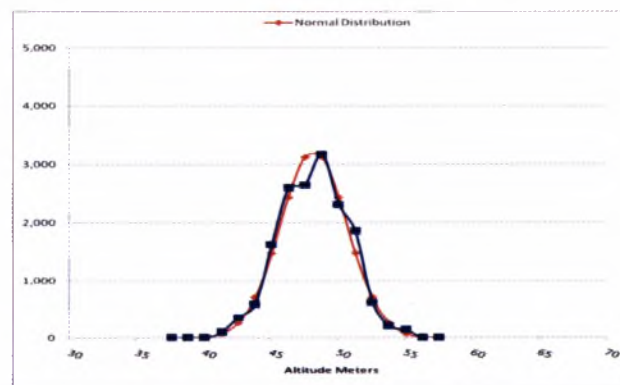
Από το παραπάνω συγκριτικά διαγράμματα κατανομών συχνοτήτων για τους δέκτες GPS 1, 2 και 3, είναι φανερό ότι εμφανίζουν μία λοξότητα ως προς την κανονική κατανομή, ωστόσο οι δέκτες 2 & 3 αν και εμφανίζουν θετική λοξότητα ωστόσο συνεκτιμώντας την μορφή των διαγραμμάτων διασποράς τους φαίνεται ότι έχουν παρεμφερή συμπεριφορά. Πρέπει να σημειωθεί εδώ ότι ο δέκτης GPS 1 αν και παρουσιάζει σημαντικά μικρότερες αποκλίσεις από την μέση τιμή του X και Y απ' ότι οι άλλοι δύο εντούτοις δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τις ανάγκες του πειράματος, μιας και απαιτούνται τουλάχιστον 2 δέκτες παρόμοιων αποκρίσεων.



GPS 1



GPS 2

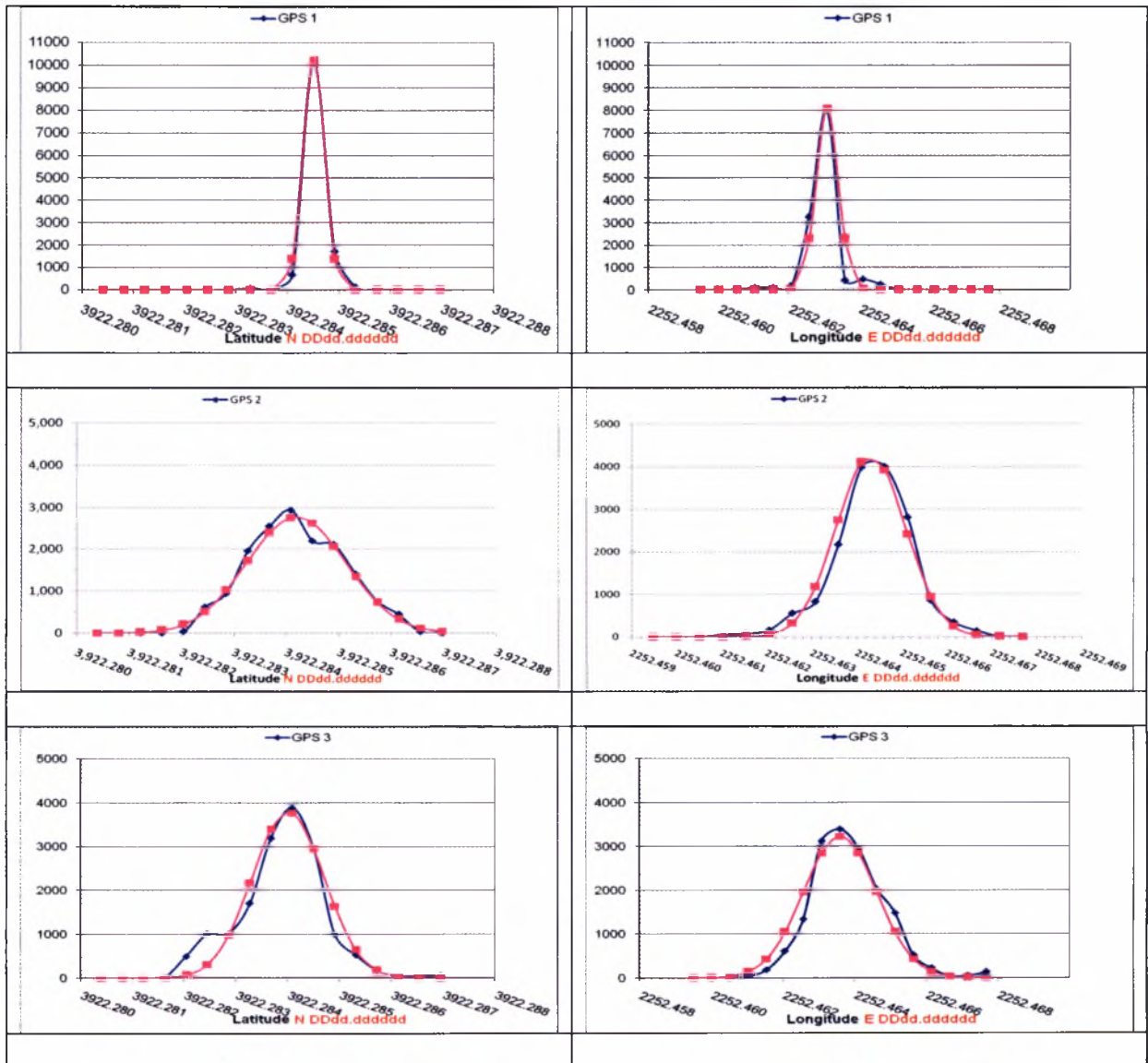


GPS 3

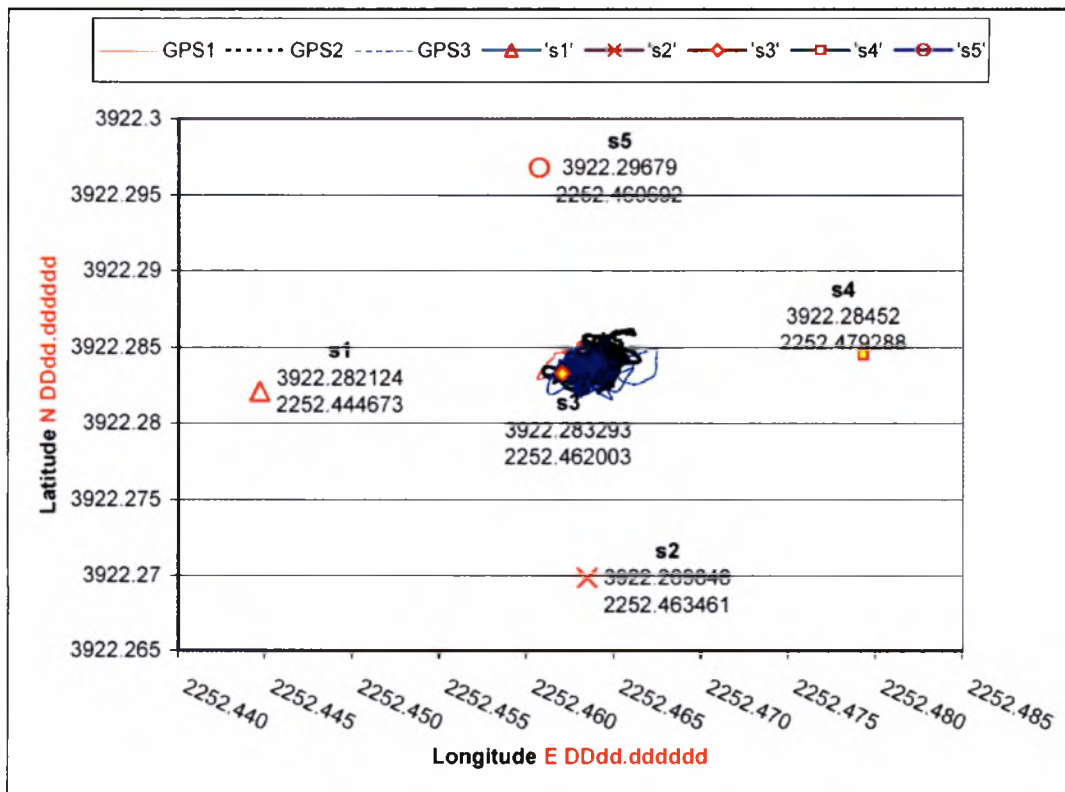
Σχ.12.7 Διαγράμματα προσαρμογής δείγματος εκτίμησης του ύψους στην κανονική κατανομή για τους δέκτες GPS1, GPS2 και GPS3

Παρατηρείται επίσης ότι στις στατιστικές αποκρίσεις για το υψόμετρο οι δέκτες 1, 2 και 3 παρουσιάζουν παρόμοια συμπεριφορά προσαρμοζόμενοι εν γένει αρκετά καλά στην κανονική κατανομή.

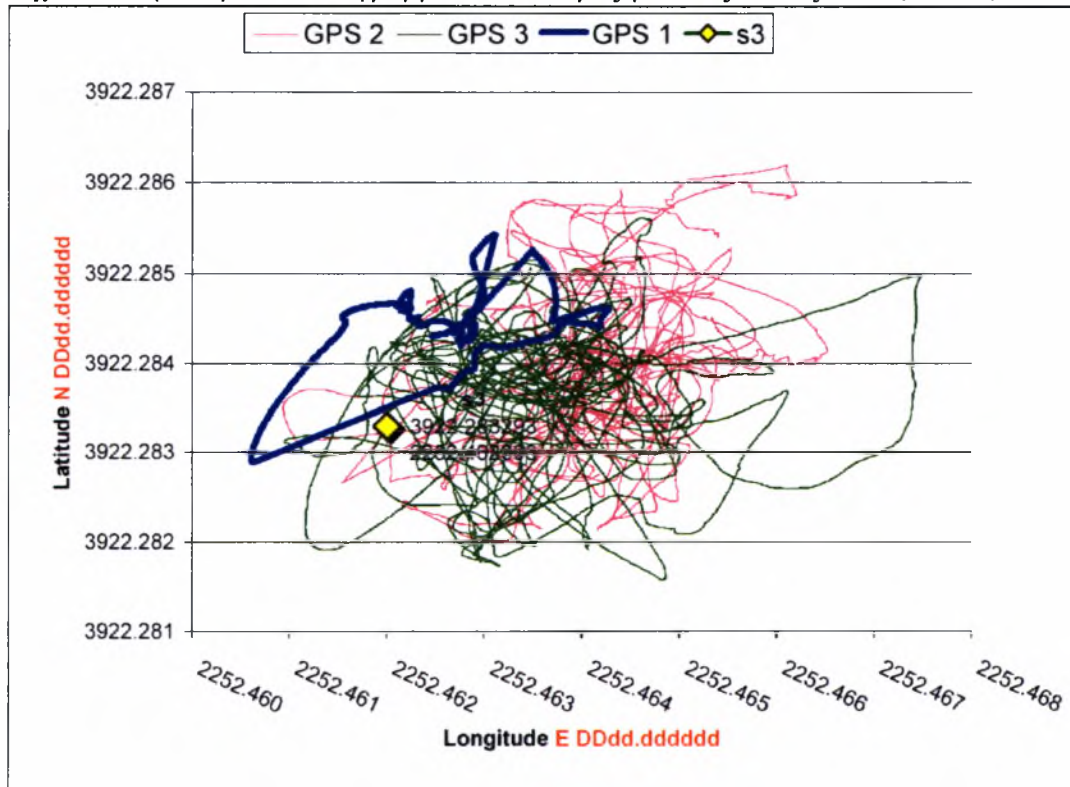
Στη συνέχεια και βασιζόμενοι στον έλεγχο χ^2 έγινε προσπάθεια για την εύρεση των κανονικών κατανομών που ταυτίζονται βέλτιστα με τις τιμές των δειγμάτων. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται γραφικά στα γραφήματα που ακολουθούν ενώ παρατίθενται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα στον πίνακα ()



Σχ.12.8 Διαγράμματα βέλτιστης προσαρμογής δείγματος εκτίμησης θέσης (X,Y) στην κανονική κατανομή για τους δέκτες GPS1, GPS2 και GPS3



Σχ.12.9 Συγκεντρωτικά διαγράμματα διασποράς για τους δέκτες GPS1, GPS2, GPS3



Με βάση λοιπόν την παραπάνω ανάλυση για τους σκοπούς του συγκεκριμένου πειράματος επιλέχθηκαν οι δέκτες GPS2 ως δέκτης βάσης και GPS 3 ως ο δέκτης του σημείου διόρθωσης.

Σημείωση : Για την αποφυγή σύγχυσης από εδώ και πέρα θα θεωρούνται μόνο οι δύο αυτοί δέκτες, όπου ο GPS2 μετονομάζεται σε GPS1ως δέκτης βάσης του σημείου S₀, και ο GPS3 μετονομάζεται σε GPS1ως δέκτης διόρθωσης του σημείου S₁.

13. Το περιβάλλον LabVIEW

Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench

Το LabVIEW (*Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*) διαθέτει ένα περιβάλλον ανάπτυξης εφαρμογών που βασίζεται στον γραφικό προγραμματισμό της γλώσσας G. Το LabVIEW έχει δυνατότητα επικοινωνίας με αρκετά διαφορετικά πρωτόκολλα και με διαφορετικά συστήματα 'hardware' όπως GPIB, VXI, PXI, RS-232, RS485, καθώς επίσης και με συστήματα 'κάρτες' συλλογής δεδομένων τεχνολογίας 'plug-in'. Διαθέτει επίσης και βιβλιοθήκες 'Libraries' για χρήση των δυνατοτήτων δικτύωσης 'TCP/IP networking, ActiveX'.

Χρησιμοποιώντας το LabVIEW μπορούμε να δημιουργήσουμε προγραμματισμένες διαδικασίες για την συλλογή και επεξεργασία των στοιχείων-δεδομένων του πειράματός μας (ιδιαίτερα κώδικες 32bit που προσφέρουν γρήγορες εκτελέσεις οι οποίες είναι απαραίτητες για data acquisition, test και μετρήσεις). Επίσης μπορούμε να δημιουργήσουμε αυτόνομες εκτελέσεις, για μια συγκεκριμένη εφαρμογή του LabVIEW. Για την χρήση του LabVIEW χρειάζεται μια σχετικά μικρή γνώση προγραμματισμού, μιάς και χρησιμοποιεί ορολογία, εικονίδια (icons) και ιδέες φιλικές στους τεχνικούς και τους μηχανικούς και ο προγραμματισμός του βασίζεται σε μεγάλο μέρος πάνω σε γραφικά σύμβολα τα οποία είναι σύμφωνα προς την περιγραφή της ενέργειας που θέλουμε να προγραμματίσουμε.

Ο προγραμματισμός σε περιβάλλον LabVIEW μπορεί να ποικίλει από απλούς κώδικες έως και ολοκληρωμένα πακέτα ιδιαίτερα ισχυρά.

Το LabVIEW περιέχει σειρά έτοιμων βιβλιοθηκών για συλλογή δεδομένων, ανάλυση, παρουσίαση και αποθήκευση αυτών. Περιλαμβάνει επίσης και παραδοσιακά προγράμματα ανάπτυξης κώδικα. Μπορούμε να τοποθετήσουμε σημεία διακοπής (breakpoints), να παρακολουθήσουμε με προγράμματα κίνησης την πορεία εκτέλεσης του βασικού κώδικα - προγράμματος, βηματική εκτέλεση του προγράμματος για τον εντοπισμό σφαλμάτων (debugging) για πιο εύκολο προγραμματισμό. Επίσης διαθέτει μια πολύ ισχυρή σειρά εργαλείων για την γραφική απεικόνιση των δεδομένων μας σε στατική ή δυναμική μορφή καθώς επίσης και την δημιουργία οθονών για την

παρουσίαση, την εισαγωγή εντολών/ δεδομένων και την παρουσίαση των αποτελεσμάτων καθώς και της όλης εξέλιξης του πειράματος σε ένα πλήρως διαδραστικό περιβάλλον.

Στο πλαίσιο της εργασίας αυτής χρησιμοποιήθηκαν εκτενώς οι δυνατότητες του συγκεκριμένου λογισμικού και δημιουργήθηκε ένα ολοκληρωμένο – αυτοτελές λογισμικό, αποτελούμενο από μια σειρά εργαλείων (κώδικες συλλογής & επεξεργασίας δεδομένων, διαδραστικό περιβάλλον χρήστη) με δυνατότητες σύνδεσης τοπικά ή μέσω δικτύου H/Y σε σειρά δεκτών GPS για την συλλογή των πειραματικών δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Πρέπει να σημειωθεί ότι η χρήση του συγκεκριμένου περιβάλλοντος έδωσε μεν σημαντική ευελιξία και εξοικονόμηση χρόνου προγραμματισμού, ωστόσο για πιά σύνθετες-εξειδικευμένες εφαρμογές θα απαιτηθεί συμπληρωματικά η χρήση και άλλων γλωσσών προγραμματισμού όπως (C++, Visual Basic κλπ).

Στη συνέχεια παρουσιάζεται αναλυτικά η οργάνωση του πειράματος και η όλη ανάπτυξη σε περιβάλλον LabVIEW.

13.1 Ανάπτυξη πρωτότυπου λογισμικού σε περιβάλλον LabView V8.0.

Παρουσίαση πειραματικής διάταξης και πρωτότυπου λογισμικού.

Για την πειρατική επαλήθευση και την ποσοτική αξιολόγηση της προτεινόμενης μεθοδολογίας, κατασκευάστηκε πειραματική διάταξη που περιλαμβάνει (3) συσκευές GPS τύπου (GARMIN 18-5Hz) με δυνατότητα δειγματοληψίας 1-5 μετρήσεων / sec. Επίσης χρησιμοποιήθηκαν 2 προσωπικοί H/Y σε περιβάλλον MS-Windows XP Professional, συνδεδεμένοι σε ενσύρματο δίκτυο (LAN 100Mbps) και ενδιάμεσο κατανεμητή (switch).

Για τις ανάγκες του πειράματος αναπτύχθηκε πρωτότυπο λογισμικό σε περιβάλλον προγραμματισμού LabView v.8.

Η ανάλυση και η λειτουργία της διάταξης και του πρωτότυπου λογισμικού που αναπτύχθηκε παρουσιάζονται παρακάτω.

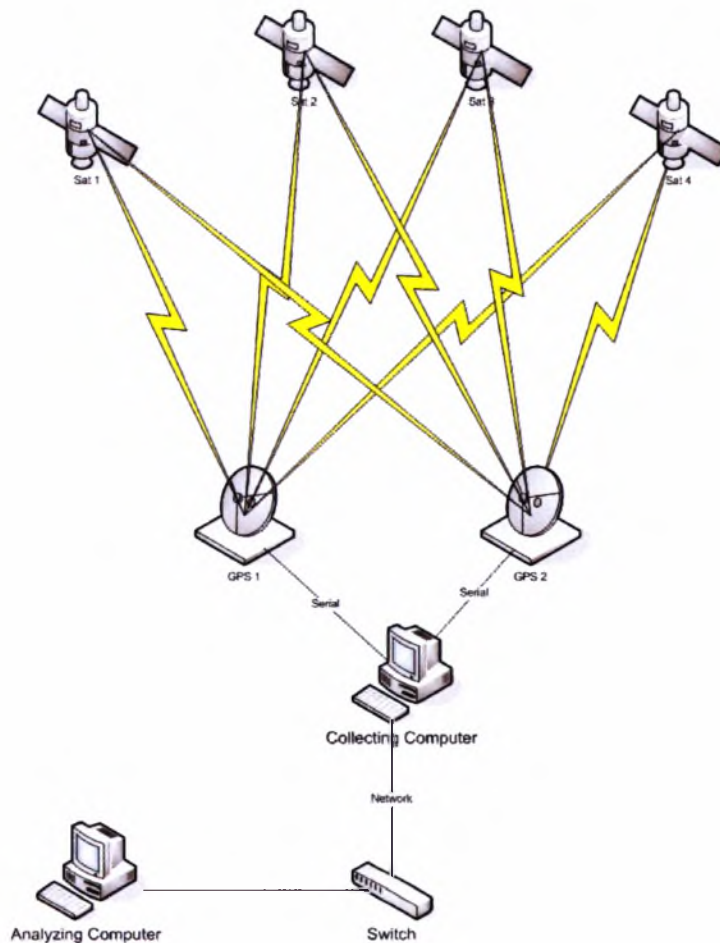
Η πειραματική διάταξη και το λογισμικό που περιγράφεται στο κεφάλαιο αυτό χρησιμοποιήθηκε επίσης για την αξιολόγηση και επιλογή δύο (2) εκ των τριών (3) δεκτών GPS που στην συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν για τις ανάγκες του πειράματος. (Βλέπε κεφάλαιο Ανάλυση – Επιλογή δεκτών GPS)

Πρέπει να σημειωθεί επίσης ότι οι δορυφορικοί δέκτες GPS παραγγέλθηκαν ούτως ώστε να έχουν συνεχόμενους σειριακούς αριθμούς να ανήκουν δηλαδή στην ίδια παρτίδα

παραγωγής ώστε να ελαχιστοποιούν οι μεταξύ τους κατασκευαστικές μικροδιαφορές. Επίσης εφοδιάστηκαν και οι τρεις συσκευές με το ίδιο λειτουργικό 'firmware vx.x.x' και με ταυτόσημη παραμετροποίηση ώστε να ελαχιστοποιηθούν /αποφευχθούν λάθη επικοινωνίας και συλλογής δεδομένων.

Ειδικότερα οι συσκευές παραμετροποιήθηκαν ως ακολούθως:

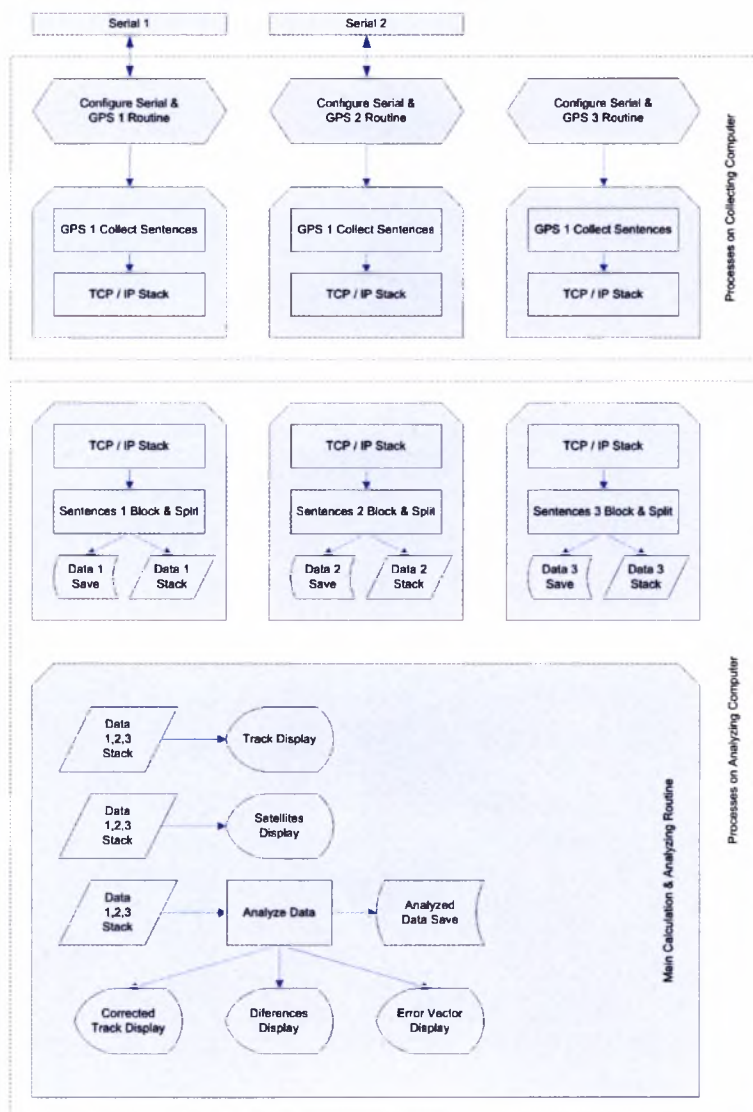
Πραγματοποιήθηκε συλλογή δορυφορικών δεδομένων και έγινε ανάλυση μέσω της πειραματικής διάταξης η οποία φαίνεται στην συνέχεια (εικόνα χ.1):



Σχήμα 13.1 Διάταξη – συνδεσμολογία συσκευών (hardware) πειράματος

Ένας υπολογιστής ο οποίος συλλέγει τα δεδομένα – προτάσεις από τα GPS και τα στέλνει σε έναν δεύτερο υπολογιστή μέσω δικτύου (Collecting computer)

Σε αυτό τον Η/Υ εκτελούνται τρεις λειτουργίες ακριβώς ίδιες μεταξύ τους και οι οποίες περιλαμβάνουν τα εξής :



Σχήμα 13.2 Διάγραμμα ροής πρωτότυπου λογισμικού υποστήριξης της πειραματικής διάταξης (εικόνα χ.1)

- Παραμετροποίηση σειριακών θυρών για :
 - Ποια σειριακή θύρα συνδέθηκε (όνομα).
 - Ταχύτητα σύνδεσης (baud rate).
 - Αριθμό δεδομένων (data bit).
 - Ισοτιμία (parity).
 - Έλεγχο τέλους (stop bit).
 - Έλεγχος ροής (flow control).
- Παραμετροποίηση GPS για :
 - Προτάσεις που θα αποστέλλονται από τα GPS (GPRMC, GPGGA, GPGSA, GPGSV, PGRME).

- Αενάως εκτελούμενα :
 - Συλλογή προτάσεων από τα GPS (έλεγχος τέλους γραμμής).
 - Αποστολή προτάσεων προς το δίκτυο (tcp/ip stack 1, 2, 3).

Ένας υπολογιστής ο οποίος λαμβάνει τα δεδομένα από τον πρώτο υπολογιστή μέσω δικτύου και τα αναλύει. (Analyzing computer)

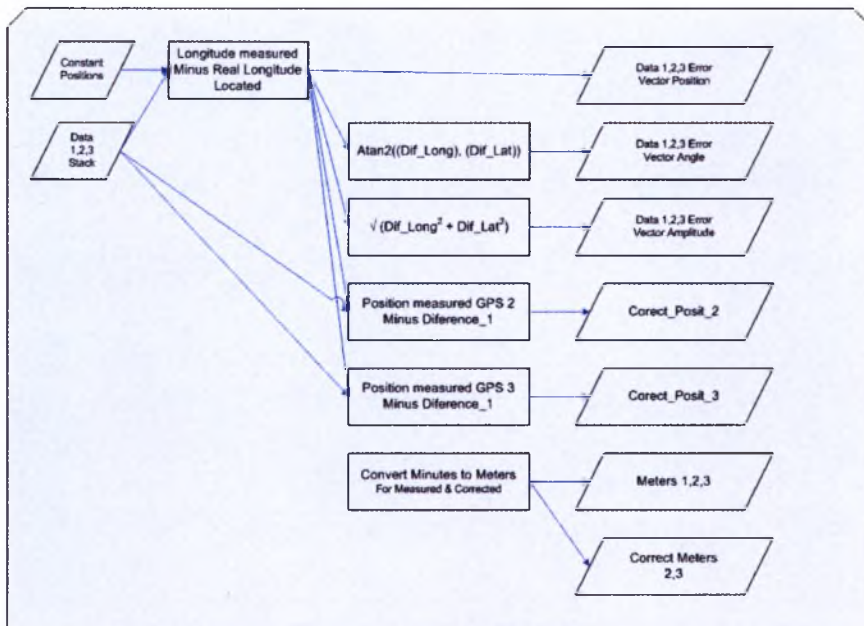
Σε αυτό τον Η/Υ εκτελούνται τέσσερις λειτουργίες, τρεις εκ των οποίων είναι ακριβώς ίδιες μεταξύ τους και οι οποίες περιλαμβάνουν τα εξής :

- Αενάως εκτελούμενα (endless loop) :
 - Συλλογή των προτάσεων από το δίκτυο (tcp/ip stack 1, 2, 3).
 - Ομαδοποίηση προτάσεων με το ίδιο χρονικό πλαίσιο για διαχωρισμό κάθε μέτρησης (από \$GPRMC έως \$PGRME).
 - Εξαγωγή δεδομένων από την κάθε ομάδα προτάσεων και ονομασία τους με ταυτόχρονο έλεγχο (validity : Boolean variable) στην κάθε πρόταση της ίδιας ομάδας για :
 - Εγκυρότητα αθροίσματος ελέγχου (πληρότητας) πρότασης (checksum : procedure).
 - Εγκυρότητα μέτρησης (active or void) (αποστέλλεται από το GPS).
 - Ίδια χρονικά πλαίσια (ανά 5 προτάσεις / 5Hz) (time stamp).
 - Ίδιο στίγμα (Ορθωτήτα στίγματος) (longitude, Latitude).
 - Ίδιο γεωμετρικό μέτρο ακρίβειας μέτρησης (HDOP).
 - Αποθήκευση εξαγομένων και ομαδοποιημένων δεδομένων σε αρχείο διαφορετικό για κάθε GPS (yyymmdd_hh_x : x=(1,2)) με όνομα αρχείου την ημερομηνία, την ώρα της κάθε μέτρησης και τον αριθμό της συσκευής.
 - Απεικόνιση των ταξινομημένων (parsed) και έγκυρων δεδομένων (εικόνα χ.3.0)
 - Καταχώρηση δεδομένων σε προσωρινή μνήμη για την περαιτέρω επεξεργασία (DATA STACK 1, 2, 3).



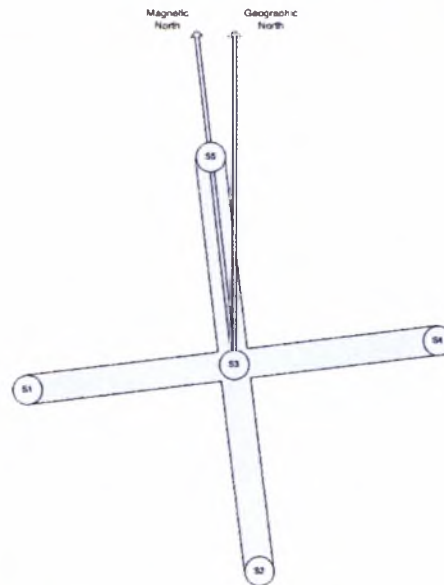
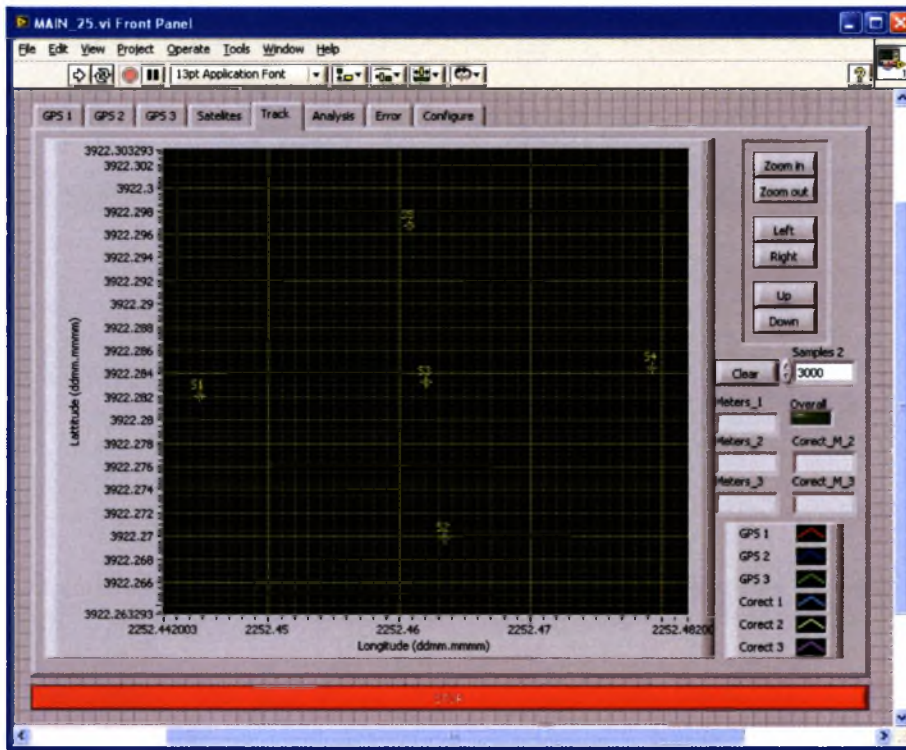
Σχήμα 13.3: Απεικόνιση παραμέτρων ρύθμισης και συλλεχθέντων δεδομένων σε πραγματικό χρόνο για GPS 1,2,3.

Η τέταρτη λειτουργία η οποία κάνει την κυρίως ανάλυση περιλαμβάνει τα εξής :

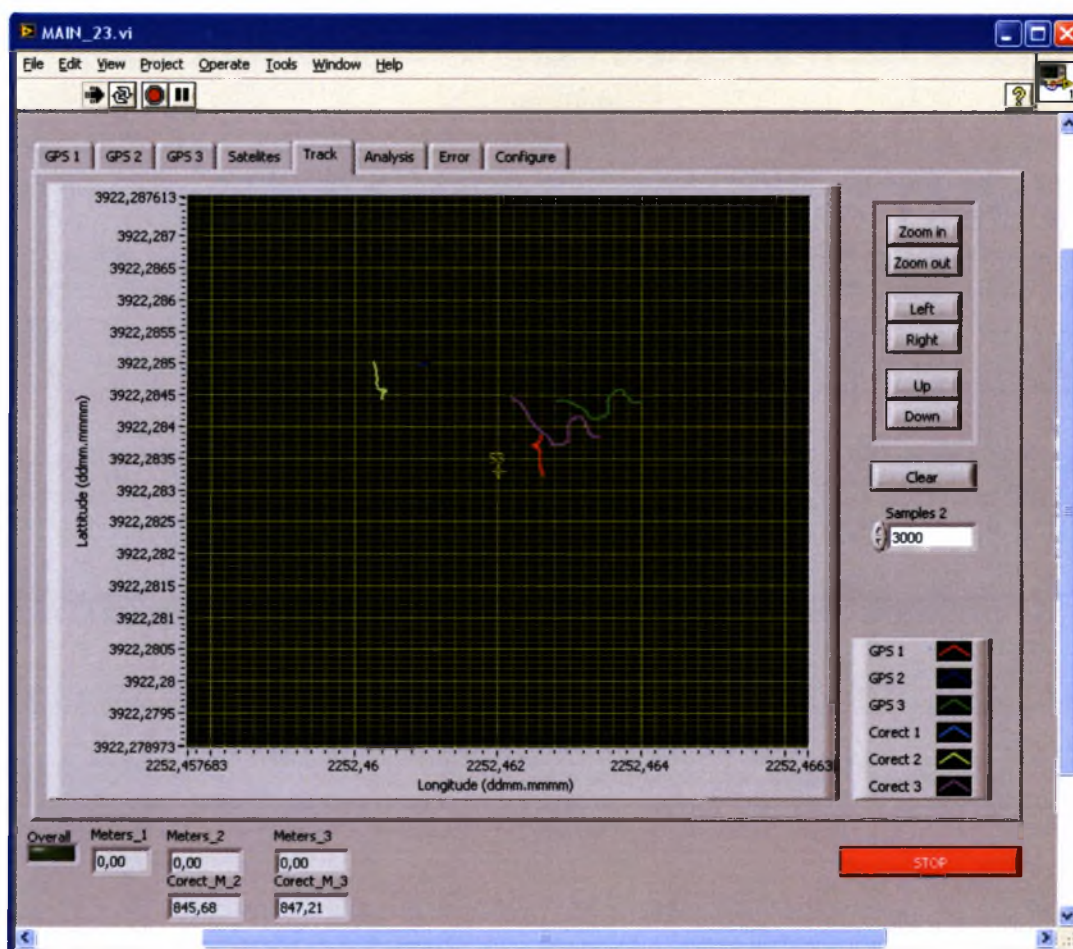


Σχήμα 13.3: Διάγραμμα ροής λογισμικού (ρουτίνας) ανάλυσης δεδομένων και υπολογισμού των παραμέτρων.

- Καταχώρηση του σημείου της νέας θέσεως σε προσωρινή μνήμη περιορισμένου μεγέθους με ταυτόχρονη απεικόνιση (βλέπε εικόνα XX.XX) του ίχνους της διαδρομής σε γραφικό διάγραμμα συντεταγμένων (TRACK 1, 2, 3).

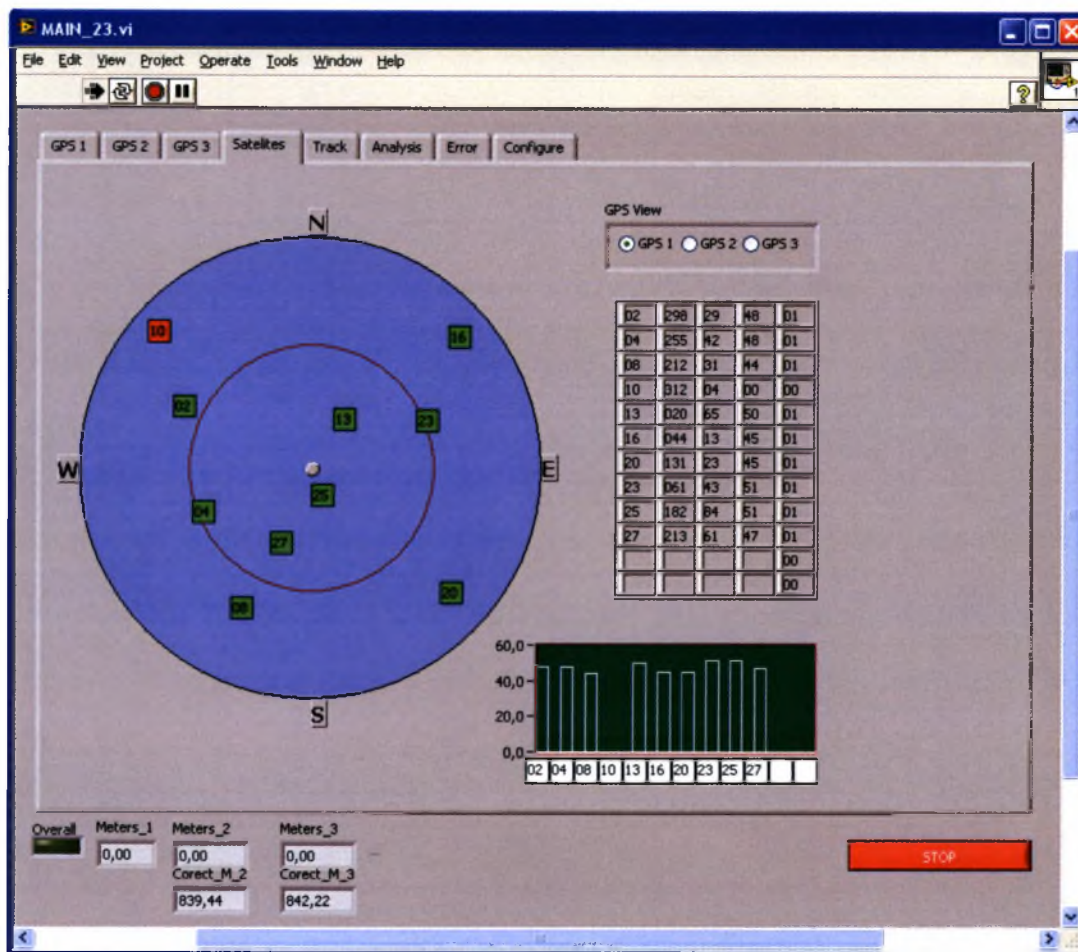


	S1	S2	S3	S4	S5
S1		35.27	24.36	49.91	35.58
S2	25.77		34.37	35.41	50.01
S3	24.98	24.97		24.92	25.05
S4	49.91	35.41	24.92		35.05
S5	35.58	50.01	25.05	35.05	



Σχήμα 13.4: Απεικόνιση ίχνους των διαδρομών των μετρούμενων θέσεων (GPS 1,2,3) και των υπολογισμένων/διορθωμένων (Corrected: 1 (single point, S3), 2 (wrt point S3), 3 (wrt point S3)) σε γραφικό διάγραμμα συντεταγμένων.

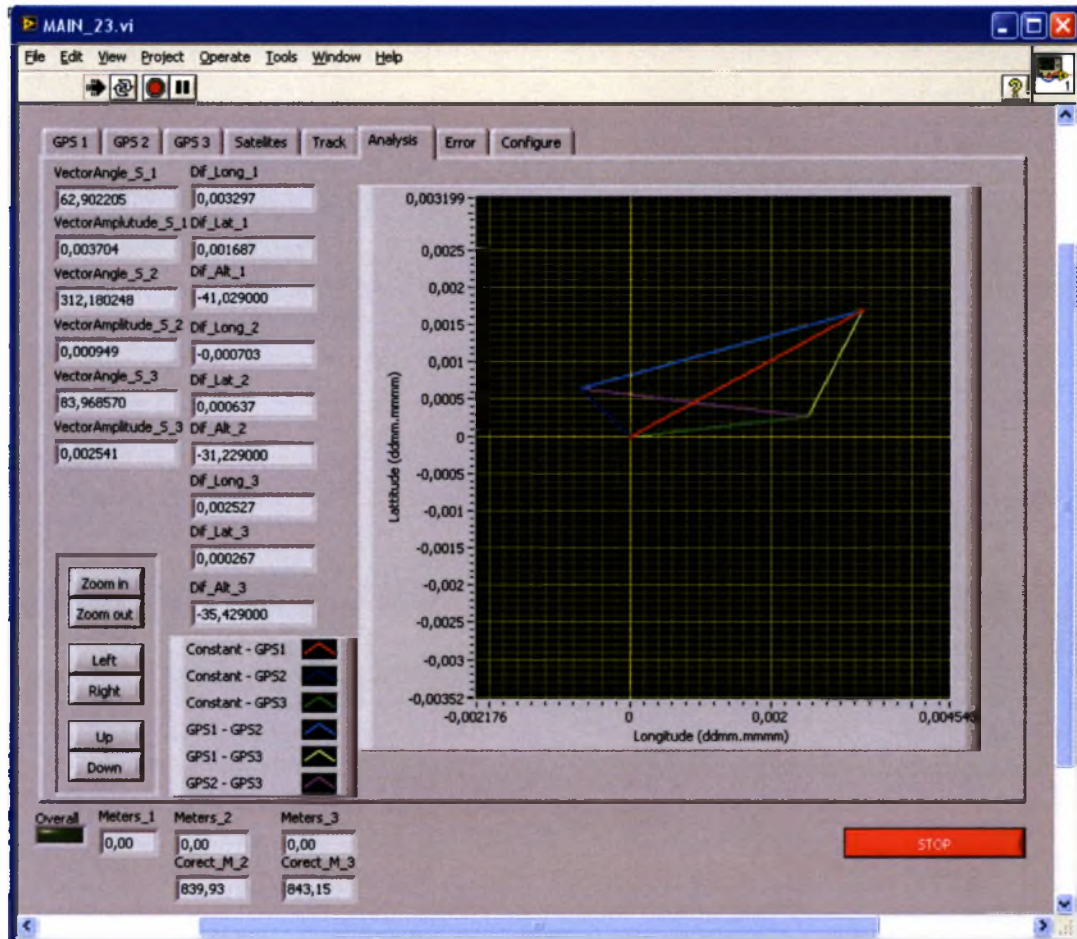
- Ανάλυση των στοιχείων των δορυφόρων και :
 - Απεικόνιση της θέσεως τους σε κυκλικό διάγραμμα του ημισφαιρίου χώρου (εικόνα χ.5) πάνω από το σημείο μέτρησης για κάθε GPS (satellites 1 έως 12) με :
 - Κόκκινο δορυφόροι με χαμηλό σήμα (SNR) πού δεν τους χρησιμοποιεί στην επίλυση.
 - Πράσινο δορυφόρους με υψηλό σήμα πού βλέπει το GPS και τούς χρησιμοποιεί στην επίλυση.
 - Κίτρινο δορυφόρους με υψηλό σήμα πού βλέπει το GPS και δεν τους χρησιμοποιεί στην επίλυση.
 - Απεικόνιση της ισχύος του σήματος πού λαμβάνουν τα GPS (εικόνα χ.5) από αυτούς σε διάγραμμα με ράβδους και σε κλίματα από το 0 έως το 50.



Σχήμα 13.5: Απεικόνιση στοιχείων δορυφόρων σε πραγματικό χρόνο (GPS 1,2,3)

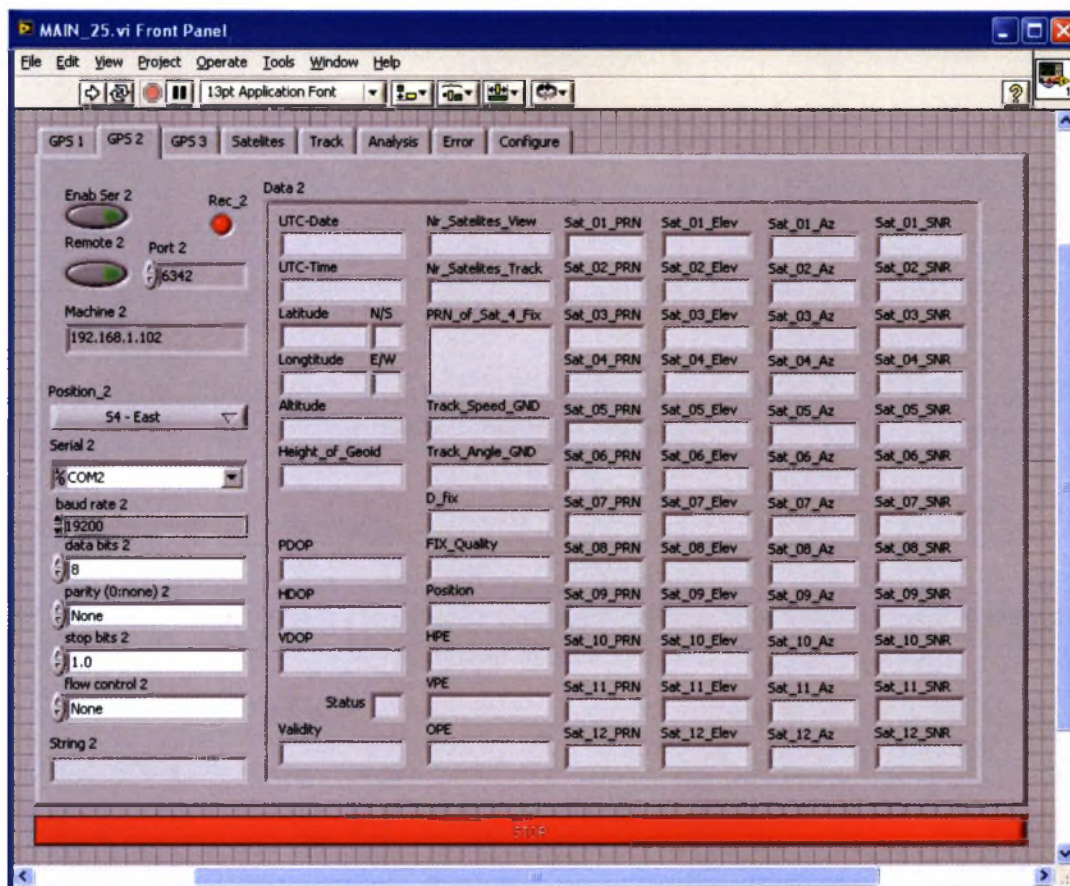
- Υπολογισμός δεδομένων ο οποίος περιλαμβάνει :
 - Έλεγχο για την χρησιμότητα των μετρήσεων (overall) η οποία περιλαμβάνει :
 - Χρησιμοποίηση ίδιων δορυφόρων στην επίλυση των αλγορίθμων από όλα τα GPS.
 - Ίδια χρονικά πλαίσια μεταξύ των GPS.
 - Εγκυρότητα μέτρησης (active or void) (αποστέλλεται από τη συσκευή).
 - Εγκυρότητα δεδομένων (validity) (υπολογίζεται στην εξαγωγή δεδομένων).
 - Διαφορά θέσεως από το γνωστό σε μας σημείο τοποθέτησης του κάθε GPS σε γεωγραφικό μήκος και πλάτος. Υπολογισμό του μήκους και της γωνίας του διανύσματος λάθους με ταυτόχρονη απεικόνιση τους σε διάγραμμα. (εικόνα χ.χ)
 - Διόρθωση των θέσεων του δευτέρου και του τρίτου GPS από το διάγραμμα λάθους του πρώτου GPS και καταχώρηση του σημείου της νέας θέσεως σε προσωρινή μνήμη περιορισμένου μεγέθους με ταυτόχρονη απεικόνιση

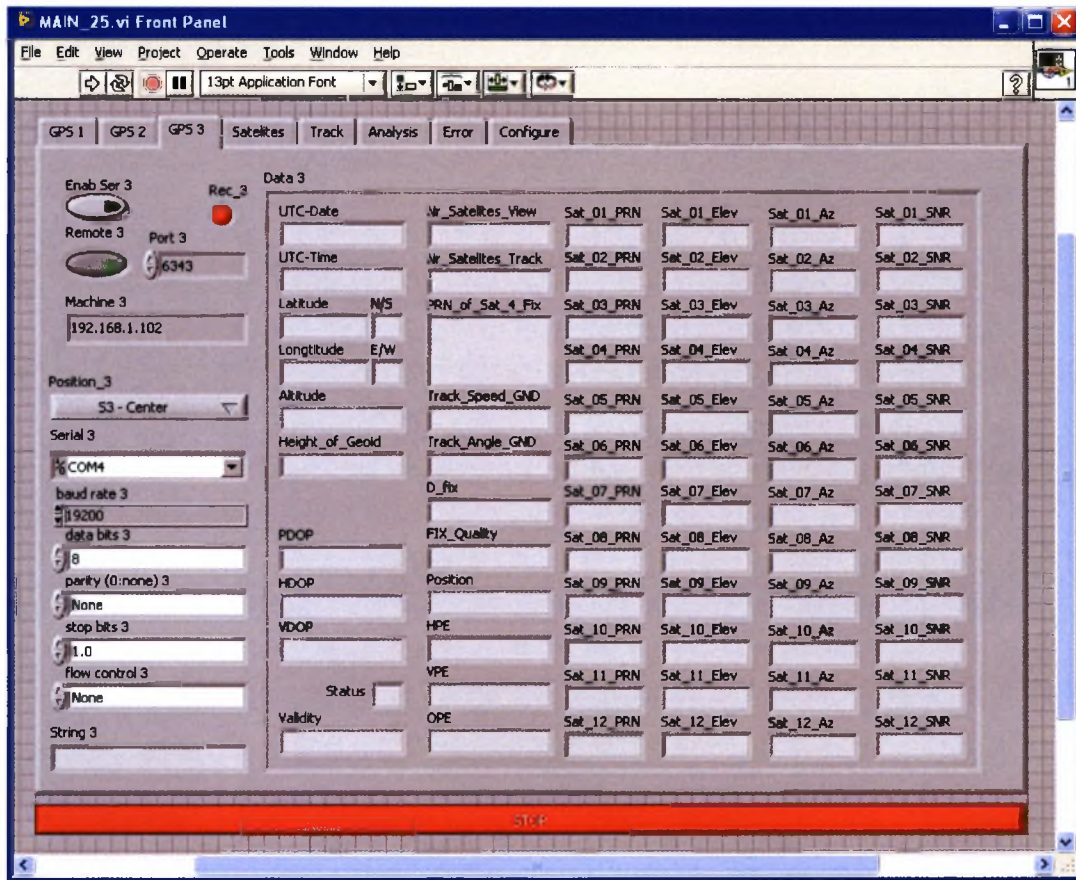
- του ίχνους της διαδρομής στο ίδιο γραφικό διάγραμμα συντεταγμένων με την αρχική θέση.
 - Υπολογισμό των ανωτέρω σε μοίρες και σε μέτρα για το γεωγραφικό μήκος και πλάτος που γίνεται η μέτρηση.
- Αποθήκευση των αναλυμένων και υπολογισμένων δεδομένων σε διαφορετικό αρχείο.

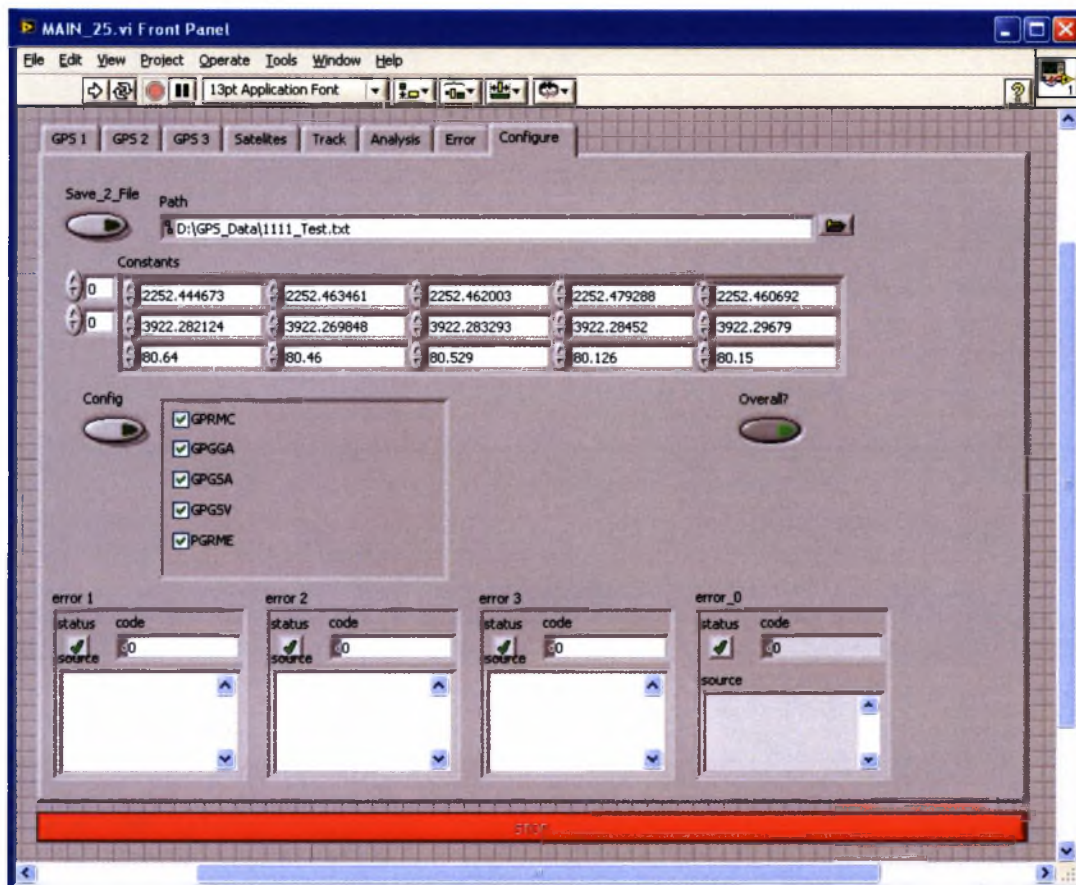


Σχήμα 13.6: Απεικόνιση των διανυσμάτων σφάλματος μεταξύ: σταθερού σημείου αναφοράς (S3) και μετρήσεων GPS 1,2,3. όπως επίσης και μεταξύ GPS1-GPS2, GPS1-GPS3, GPS2-GPS3.

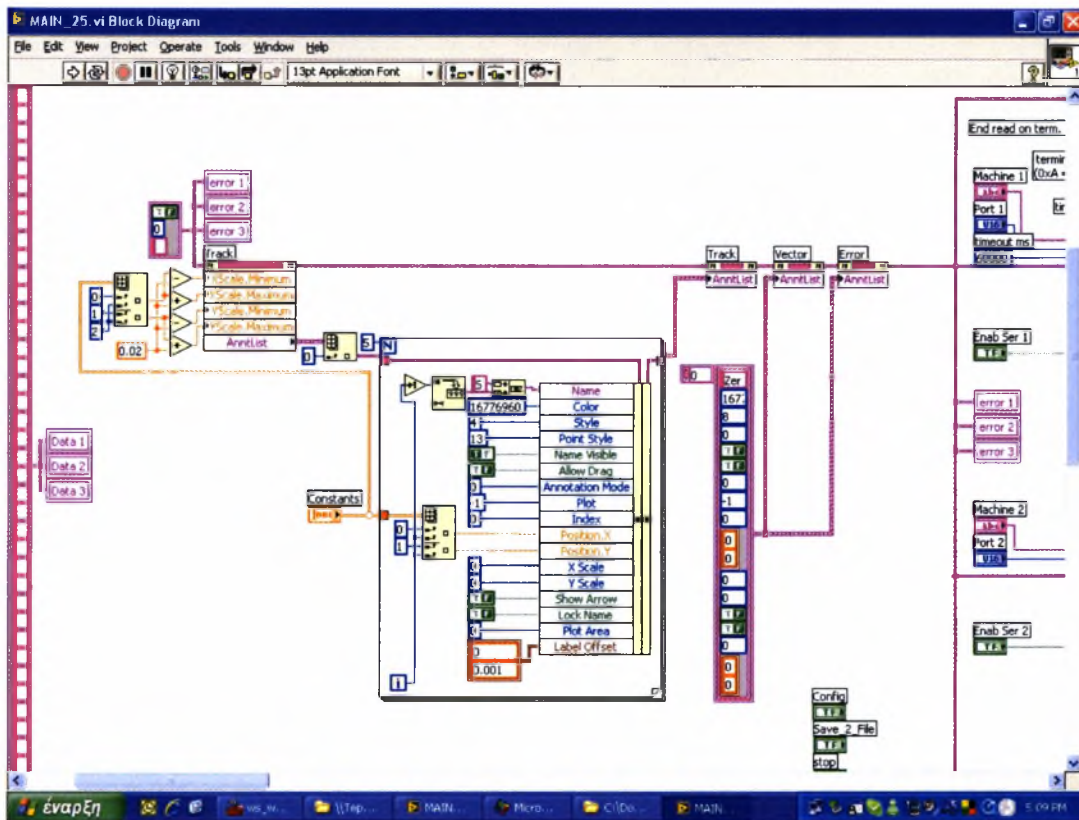
Στη συνέχεια παρουσιάζονται διάφορες οθόνες από την απεικόνιση αποτελεσμάτων του προγράμματος και διαγράμματα του κώδικα LabView.



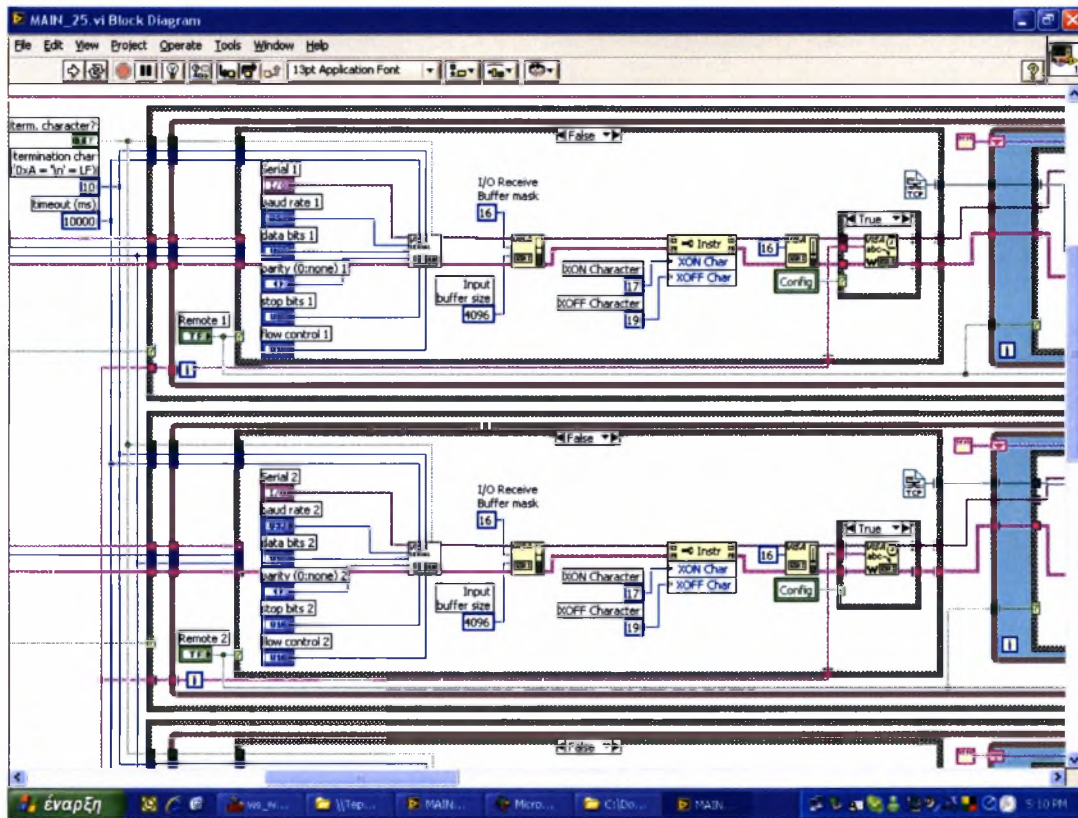




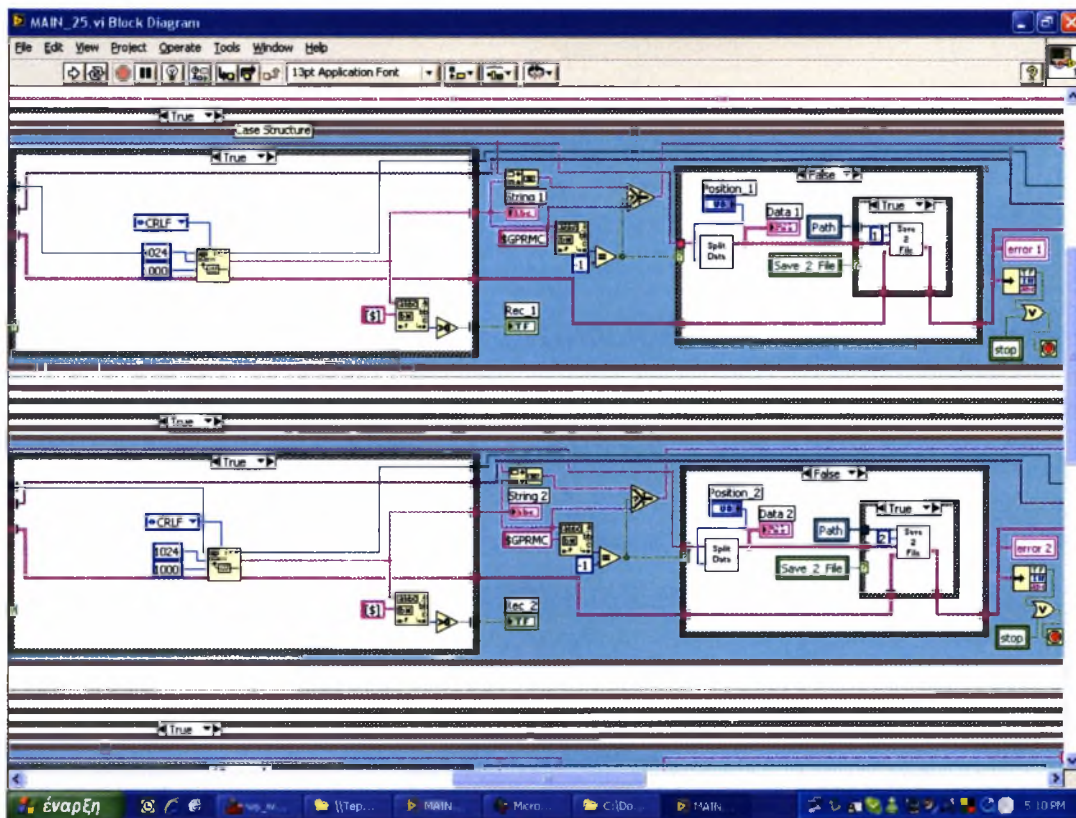
Οθόνη ρυθμίσεων: α. παραμέτρων διαδρομής αποθήκευσης, β. Στίγμα κατά «WGS 84» των σταθερών σημείων αναφοράς (S1,S2,S3,S4,S5) γ. ρύθμιση μονάδων GPS για το ποιες προτάσεις να αποστέλονται, δ. απεικόνιση σφαλμάτων κώδικα (bugs) κατά την ροή του.



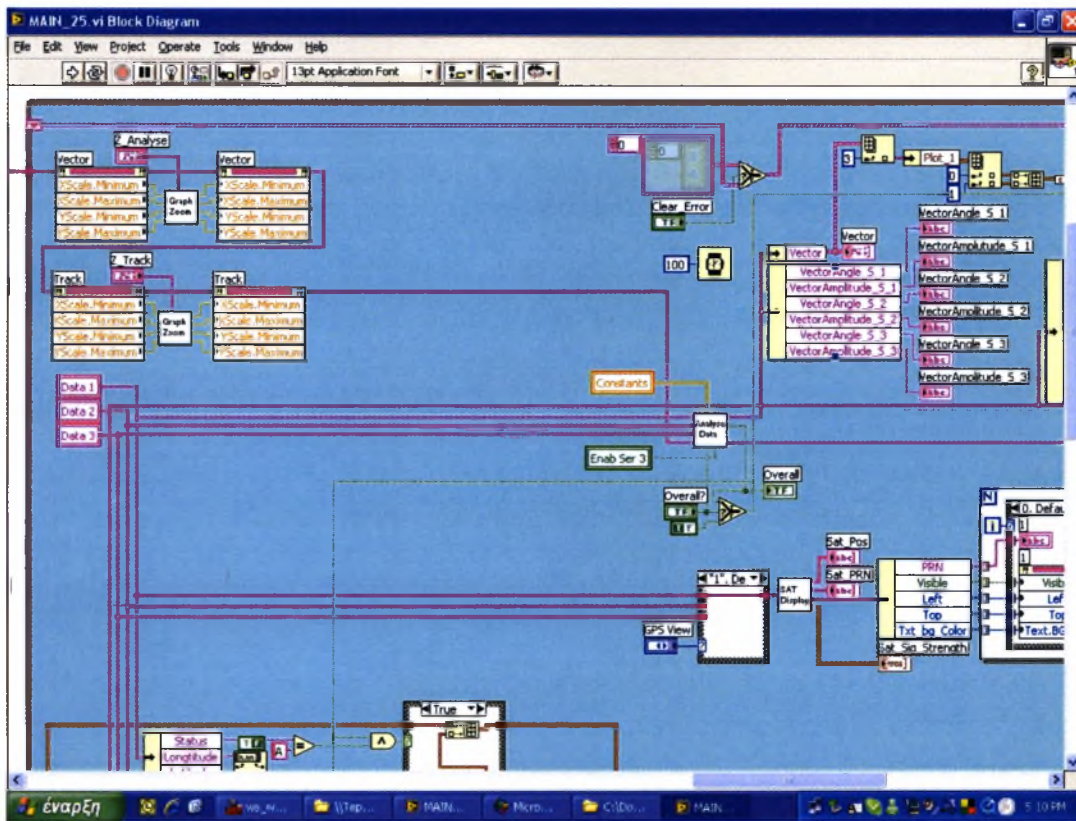
Α τμήμα λογισμικού: για την προετοιμασία και παραμετροποίηση του στις ανάγκες του πειράματος



Β τμήμα λογισμικού : στο οποίο απεικονίζεται η παραμετροποίηση των σειριακών θυρών (baudrate, databit, stopbit, etc) και των GPS (αρ. προτάσεων, επιλογή προτάσεων, συχνότητα δειγματοληψίας κλπ.) και την εξασφάλιση συμβατότητας και ορθής ροής δεδομένων.



Γ Τμήμα λογισμικού : Συλλογή δεδομένων από το δίκτυο (tcp/ip stack)
 παραμετροποίηση δεδομένων και αποθήκευση των αρχείων (yymmdd_hh_x : x=(1,2))



Κυρίως ρουτίνα ανάλυσης και απεικόνισης δεδομένων πειράματος

14. Ανάλυση δεδομένων και παρουσίαση αποτελεσμάτων

Για τους σκοπούς της παρούσας έρευνας συλλέχθηκαν συνολικά 10 ομάδες δειγμάτων σε περίοδο 6 ημερών (20/08/2007 έως 25/08/2007). Τα δείγματα ελήφθησαν τυχαία στην διάρκεια του κάθε 24ώρου ώστε να αντιπροσωπεύουν καλύτερα την διαχρονική συμπεριφορά του συστήματος του ζεύγους των δεκτών GPS.

Η δειγματοληψία για κάθε ομάδα είχε διάρκεια περίπου 60 λεπτών, με ρυθμό 5 εγγραφών ανά κύκλο (5 sec^{-1}). Κάθε δείγμα περιέχει μετρήσεις που λαμβάνονται ταυτόχρονα και από τους 2 δέκτες GPS (1,2) τοποθετημένοι αντίστοιχα στη βάση S3 (δέκτης αναφοράς - στο κέντρο του τετραγώνου) και στην βάση S4 (στην ανατολική κορυφή του τετραγώνου). Η κάθε ομάδα περιέχει ικανό πλήθος έγκυρων σημείων (10,000-15,000) ώστε να μπορεί να προκύψει στατιστικά αξιόπιστο αποτέλεσμα.

A/A ΜΕΤΡΗΣΗΣ (δείγματος i ανα 60 λεπτά)	ATHENS (GMT+2:00) από	έως	Ημερομηνία	Πραγματικός Χρόνος (Ελλάδα)
1	(00:00'00")	(00:59'59")	20/08/2007	13:00-14:00
2	(01:00'00")	(01:59'59")	20/08/2007	14:00-15:00
3	(02:00'00")	(02:59'59")	21/08/2007	01:00-02:00
4	(03:00'00")	(03:59'59")	21/08/2007	03:00-04:00
5	(04:00'00")	(04:59'59")	21/08/2007	07:00-08:00
6	(05:00'00")	(05:59'59")	22/08/2007	05:00-06:00
7	(06:00'00")	(06:59'59")	22/08/2007	13:00-14:00
8	(07:00'00")	(07:59'59")	23/08/2007	20:00-21:00
9	(08:00'00")	(08:59'59")	25/08/2007	08:00-09:00
10	(09:00'00")	(09:59'59")	25/08/2007	21:00-22:00

Πίνακας 14.1: Σύνολο 10 ωριαίων δειγμάτων τα οποία συλλέχθηκαν σταδιακά σε περίοδο 6 ημερών και χρησιμοποιήθηκαν στην στατιστική ανάλυση.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται στον πίνακα 14.χ2α και 14.χ2β τα τελικά συγκεντρωτικά αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης όλων των (10) ομάδων δειγμάτων που συλλέχθηκαν.

Ειδικότερα στον πίνακα 14.χ2α παρουσιάζονται οι μέσες τιμές θέσης (μί(N), μί(E)) της κάθε ομάδας σε (μοίρες_πρώτα λεπτά και μέτρα) για τους δέκτες

GPS(1, 2). Επίσης παρουσιάζονται οι μέσες τιμές θέσης και διασποράς (εκφρασμένες σε πρώτα λεπτά και μέτρα) επί του συνόλου όλων των ομάδων $[\mu(N), \sigma(E)]$ για τους δέκτες GPS(1, 2). Επίσης στον ίδιο πίνακα παρουσιάζονται οι παρατηρούμενες μέσες αποκλίσεις των δεκτών GPS (1, 2) από τις αντίστοιχες βάσεις (S3, S4).

Ειδικότερα στον πίνακα 14.χ2β παρουσιάζονται οι μέσες ΔΙΟΡΘΩΜΕΝΕΣ τιμές θέσης ($\mu'(N)$, $\mu'(E)$) και οι αποκλίσεις από την βάση S4, της κάθε ομάδας σε (Μοίρες_πρώτα λεπτά) για τον δέκτη GPS2. Η διόρθωση για κάθε μέτρηση γίνεται με βάση την τιμή του διανύσματος λάθους (error vector) της διαφοράς θέσης του δέκτη αναφοράς GPS1 από την βάση S3 (κέντρο).

Επίσης παρουσιάζονται οι μέσες τιμές θέσης και διασποράς (εκφρασμένες σε πρώτα λεπτά και μέτρα) επί του συνόλου των 10 ομάδων $[\mu'(N), \sigma'(E)]$ για τον δέκτη GPS2.

Τέλος στον πίνακα 14.χ3 παρουσιάζονται οι τελικές μετρούμενες αποκλίσεις της διορθωμένης θέσης του δέκτη GPS2 από την βάση S4. Είναι χαρακτηριστικό ότι η μέση διόρθωση επί του συνόλου των 10 ομάδων δειγμάτων (10 ώρες) είναι ιδιαίτερα επιτυχής, αποδίδοντας σφάλμα Βορείου στίγματος +7.63 cm και Ανατολικού στίγματος +0.74 cm, μάλιστα στην περίπτωση του Ανατολικού στίγματος πλησιάζει την απόλυτη θέση του σημείου S4, όπως αυτή έχει ορισθεί μετά την ανάρτησή της από το γεωδαιτικό σημείο T51.

Επίσης το γεγονός ότι οι συνολικές μέσες αποκλίσεις των στιγμάτων ($\mu'(N)$: [0.19m, 0.28m], $\mu'(E)$: [1.46m, 1.41m]) των δεκτών GPS1 και GPS2 από τις βάσεις S3 και S4 πριν από την διόρθωση είναι παρόμοιες, (διαφορά της τάξης του) υποδεικνύει ότι η επιλογή των αντίστοιχων δεκτών είναι ορθή.

Το παραπάνω αποτέλεσμα της ιδιαίτερα καλής προσέγγισης του σημείου S4 με την προτεινόμενη μεθοδολογία και η απόλυτη διόρθωσή κατά 1.4 μέτρα υποδεικνύει ότι η ακολουθούμενη διαδικασία συλλογής δεδομένων και η η προτεινόμενη μεθοδολογία ανάλυσης είναι προς την ορθή κατεύθυνση.

Ομάδα δειγματος i (60 ΛΕΠΤΑ)	GPS 1		GPS 2		ΔΥ(S4) [DDmm.mmm]	ΔΥ(S4) [m]	ΔΧ(S4) [DDmm.mmm]	ΔΧ(S4) [m]
	N DDmm.mmmmm μί(N)	E DDmm.mmmmm μί(E)	N DDmm.mmmmm μί(N)	E DDmm.mmmmm μί(E)				
1	3922.284095	2252.463043	3922.285612	2252.480285	-0.001092	1.57	-0.000997	1.43
2	3922.283567	2252.463345	3922.284873	2252.480607	-0.000353	0.51	-0.001319	1.89
3	3922.283854	2252.462568	3922.285034	2252.480008	-0.000514	0.74	-0.000720	1.03
4	3922.282609	2252.462737	3922.284010	2252.480349	0.000510	0.73	-0.001061	1.52
5	3922.283642	2252.462801	3922.284430	2252.479274	0.000090	0.13	0.000014	0.02
6	3922.283641	2252.463044	3922.284687	2252.480130	-0.000167	0.24	-0.000842	1.21
7	3922.282961	2252.463065	3922.284717	2252.480101	-0.000197	0.28	-0.000813	1.17
8	3922.283351	2252.462678	3922.285032	2252.480150	-0.000512	0.74	-0.000862	1.24
9	3922.283524	2252.462403	3922.284657	2252.479782	-0.000137	0.20	-0.000494	0.71
10	3922.283017	2252.462235	3922.284108	2252.479798	0.000412	0.59	-0.000510	0.73
(μ:10h)	3922.283426	2252.462792	3922.284716	2252.480048		0.57		1.10
(σ:10h) [min]	0.000448421	0.000339066	0.000469357	0.000367139	0.000469357		0.000367139	
(σ:10h) [μέτρα]	0.6441	0.627	0.674	0.679		0.674		0.679
+/- 3σ [μέτρα] (99,86%)	1.93	1.88	2.02	2.04		2.02		2.04

'Αποκλήσεις από βάσεις (min) (meters)	Παρατηρούμενες τιμές πριν από την διόρθωση			
	GPS1/S3	GPS1/S3	GPS2/S4	GPS2/S4
	Avg (Error North)	Avg (Error East)	Avg (Error North)	Avg (Error East)
	-0.000133	-0.000789	-0.000196	-0.000760
	-0.19	-1.46	-0.28	-1.41
	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ μετατροπής		m / min NORTH	1,436.2920
			m / min EAST	1,850.3770

Πίνακας 14.1α Συγκεντρωτικά αποτελέσματα

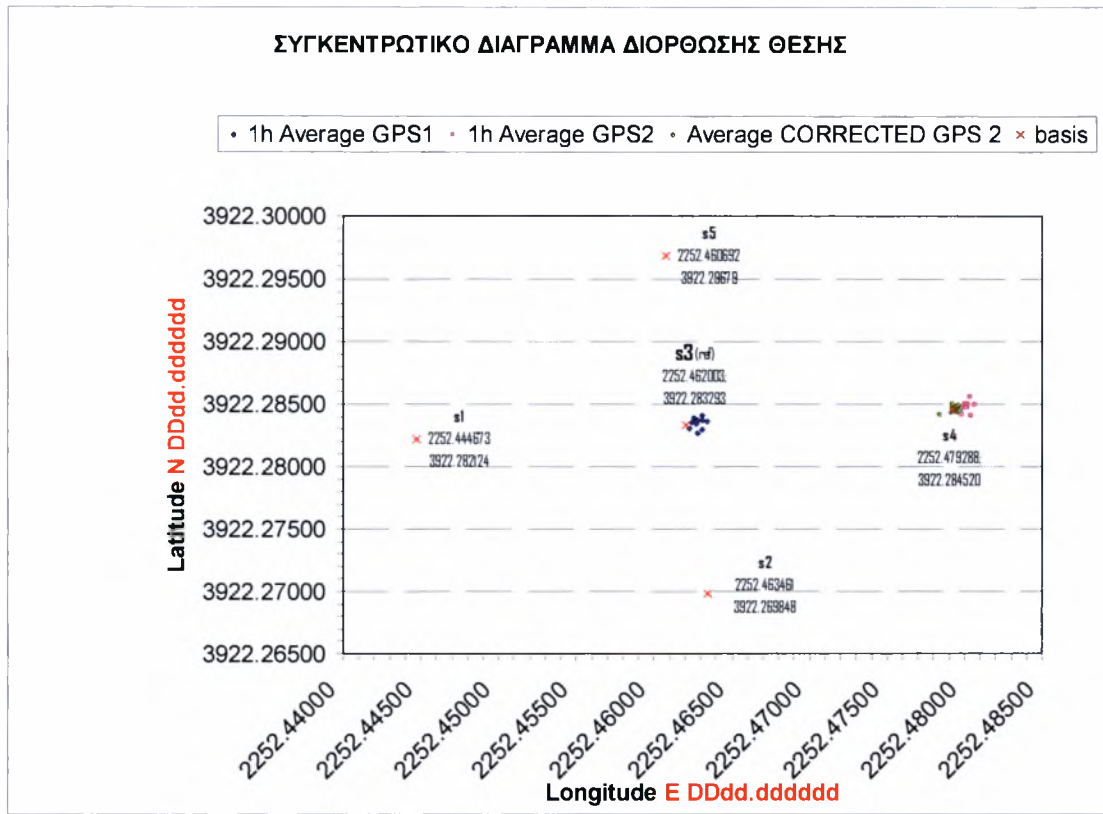
Πτοχιακή εργασία Γ. Σαββίδη

	CORRECTED GPS 2 (GPS2-GPS1err)		Average Error Corrected Position (NORTH) GPS 2 from S4		Average Error Corrected Position (EAST) GPS 2 from S4	
	N DDmm.mmmmm μ'ί(N)	E DDmm.mmmmm μ'ί(E)	ΣΧΕΤΙΚΟ Λάθος από S4 (S4N-CorrGPS2N) [DDmm.mmmmm]	ΣΧΕΤΙΚΟ Λάθος από S4 (S4E-CorrGPS2E) [DDmm.mmmmm]	ΣΧΕΤΙΚΟ Λάθος από S4 (S4E-CorrGPS2E) ισοδύναμο [m]	ΣΧΕΤΙΚΟ Λάθος από S4 (S4E-CorrGPS2E) ισοδύναμο [m]
A/A ΜΕΤΡΗΣΗ (δειγματος i ανα 60 λεπτά)						
1	3922.284775	2252.479383	-0.000255	-0.366	-0.000095	-0.176
2	3922.284624	2252.479164	-0.000104	-0.149	0.000124	0.229
3	3922.284466	2252.479505	0.000054	0.078	-0.000217	-0.402
4	3922.284637	2252.479563	-0.000117	-0.168	-0.000275	-0.509
5	3922.284140	2252.478310	0.000380	0.546	0.000978	1.810
6	3922.284374	2252.479113	0.000146	0.210	0.000175	0.324
7	3922.284970	2252.479169	-0.000450	-0.646	0.000119	0.220
8	3922.284951	2252.479539	-0.000431	-0.619	-0.000251	-0.464
9	3922.284328	2252.479501	0.000192	0.276	-0.000213	-0.394
10	3922.284466	2252.479637	0.000054	0.078	-0.000349	-0.646
ΜΕΣΕΣ ΤΙΜΕΣ (μ:10h)	3922.284573	2252.479288	-0.0000531	-0.076	-0.0000004	-0.0007
Τυπική Απόκλιση (σ:10h) [min]	0.000270392	0.000391373	0.000270392		0.000391373	
Τυπική Απόκλιση (σ:10h) [μέτρα]	0.3884	0.724	0.3884	0.388	0.5621	0.724
+/- 3σ [μέτρα] (99,86%)	1.17	2.17	1.17	1.17	1.69	2.17

Πίνακας 14.1β Συγκεντρωτικά αποτελέσματα

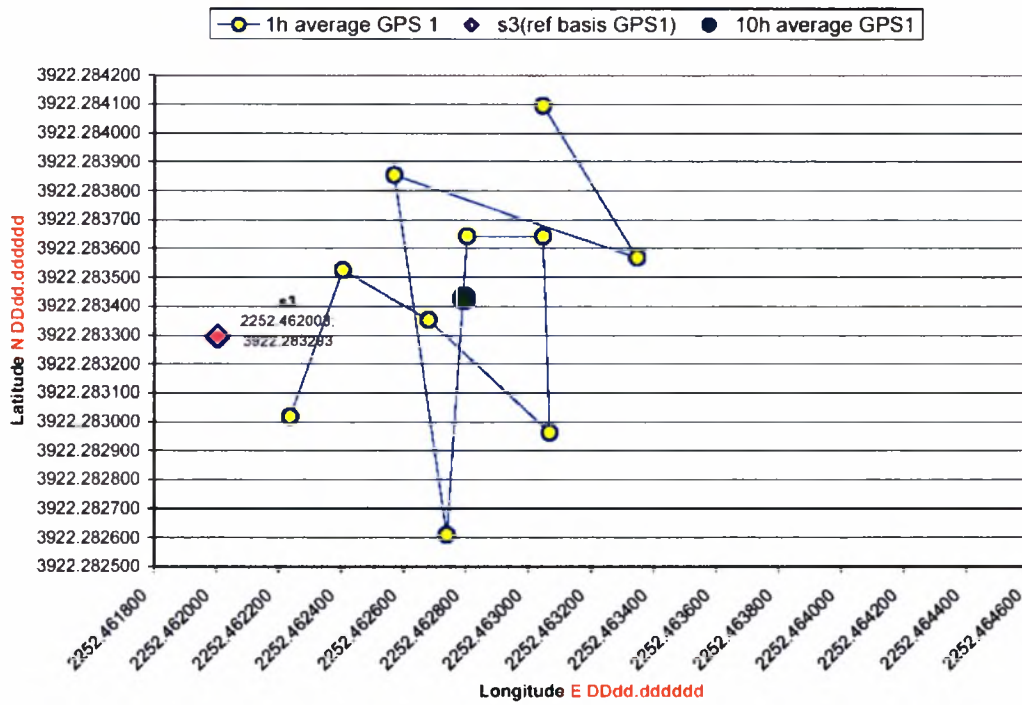
Πίνακας 14.1γ Παρατηρούμενες τιμές αποκλίσεων του δέκτη GPS2 από το σταθερό σημείο (βάση) S4, μετά την σχετική του διόρθωση ως προς την απόκλιση του δέκτη GPS1 από τη βάση αναφοράς S3. Συνολικός χρόνος παρατηρήσεων 10 ώρες.

	GPS2 / S4	GPS2 / S4
'Αποκλίσεις από (S4)	Avg (Error North)	Avg (Error East)
(min)	53.10 E-6	0.40 E-6
(meters)	0.0763 (7.63 cm)	0.0007 (0.70 cm)
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ	m / min NORTH	m / min EAST
	1436.2920	1850.3770

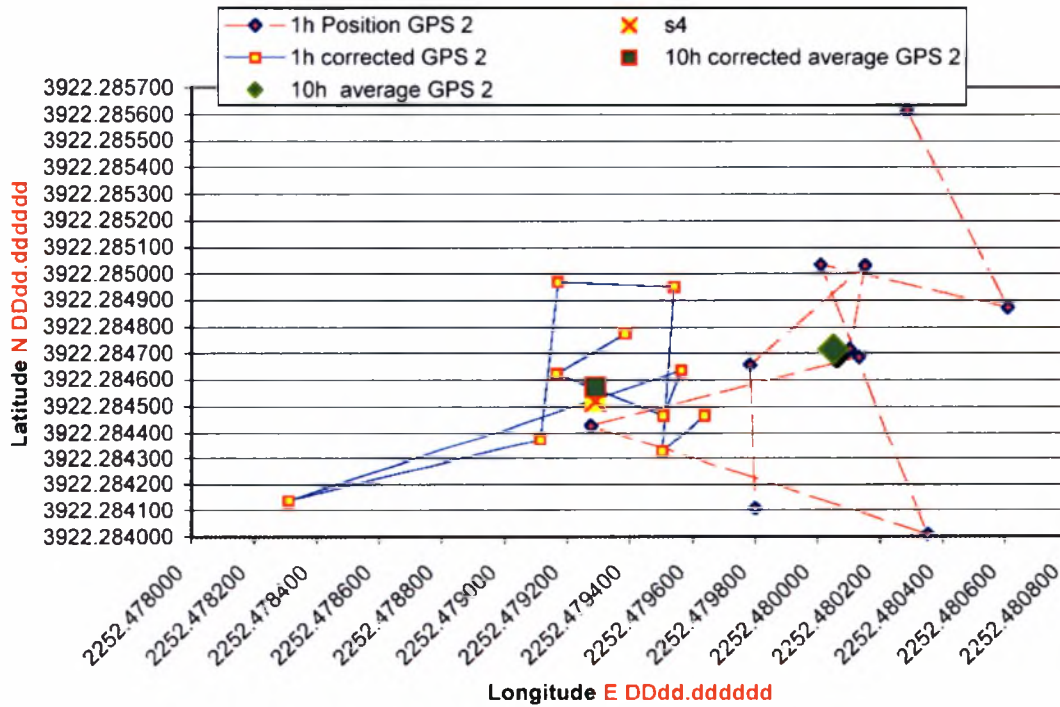


Σχήμα 14.1 Αποτύπωση αποκλίσεων GPS1 & GPS2 από βάσεις S3 και S4 αντίστοιχα.

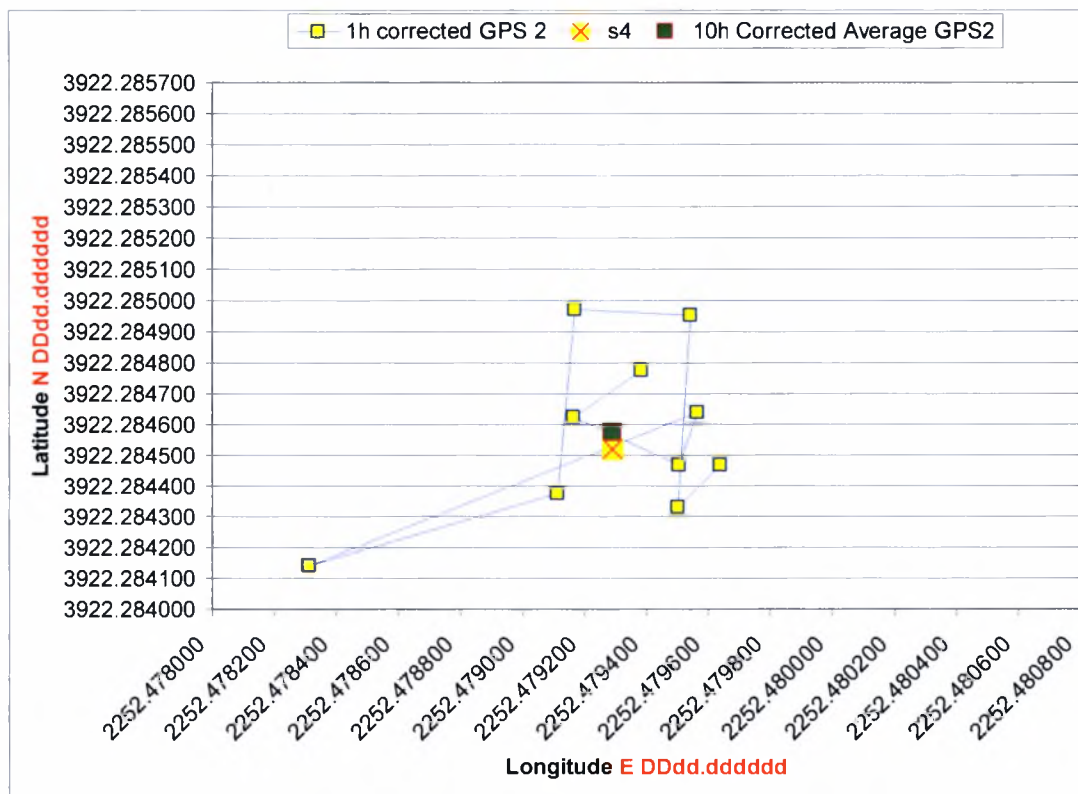




Σχήμα 14.2 Αποτύπωση αποκλίσεων GPS1 από βάση αναφοράς S3.



Σχήμα 14.3 Αποτύπωση αποκλίσεων GPS2 από βάση S4.



Σχήμα 14.4 Αποτύπωση αποκλίσεων GPS2 από βάση S4.

Στην συνέχεια παρατίθενται αναλυτικά τα στοιχεία από τις ομάδες δειγμάτων 1, 2, 5 και 9.

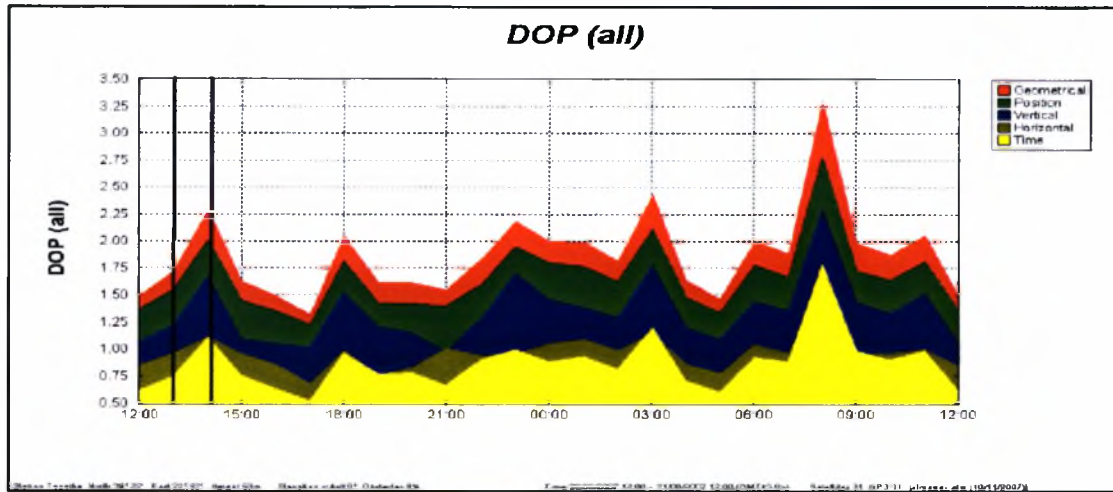
Τα στοιχεία από τις υπόλοιπες ομάδες δειγμάτων (3, 4, 6, 7, 8 και 10) περιέχονται σε ηλεκτρονική μορφή στο CD που συνοδεύει το παρόν κείμενο, Παράρτημα.

χρόνος μέτρησης
 από (00.00'00") έως (00.59'59") Ημερομηνία Μετρήσεων
 20/08/2007 13:00-14:00

Analyzed DATA

	point 1		point 2		point 2 corrected	
	N DDMM.mmmmm	E DD.dddddd	N DDMM.mmmmm	E DD.dddddd	N DDMM.mmmmm	E DD.dddddd
average	0.0010197	0.000692644	0.001114	0.000947472	0.000031	8.21909E-05
st.dev.	0.00045059	0.00071705	0.00052776	0.00096001	0.00039668	0.00058350
n	3694	3694	3694	3694	11453	11453
max	0.002297	0.002187	0.002392	0.003010	0.001565	0.002913
min	-0.000043	-0.001283	-0.000478	-0.001370	-0.002165	-0.001807
+/-σ	i	i	i	i	i	i
4.0	0.00282	0.00356	0.00323	0.00479	0.00162	0.00242
3.5	0.00260	0.00320	0.00296	0.00431	0.00142	0.00212
3.0	0.00237	0.00284	0.00270	0.00383	0.00122	0.00183
2.5	0.00215	0.00249	0.00243	0.00335	0.00102	0.00154
2.0	0.00192	0.00213	0.00217	0.00287	0.00082	0.00125
1.5	0.00170	0.00177	0.00191	0.00239	0.00063	0.00096
1.0	0.00147	0.00141	0.00164	0.00191	0.00043	0.00067
0.5	0.00125	0.00105	0.00138	0.00143	0.00023	0.00037
0.0	0.00102	0.00069	0.00111	0.00095	0.00003	0.00008
-0.5	0.00079	0.00033	0.00085	0.00047	-0.00017	-0.00021
-1.0	0.00057	-0.00002	0.00059	-0.00001	-0.00037	-0.00050
-1.5	0.00034	-0.00038	0.00032	-0.00049	-0.00056	-0.00079
-2.0	0.00012	-0.00074	0.00006	-0.00097	-0.00076	-0.00108
-2.5	-0.00011	-0.00110	-0.00021	-0.00145	-0.00096	-0.00138
-3.0	-0.00033	-0.00146	-0.00047	-0.00193	-0.00116	-0.00167
-3.5	-0.00056	-0.00182	-0.00073	-0.00241	-0.00136	-0.00196
-4.0	-0.00078	-0.00218	-0.00100	-0.00289	-0.00156	-0.00225
Term	Dif_Long_1	Dif_Lat_1	Dif_Long_2	Dif_Lat_2	Dif_Long_3	Dif_Lat_3

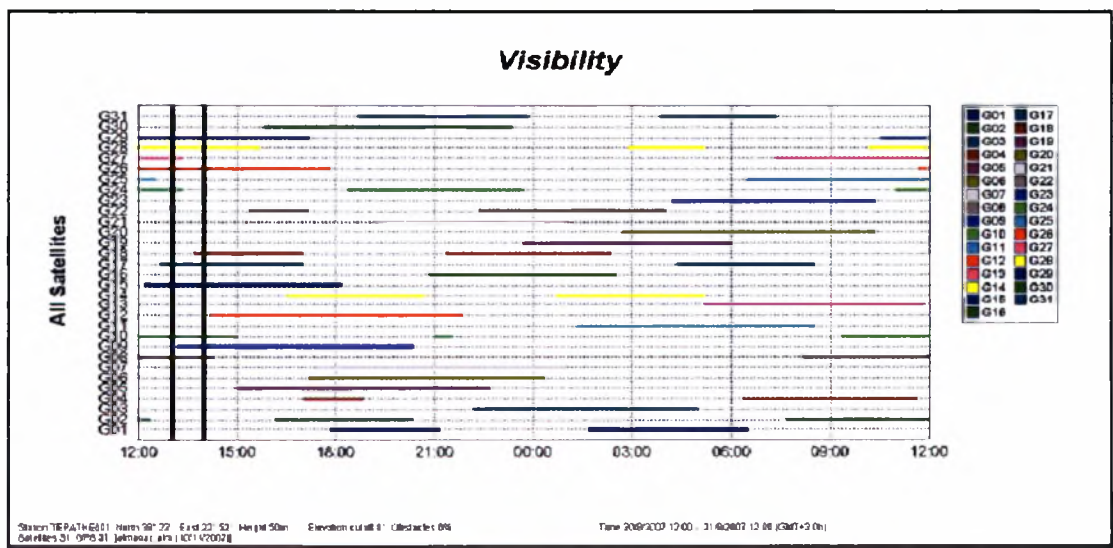
	GPS 1		GPS 2		CORRECTED GPS 2		METERS CONVERSION
	N DDMM.mmmmm	E DD.dddddd	N DDMM.mmmmm	E DD.dddddd	N DDMM.mmmmm	E DD.dddddd	
average	3922.284064	2252.463035	3922.285549	2252.480347	3922.284775	2252.479383	Meters 1
st.dev.	0.000731	0.000450	0.000910	0.000543	0.00100588	0.00069418	2.27
n	6253	6253	6272	6272	3694	3694	0.91
max	3922.285650	2252.464300	3922.287770	2252.481680	3922.287433	2252.480853	3694
min	3922.282000	2252.461960	3922.283150	2252.479200	3922.282713	2252.477123	4.49
+/-σ	i	i	i	i	i	i	0.38
4.0	0.00282	0.00356	0.00282	0.00356	3922.28880	2252.48216	Meters 2
3.5	0.00260	0.00320	0.00260	0.00320	3922.28830	2252.48181	2.89
3.0	0.00237	0.00284	0.00237	0.00284	3922.28779	2252.48147	1.00
2.5	0.00215	0.00249	0.00215	0.00249	3922.28729	2252.48112	3694
2.0	0.00192	0.00213	0.00192	0.00213	3922.28679	2252.48077	5.71
1.5	0.00170	0.00177	0.00170	0.00177	3922.28628	2252.48042	0.91
1.0	0.00147	0.00141	0.00147	0.00141	3922.28578	2252.48008	Meters Correct
0.5	0.00125	0.00105	0.00125	0.00105	3922.28528	2252.47973	1.89
0.0	0.00102	0.00069	0.00102	0.00069	3922.28477	2252.47938	1.06
-0.5	0.00079	0.00033	0.00079	0.00033	3922.28427	2252.47904	3694
-1.0	0.00057	-0.00002	0.00057	-0.00002	3922.28377	2252.47869	6.22
-1.5	0.00034	-0.00038	0.00034	-0.00038	3922.28327	2252.47834	0.17
-2.0	0.00012	-0.00074	0.00012	-0.00074	3922.28276	2252.47799	
-2.5	-0.00011	-0.00110	-0.00011	-0.00110	3922.28226	2252.47765	
-3.0	-0.00033	-0.00146	-0.00033	-0.00146	3922.28176	2252.47730	
-3.5	-0.00056	-0.00182	-0.00056	-0.00182	3922.28125	2252.47695	
-4.0	-0.00078	-0.00218	-0.00078	-0.00218	3922.28075	2252.47661	
Term	Latitude 1	Longitude 1	Latitude 2	Longitude 2	Correct_Lat 2	Correct_Long 3	



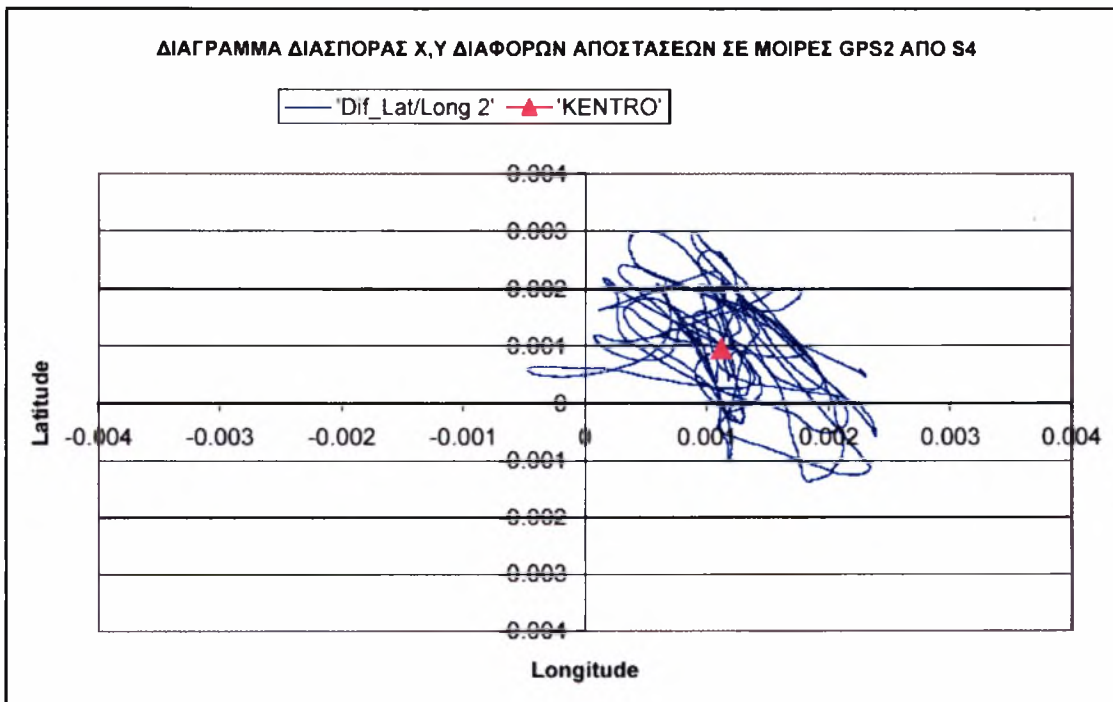
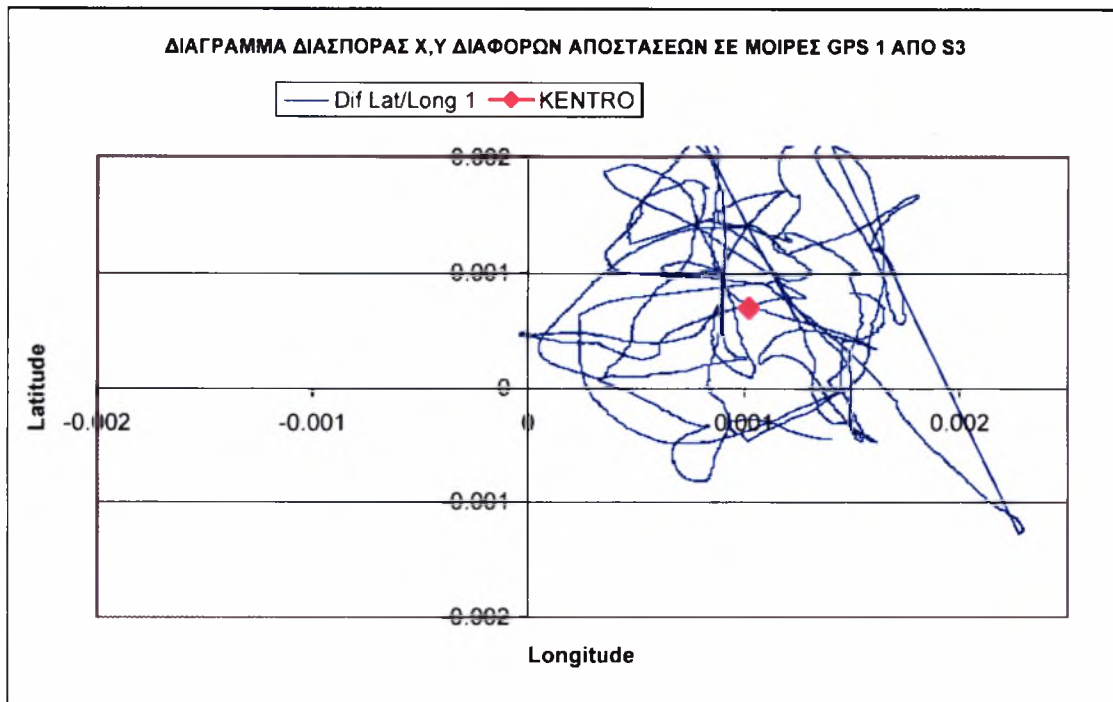
ΠΡΟΣΔΟΚΩΜΕΝΟ PDOP

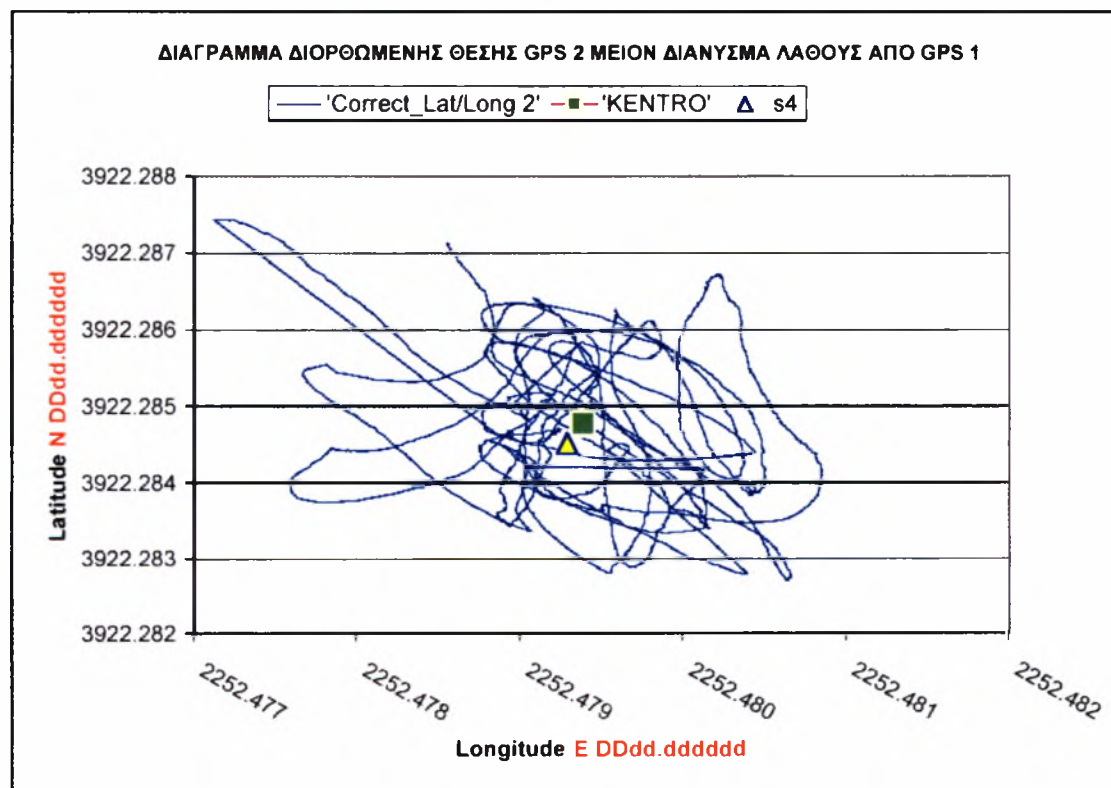
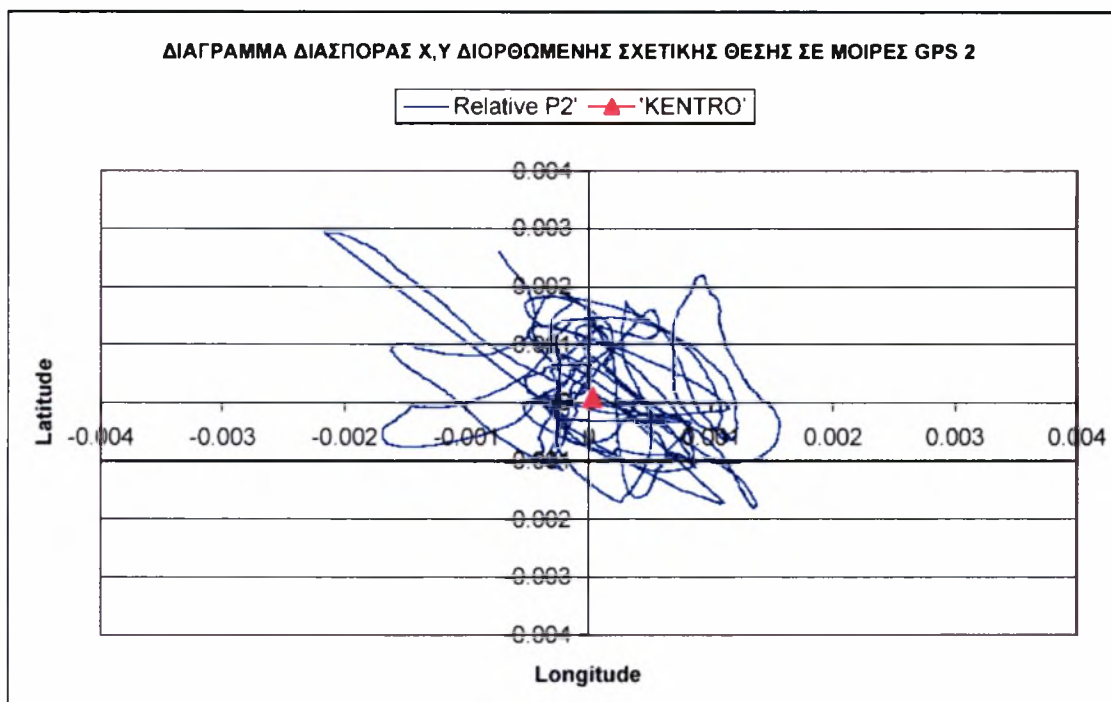
	GPS 1		GPS 2	
	PDOP	Nr.Sats.track	PDOP	Nr.Sats.track
average	2.2	7.7	1.8	8.0
st.dev.	0.7	0.6	0.3	0.3
n	6253	6253	6272	6272
max	3.4	9.0	3.3	9.0
min	1.4	7.0	1.4	7.0

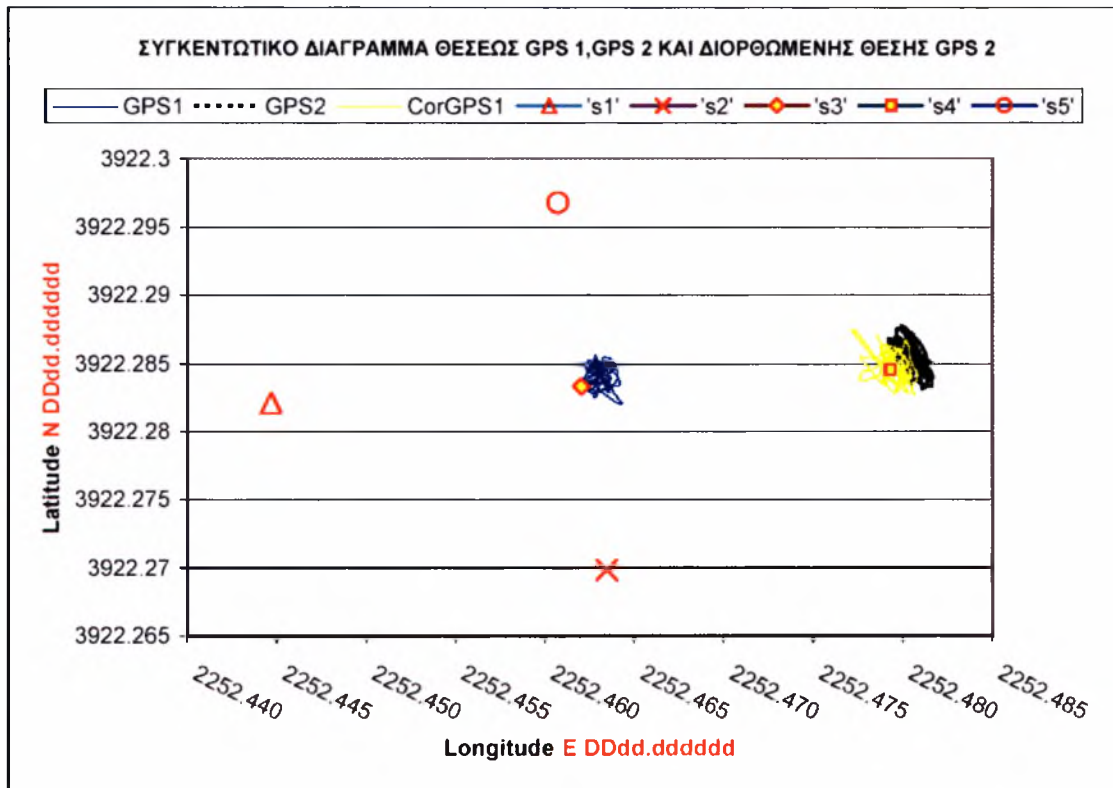
ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΟ PDOP



ΠΡΟΣΔΟΚΩΜΕΝΟΙ ΔΟΡΥΦΟΡΟΙ ΣΕ ΘΕΑ	08.09.10.15.17.18.24.26.27.28.29
ΔΟΡΥΦΟΡΟΙ ΣΕ ΘΕΑ	08.09.10.17.18.26.27.28.29







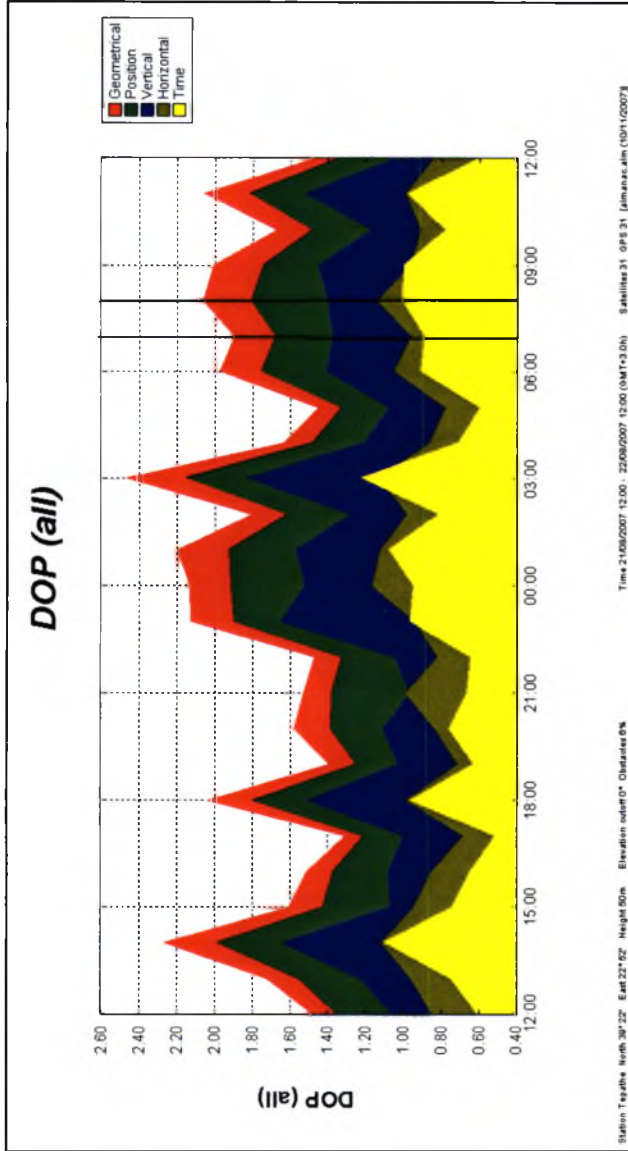
Χρόνος μέτρησης από (00:00'00") έως (00:59'59")

Σύνολο μετρήσεων (i=7)

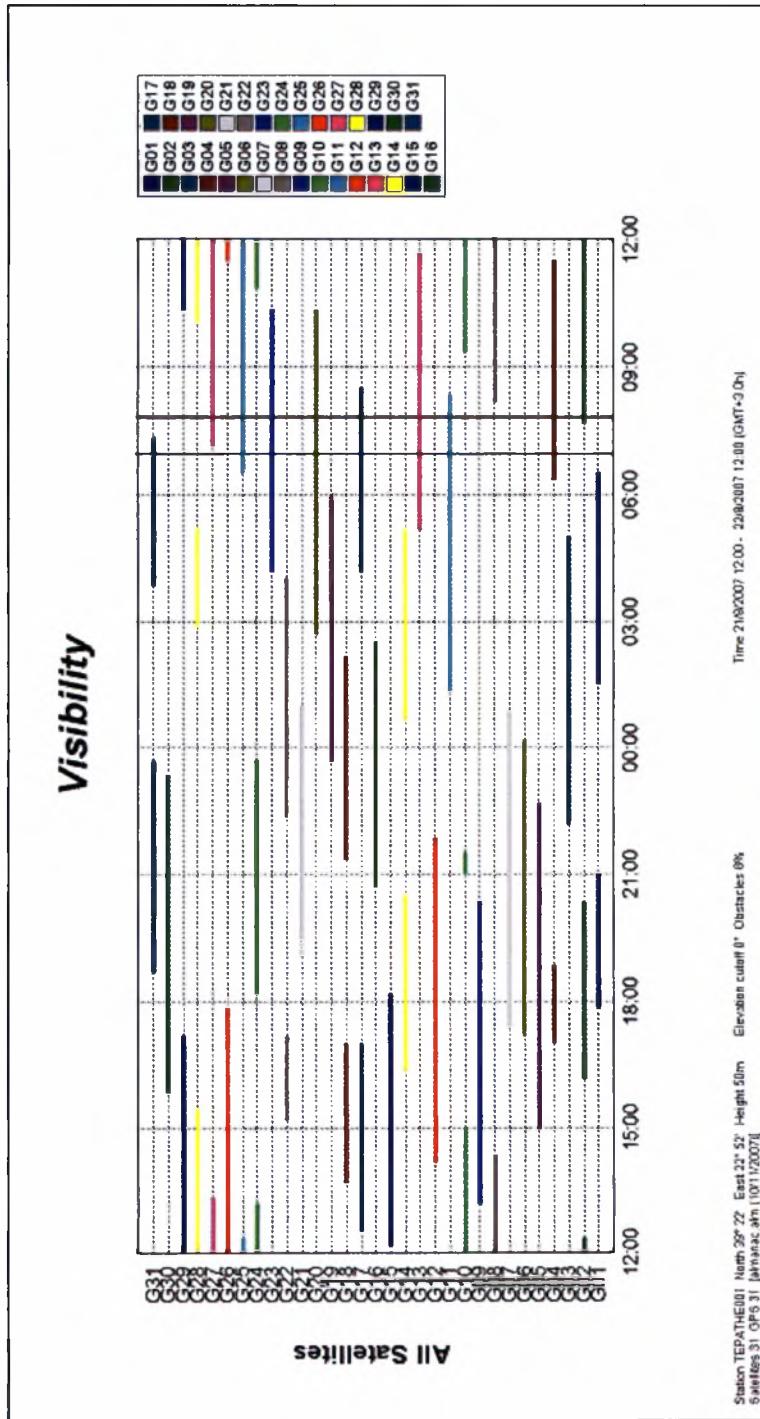
Ημερομηνία Μετρήσεων 21/08/2007 07:00-08:00

Analyzed		DATA					
STATISTICS		point 1		point 2		point 2 corrected	
	N	DD.ddddd	E	DD.ddddd	E	DD.ddddd	E
average	0.0009308	0.000308633		-0.000048	-0.000071109	-0.000858	-0.000333224
st.dev.	0.00121986	0.00088279		0.00093107	0.00103937	0.00166523	0.00132201
n	10050	10050		10050	10050	11453	11453
max	0.004437	0.002567		0.002402	0.002900	0.002985	0.003473
min	-0.001753	-0.002003		-0.003068	-0.005140	-0.006455	-0.005687
+/-σ	i	i	i	i	i	i	i
4.0	0.00581	0.00384		0.00368	0.00409	0.00580	0.00495
3.5	0.00520	0.00340		0.00321	0.00357	0.00497	0.00429
3.0	0.00459	0.00296		0.00275	0.00305	0.00414	0.00363
2.5	0.00398	0.00252		0.00228	0.00253	0.00330	0.00297
2.0	0.00337	0.00207		0.00181	0.00201	0.00247	0.00231
1.5	0.00276	0.00163		0.00135	0.00149	0.00164	0.00165
1.0	0.00215	0.00119		0.00088	0.00097	0.00081	0.00099
0.5	0.00154	0.00075		0.00042	0.00045	-0.00003	0.00033
0.0	0.00093	0.00031		-0.00005	-0.00007	-0.00086	-0.00033
-0.5	0.00032	-0.00013		-0.00051	-0.00059	-0.00169	-0.00099
-1.0	-0.00029	-0.00057		-0.00098	-0.00111	-0.00252	-0.00166
-1.5	-0.00090	-0.00102		-0.00144	-0.00163	-0.00336	-0.00232
-2.0	-0.00151	-0.00146		-0.00191	-0.00215	-0.00419	-0.00298
-2.5	-0.00212	-0.00190		-0.00238	-0.00267	-0.00502	-0.00364
-3.0	-0.00273	-0.00234		-0.00284	-0.00319	-0.00585	-0.00430
-3.5	-0.00334	-0.00278		-0.00331	-0.00371	-0.00669	-0.00496
-4.0	-0.00395	-0.00322		-0.00377	-0.00423	-0.00752	-0.00562
Tterm	Dif_Long_1	Dif_Lat_1		Dif_Long_2	Dif_Lat_2	Dif_Long_3	Dif_Lat_3

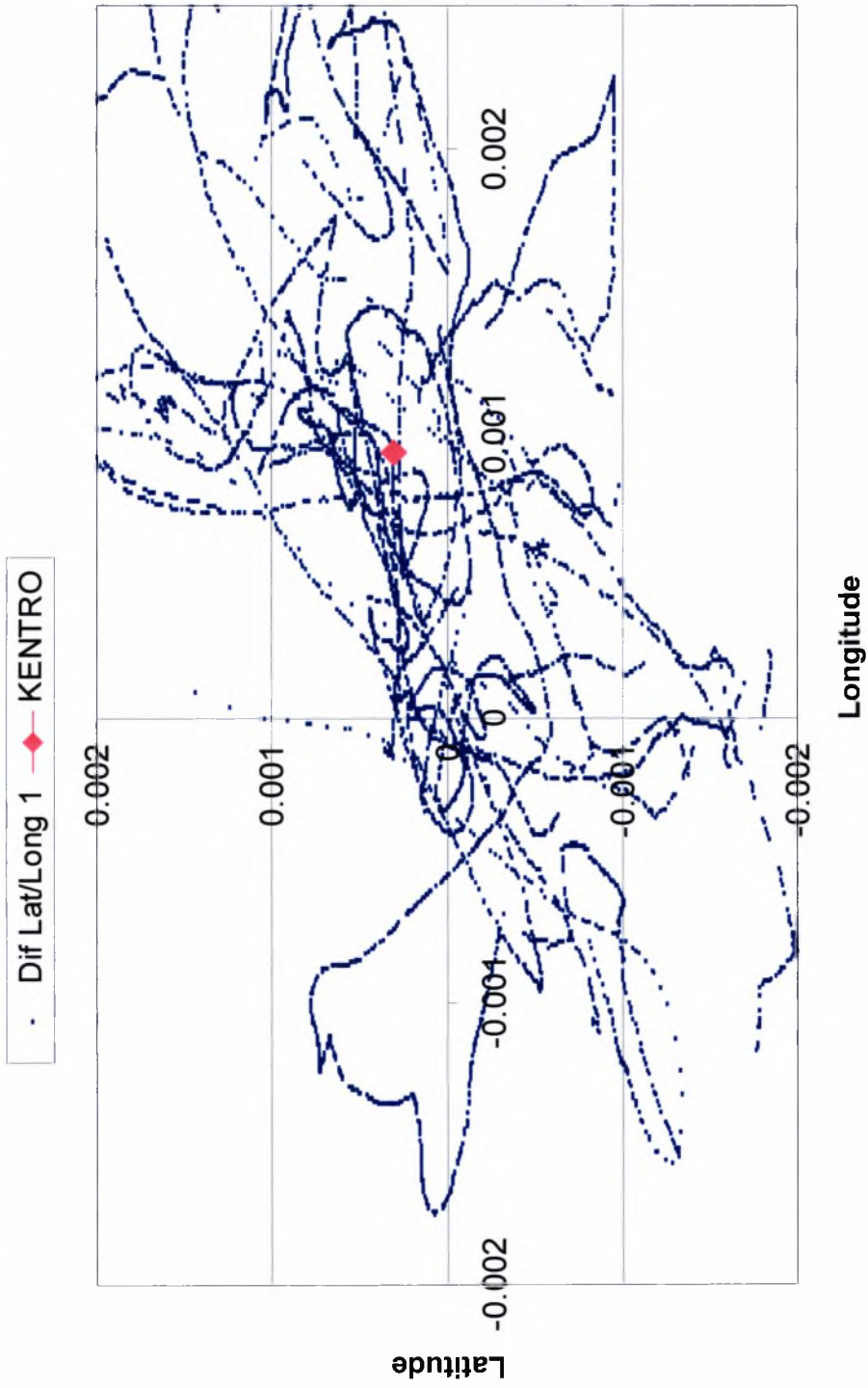
	GPS 1				GPS 2				CORRECTED GPS 2				METERS CONVERSION		
	DDMM.mmmmm	DD.ddddd	N	E	DDMM.mmmmm	DD.ddddd	N	E	N DDMM.mmmmm	E DD.ddddd	Correct_Lat_2	Correct_Long_2	Correct_Lat_3	Correct_Long_3	Meters 1
average	3922.283687	2252.462909	14434	14434	3922.284161	2252.479128	14487	14487	3922.28414	2252.47831	3922.28414	2252.47831	3922.28414	2252.47831	2.35
st.dev.	0.000960	0.000971	14434	14434	0.001413	0.001129	10050	10050	0.00140501	0.00174438	0.00140501	0.00174438	0.00140501	0.00174438	1.52
n									10050	10050	10050	10050	10050	10050	10050
max	3922.285860	2252.466440			3922.287430	2252.481690			3922.287993	2252.482273	3922.287993	2252.482273	3922.287993	2252.482273	6.96
min	3922.281290	2252.460320			3922.276860	2252.475560			3922.278833	2252.472833	3922.278833	2252.472833	3922.278833	2252.472833	0.02
+/-σ															
4.0	0.00581	0.00384			0.00581	0.00384			3922.28976	2252.48529	3922.28976	2252.48529	3922.28976	2252.48529	Meters 2
3.5	0.00520	0.00340			0.00520	0.00340			3922.28906	2252.48442	3922.28906	2252.48442	3922.28906	2252.48442	1.88
3.0	0.00459	0.00296			0.00459	0.00296			3922.28836	2252.48354	3922.28836	2252.48354	3922.28836	2252.48354	1.40
2.5	0.00398	0.00252			0.00398	0.00252			3922.28765	2252.48267	3922.28765	2252.48267	3922.28765	2252.48267	10050
2.0	0.00337	0.00207			0.00337	0.00207			3922.28695	2252.48180	3922.28695	2252.48180	3922.28695	2252.48180	10.48
1.5	0.00276	0.00163			0.00276	0.00163			3922.28625	2252.48093	3922.28625	2252.48093	3922.28625	2252.48093	0.00
1.0	0.00215	0.00119			0.00215	0.00119			3922.28555	2252.48005	3922.28555	2252.48005	3922.28555	2252.48005	Meters. Correct
0.5	0.00154	0.00075			0.00154	0.00075			3922.28484	2252.47918	3922.28484	2252.47918	3922.28484	2252.47918	3.17
0.0	0.00093	0.00031			0.00093	0.00031			3922.28414	2252.47831	3922.28414	2252.47831	3922.28414	2252.47831	2.34
-0.5	0.00032	-0.00013			0.00032	-0.00013			3922.28344	2252.47744	3922.28344	2252.47744	3922.28344	2252.47744	10050
-1.0	-0.00029	-0.00057			-0.00029	-0.00057			3922.28274	2252.47657	3922.28274	2252.47657	3922.28274	2252.47657	12.65
-1.5	-0.00090	-0.00102			-0.00090	-0.00102			3922.28203	2252.47569	3922.28203	2252.47569	3922.28203	2252.47569	0.08
-2.0	-0.00151	-0.00146			-0.00151	-0.00146			3922.28133	2252.47482	3922.28133	2252.47482	3922.28133	2252.47482	
-2.5	-0.00212	-0.00190			-0.00212	-0.00190			3922.28063	2252.47395	3922.28063	2252.47395	3922.28063	2252.47395	
-3.0	-0.00273	-0.00234			-0.00273	-0.00234			3922.27993	2252.47308	3922.27993	2252.47308	3922.27993	2252.47308	
-3.5	-0.00334	-0.00278			-0.00334	-0.00278			3922.27922	2252.47220	3922.27922	2252.47220	3922.27922	2252.47220	
-4.0	-0.00395	-0.00322			-0.00395	-0.00322			3922.27852	2252.47133	3922.27852	2252.47133	3922.27852	2252.47133	
Tterm	Latitude 1	Longitude 1	Latitude 2	Longitude 2	Latitude 2	Longitude 2	Latitude 2	Longitude 2	Correct_Lat_2	Correct_Long_2	Correct_Lat_2	Correct_Long_2	Correct_Lat_3	Correct_Long_3	



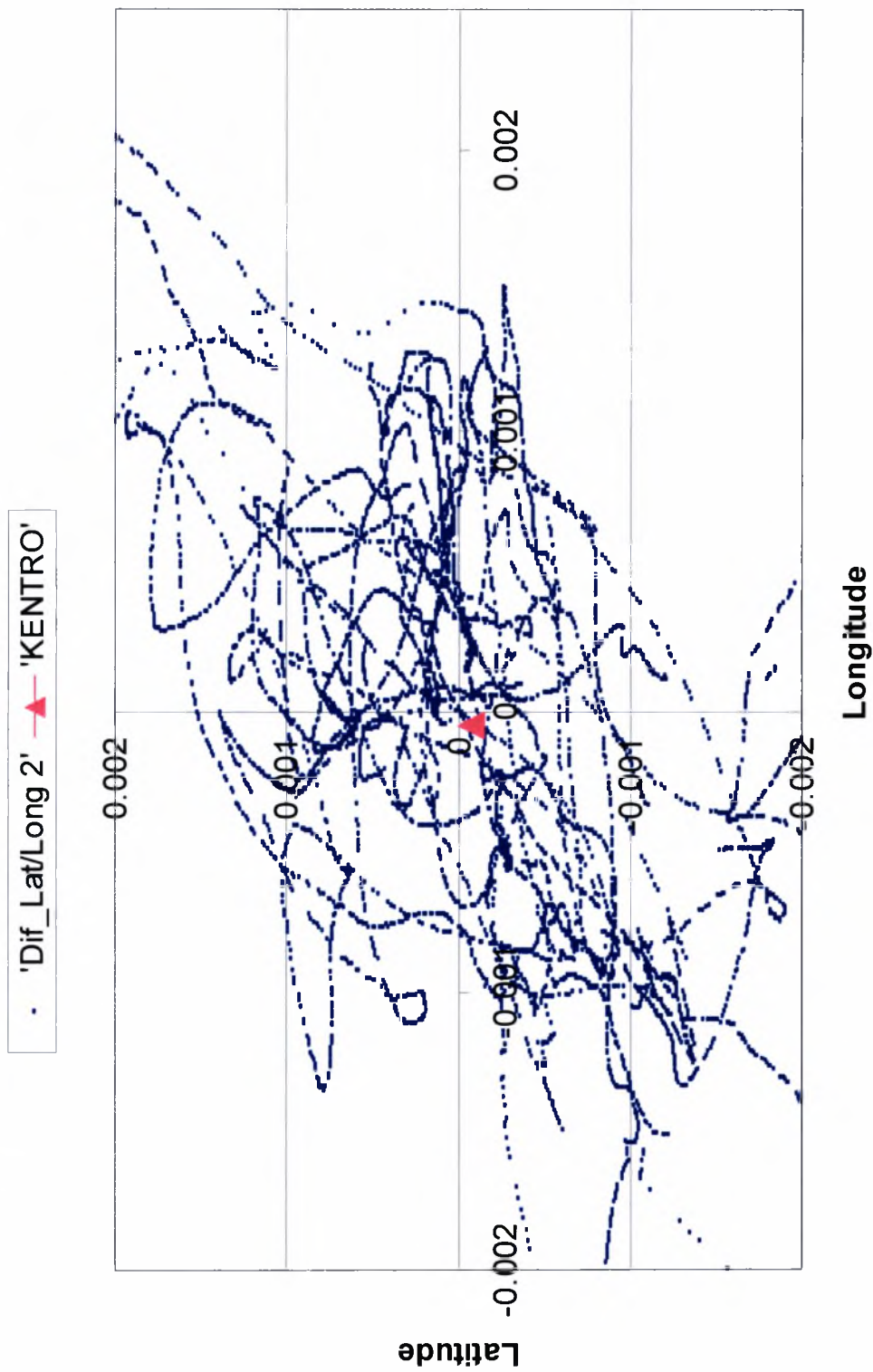
GPS 1		GPS 2	
	PDOP	Nr.Sats	Nr Sats
average	1.4	9.5	9.6
st.dev.	0.1	0.6	0.5
n	14435	14491	14490
max	1.8	11.0	10.0
min	1.2	9.0	8.0



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ Χ, Υ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΑΠΟΣΤΑΣΕΩΝ ΣΕ ΜΟΙΡΕΣ GPS 1 ΑΠΟ S3

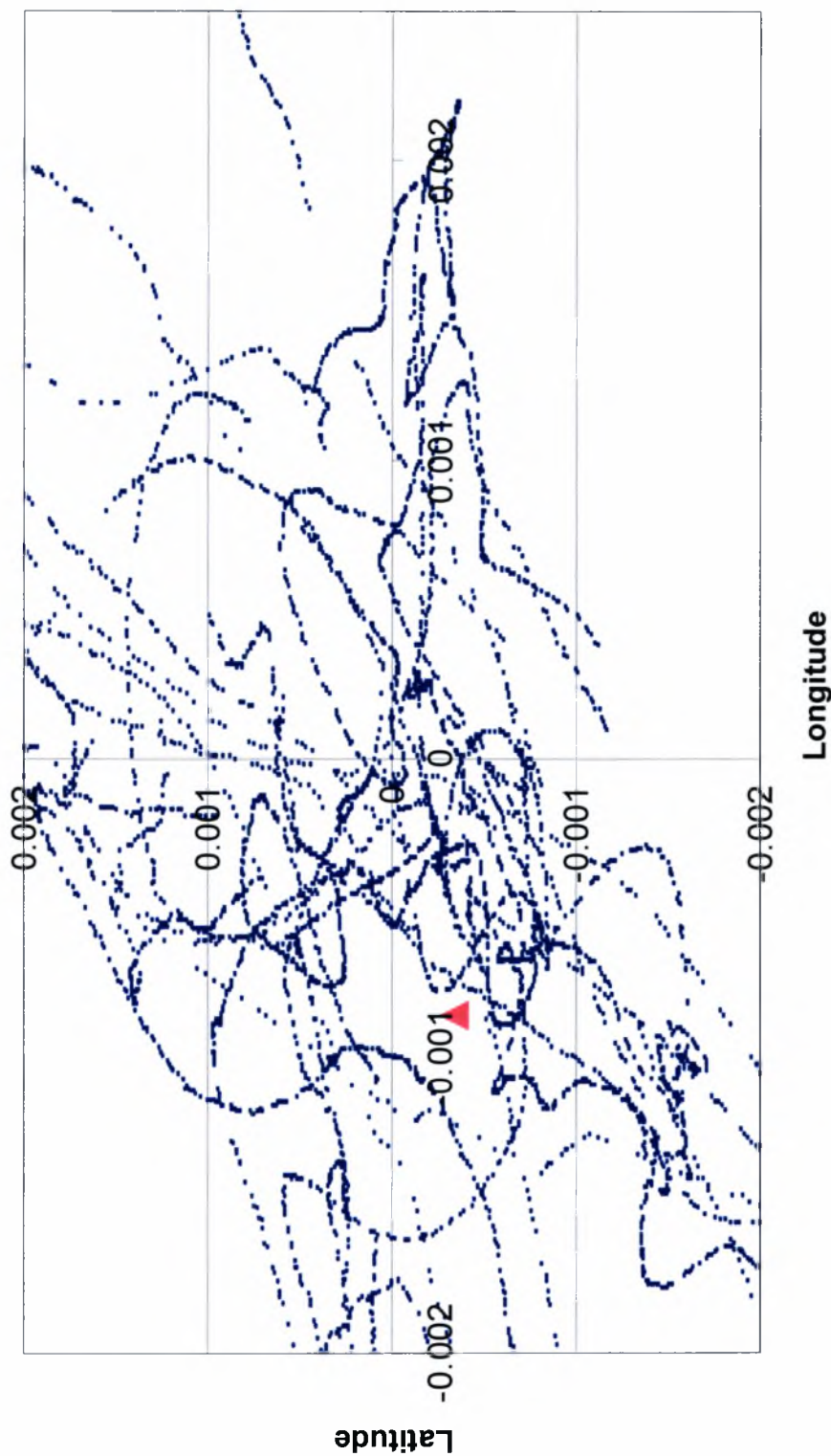


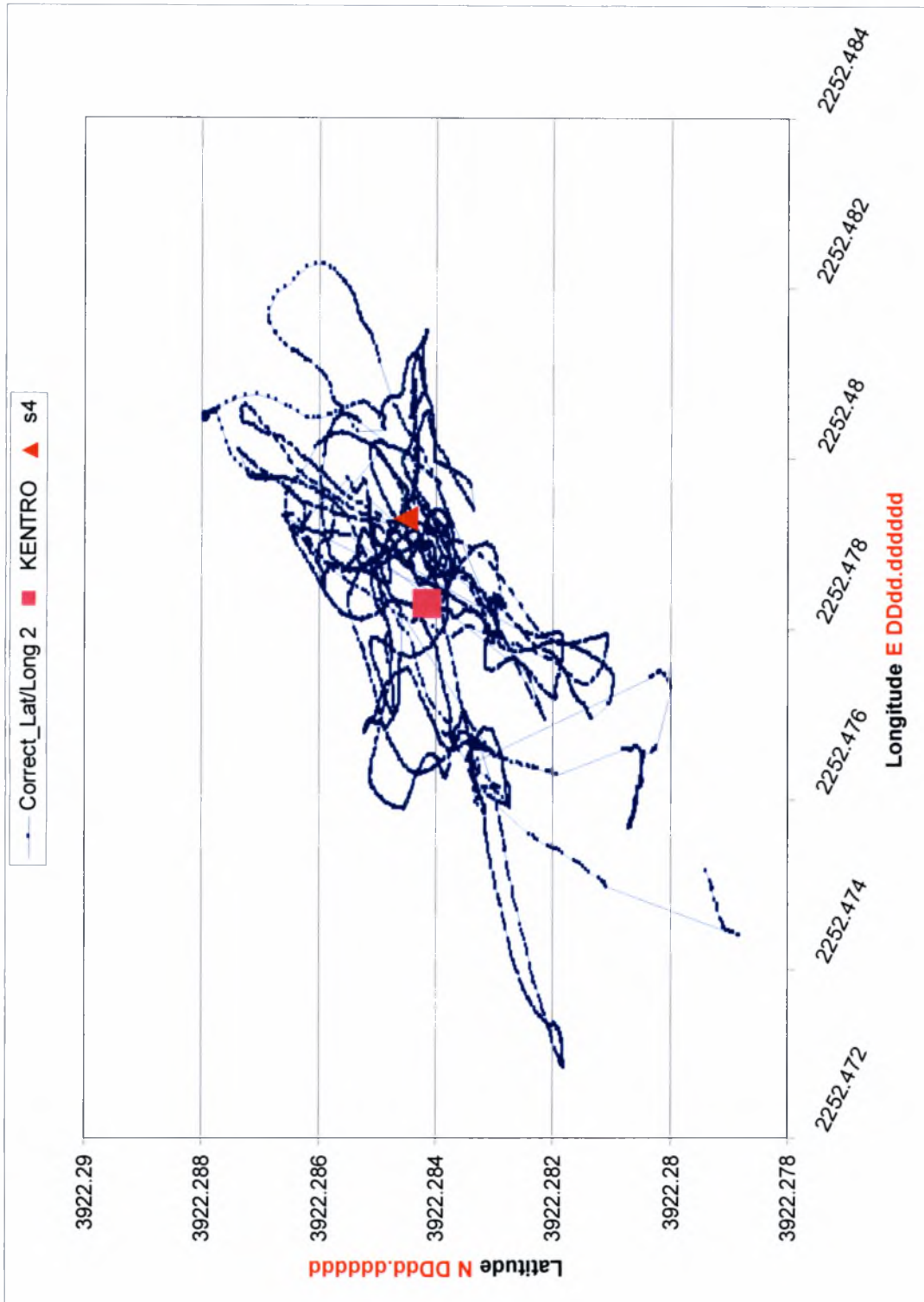
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ Χ,Υ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΑΠΟΣΤΑΣΕΩΝ ΣΕ ΜΟΙΡΕΣ GPS2 ΑΠΟ S4

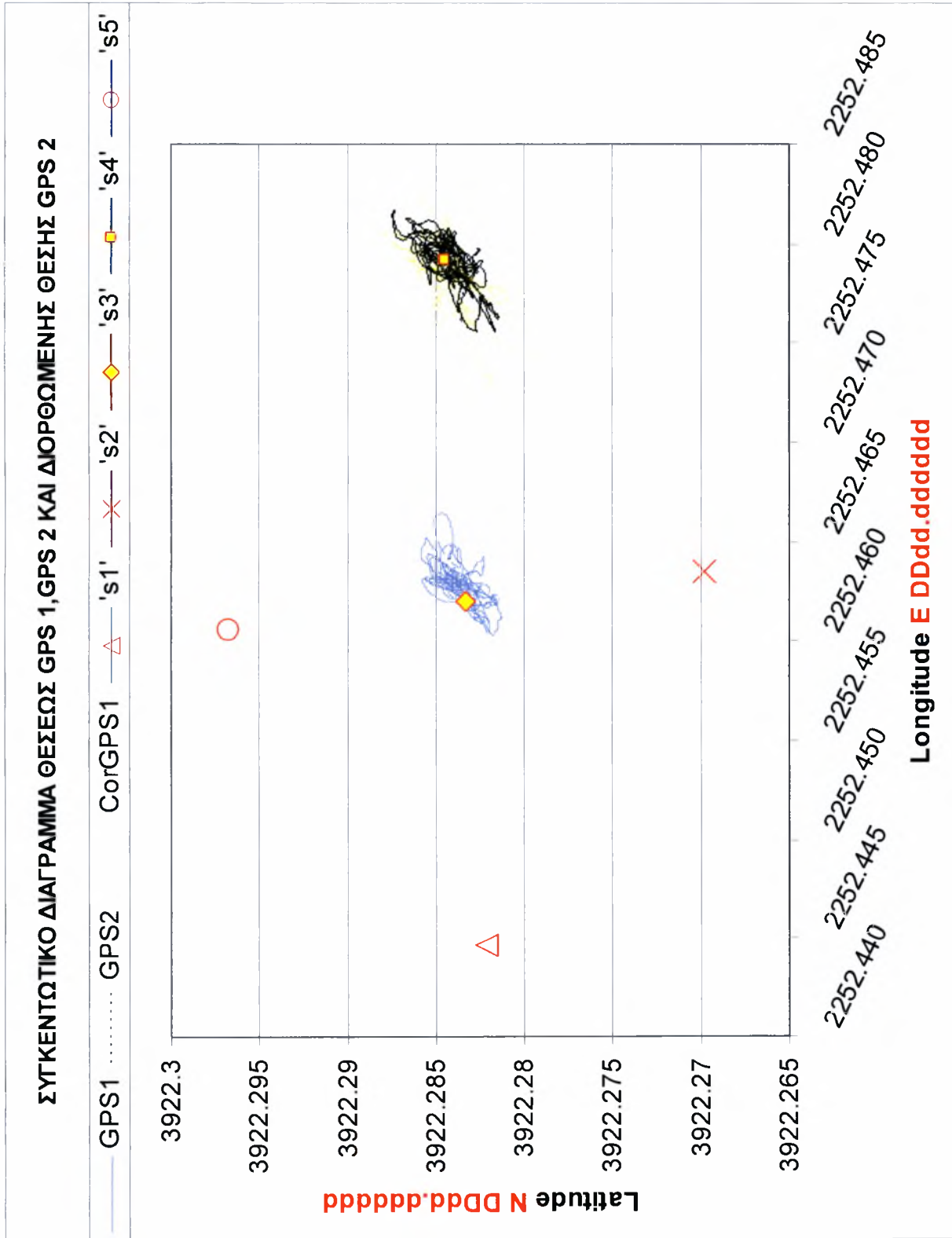


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ Χ,Υ ΔΙΟΡΘΩΜΕΝΗΣ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΘΕΣΗΣ ΣΕ ΜΟΙΡΕΣ GPS 2

· Relative P2' —▲ 'ΚΕΝΤΡΟ'







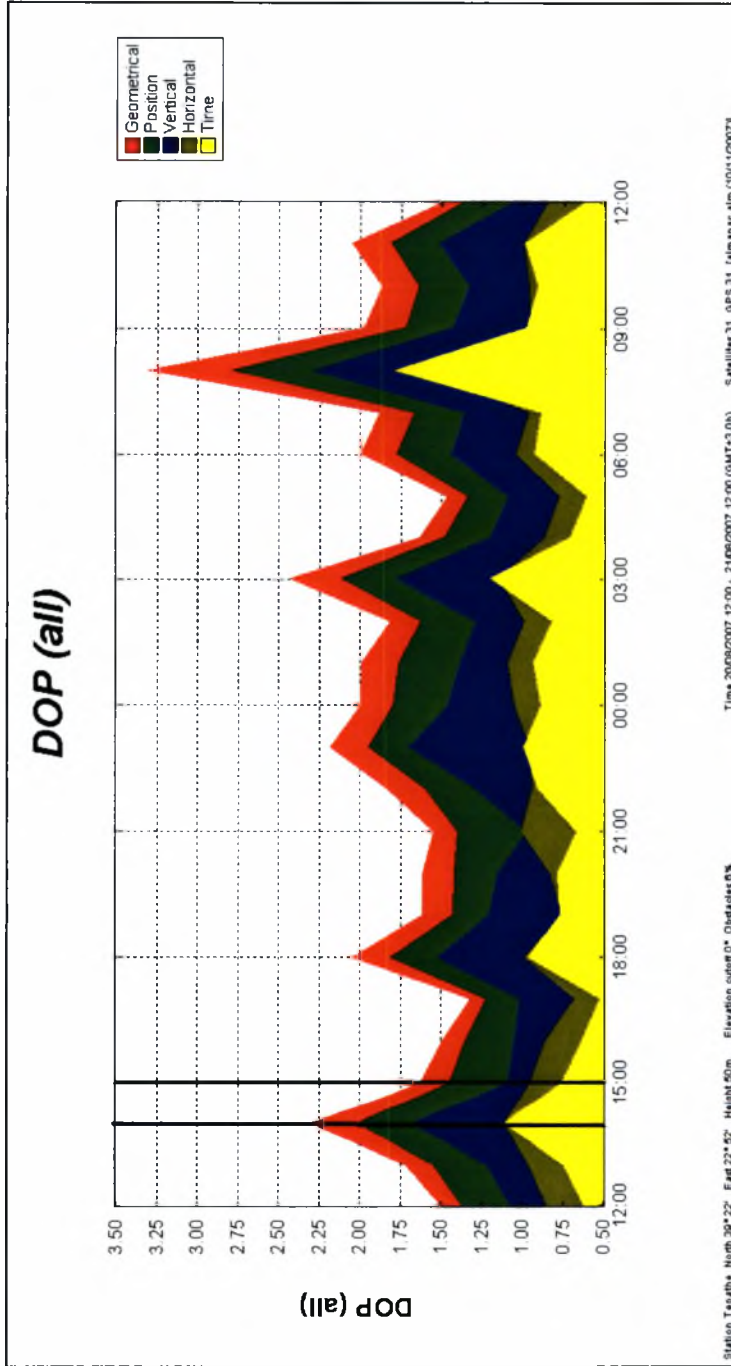
Χρόνος μέτρησης από (00:00'00") έως (00:59'59")

Σύνολο μετρήσεων (i=x)

Ημερομηνία Μετρήσεων 20/08/2007 14:00-15:00

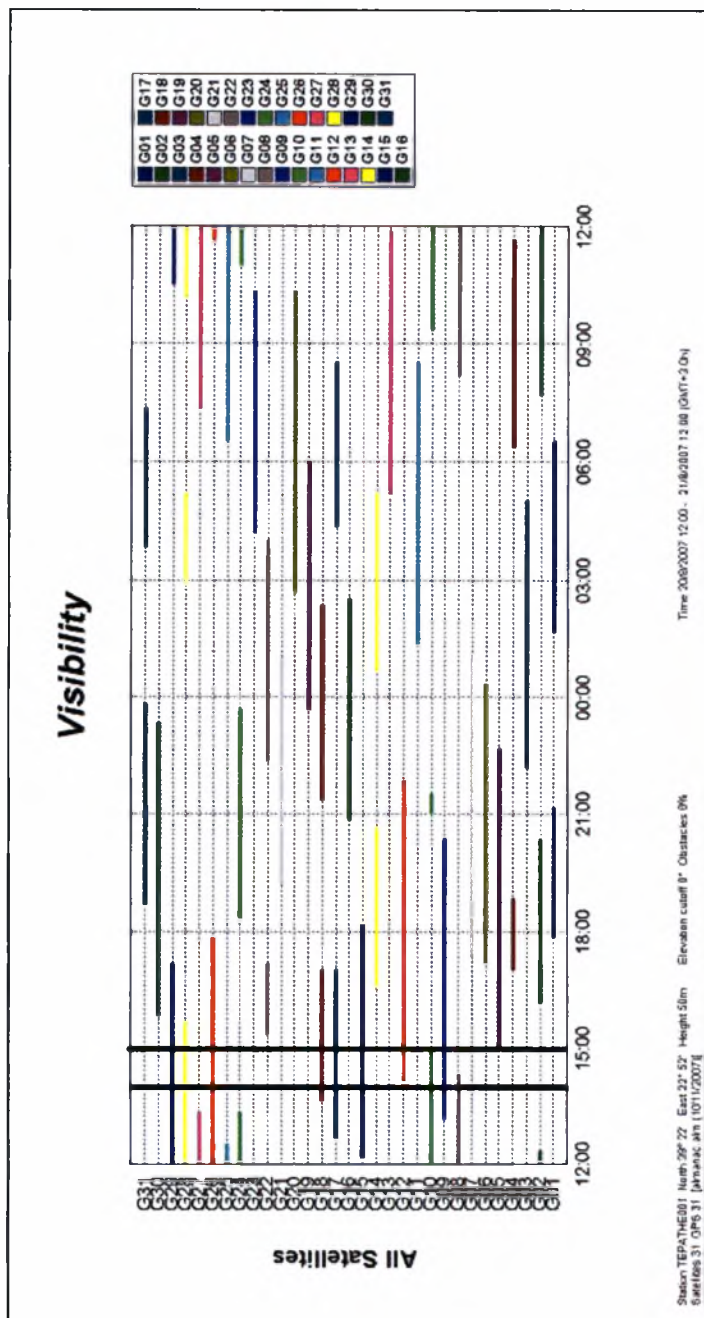
Analyzed		DATA		point 2		point 2 corrected	
STATISTICS	point 1	point 2	point 2	point 2	point 2	point 2	point 2
	DDMM.mmmmm	DD.ddddddd	N DDMM.mmmmm	E DD.ddddddd	N DDMM.mmmmm	E DD.ddddddd	
average	0.0012961	6.19552E-05	0.001172	0.000166189	-0.000106	8.9481E-05	
st.dev.	0.00071120	0.00103807	0.00064915	0.00073823	0.00089390	0.00103757	
n	9832	9832	9832	9832	11453	11453	
max	0.003297	0.004837	0.003072	0.002680	0.002105	0.002833	
min	-0.000083	-0.002063	-0.000498	-0.002600	-0.002755	-0.004497	
+/-σ	i	i	i	i	i	i	i
4.0	0.00414	0.00421	0.00377	0.00312	0.00347	0.00424	
3.5	0.00379	0.00370	0.00344	0.00275	0.00302	0.00372	
3.0	0.00343	0.00318	0.00312	0.00238	0.00258	0.00320	
2.5	0.00307	0.00266	0.00280	0.00201	0.00213	0.00268	
2.0	0.00272	0.00214	0.00247	0.00164	0.00168	0.00216	
1.5	0.00236	0.00162	0.00215	0.00127	0.00123	0.00165	
1.0	0.00201	0.00110	0.00182	0.00090	0.00079	0.00113	
0.5	0.00165	0.00058	0.00150	0.00054	0.00034	0.00061	
0.0	0.00130	0.00006	0.00117	0.00017	-0.00011	0.00009	
-0.5	0.00094	-0.00046	0.00085	-0.00020	-0.00055	-0.00043	
-1.0	0.00058	-0.00098	0.00052	-0.00057	-0.00100	-0.00095	
-1.5	0.00023	-0.00150	0.00020	-0.00094	-0.00145	-0.00147	
-2.0	-0.00013	-0.00201	-0.00013	-0.00131	-0.00189	-0.00199	
-2.5	-0.00048	-0.00253	-0.00045	-0.00168	-0.00234	-0.00250	
-3.0	-0.00084	-0.00305	-0.00077	-0.00205	-0.00279	-0.00302	
-3.5	-0.00119	-0.00357	-0.00110	-0.00242	-0.00323	-0.00354	
-4.0	-0.00155	-0.00409	-0.00142	-0.00279	-0.00368	-0.00406	
Tterm	Dif_Long_1	Dif_Lat_1	Dif_Long_2	Dif_Lat_2	Dif_Long_3	Dif_Lat_3	

	GPS 1				GPS 2				CORRECTED GPS 2		METERS CONVERSION
	DDMM.mmmmm	DD.ddddd	N DDMM.mmmmm	E DD.ddddd	DDMM.mmmmm	DD.ddddd	N DDMM.mmmmm	E DD.ddddd	N DDMM.mmmmm	E DD.ddddd	
average	3922.283524	2252.463304	3922.284891	2252.480580	3922.284891	2252.480580	3922.284891	2252.480580	3922.284624	2252.479164	Meters 1
st.dev.	0.001115	0.000691	0.000811	0.000684	0.000811	0.000684	0.000811	0.000684	0.00111916	0.00096367	2.57
n	15208	15208	15179	15179	15179	15179	15179	15179	9832	9832	1.27
max	3922.288130	2252.465300	3922.287280	2252.482240	3922.287280	2252.482240	3922.287280	2252.481393	3922.287353	2252.481393	9832
min	3922.281230	2252.461900	3922.282900	2252.478790	3922.282900	2252.478790	3922.282900	2252.476533	3922.280023	2252.476533	9.13
+/-σ	i	i	i	i	i	i	i	i	i	i	0.06
4.0	0.00414	0.00421	0.00414	0.00421	0.00414	0.00421	0.00414	0.00421	3922.28910	2252.48302	Meters 2
3.5	0.00379	0.00370	0.00379	0.00370	0.00379	0.00370	0.00379	0.00370	3922.28854	2252.48254	2.18
3.0	0.00343	0.00318	0.00343	0.00318	0.00343	0.00318	0.00343	0.00318	3922.28798	2252.48206	0.96
2.5	0.00307	0.00266	0.00307	0.00266	0.00307	0.00266	0.00307	0.00266	3922.28742	2252.48157	9832
2.0	0.00272	0.00214	0.00272	0.00214	0.00272	0.00214	0.00272	0.00214	3922.28686	2252.48109	5.41
1.5	0.00236	0.00162	0.00236	0.00162	0.00236	0.00162	0.00236	0.00162	3922.28630	2252.48061	0.05
1.0	0.00201	0.00110	0.00201	0.00110	0.00201	0.00110	0.00201	0.00110	3922.28574	2252.48013	Meters. Correct
0.5	0.00165	0.00058	0.00165	0.00058	0.00165	0.00058	0.00165	0.00058	3922.28518	2252.47965	2.16
0.0	0.00130	0.00006	0.00130	0.00006	0.00130	0.00006	0.00130	0.00006	3922.28462	2252.47916	1.27
-0.5	0.00094	-0.00046	0.00094	-0.00046	0.00094	-0.00046	0.00094	-0.00046	3922.28406	2252.47868	9832
-1.0	0.00058	-0.00098	0.00058	-0.00098	0.00058	-0.00098	0.00058	-0.00098	3922.28351	2252.47820	8.36
-1.5	0.00023	-0.00150	0.00023	-0.00150	0.00023	-0.00150	0.00023	-0.00150	3922.28295	2252.47772	0.01
-2.0	-0.00013	-0.00201	-0.00013	-0.00201	-0.00013	-0.00201	-0.00013	-0.00201	3922.28239	2252.47724	
-2.5	-0.00048	-0.00253	-0.00048	-0.00253	-0.00048	-0.00253	-0.00048	-0.00253	3922.28183	2252.47676	
-3.0	-0.00084	-0.00305	-0.00084	-0.00305	-0.00084	-0.00305	-0.00084	-0.00305	3922.28127	2252.47627	
-3.5	-0.00119	-0.00357	-0.00119	-0.00357	-0.00119	-0.00357	-0.00119	-0.00357	3922.28071	2252.47579	
-4.0	-0.00155	-0.00409	-0.00155	-0.00409	-0.00155	-0.00409	-0.00155	-0.00409	3922.28015	2252.47531	
Tterm	Latitude 1	Longitude 1	Latitude 2	Longitude 2	Latitude 2	Longitude 2	Latitude 2	Longitude 2	Correct_Lat 2	Correct_Long 3	



ΠΡΟΣΔΟΚΩΜΕΝΟ PDOP	
GPS 1	
PDOP	Nr. Sats. track
1.5	8.6
0.1	0.5
15209	15180
2.1	10.0
1.3	8.0

GPS 2	
PDOP	Nr Sats. track
1.5	8.8
0.1	0.6
15179	15179
10.0	10.0
8.0	8.0



ΠΡΟΣΔΟΚΩΜΕΝΟΙ ΔΟΥΡΟΦΟΡΟΙ ΣΕ ΘΕΑ

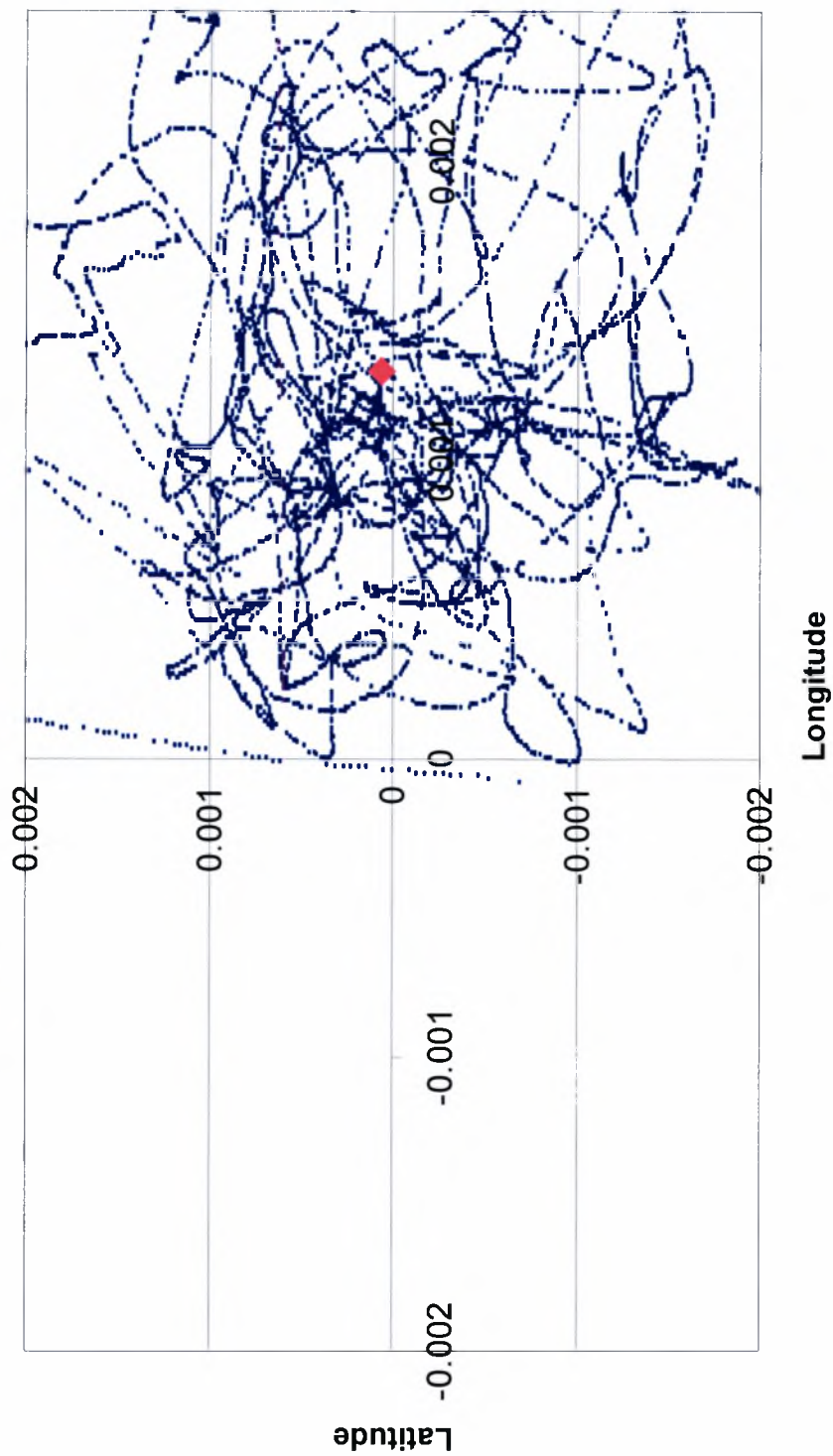
08,09,10,12,15,17,18,26,28,29

ΔΟΥΡΟΦΟΡΟΙ ΣΕ ΘΕΑ

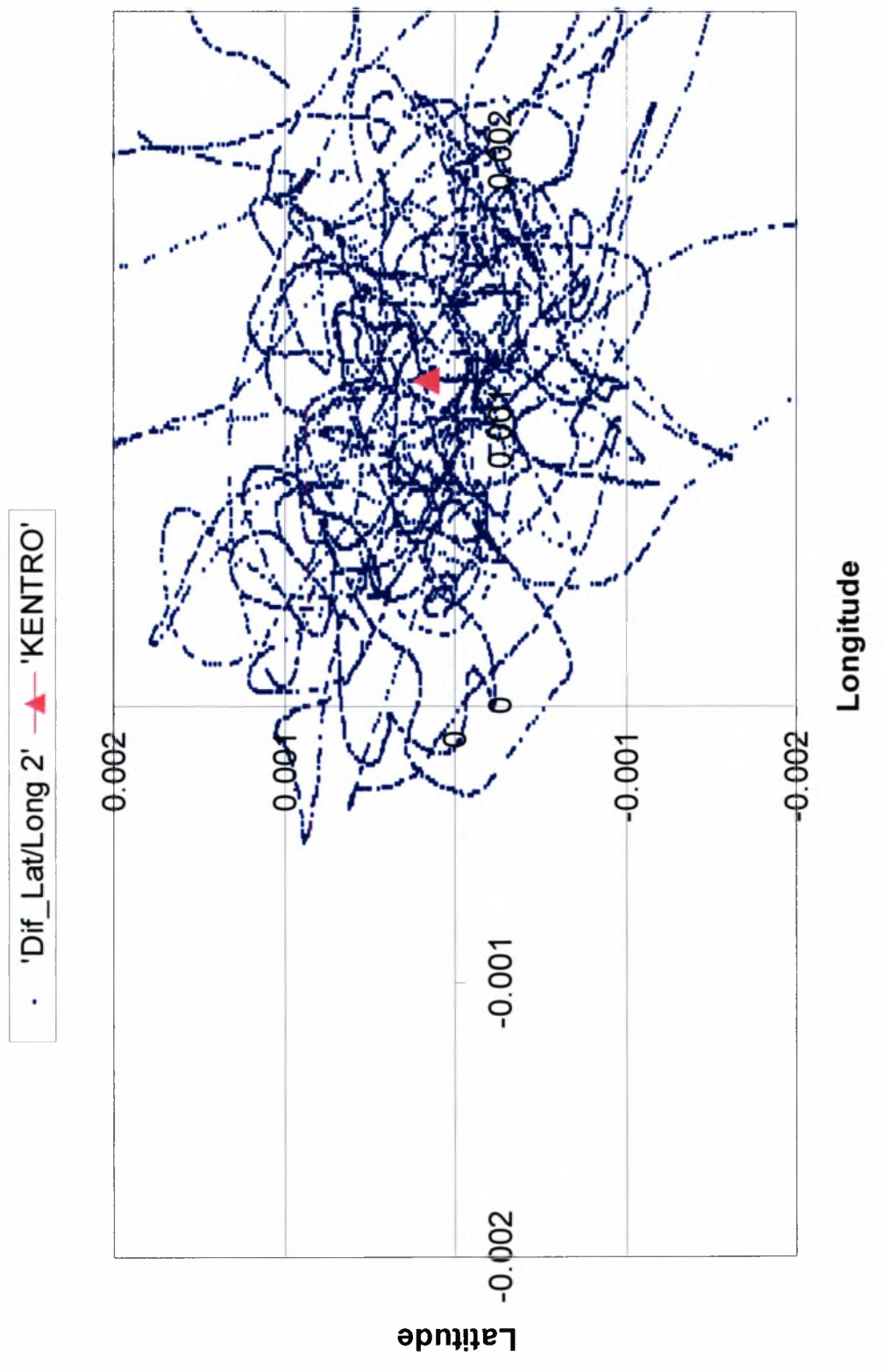
08,09,10,12,17,18,26,27,28,29

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ Χ,Υ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΑΠΟΣΤΑΣΕΩΝ ΣΕ ΜΟΙΡΕΣ GPS 1 ΑΠΟ S3

· Dif Lat/Long 1 —♦— ΚΕΝΤΡΟ

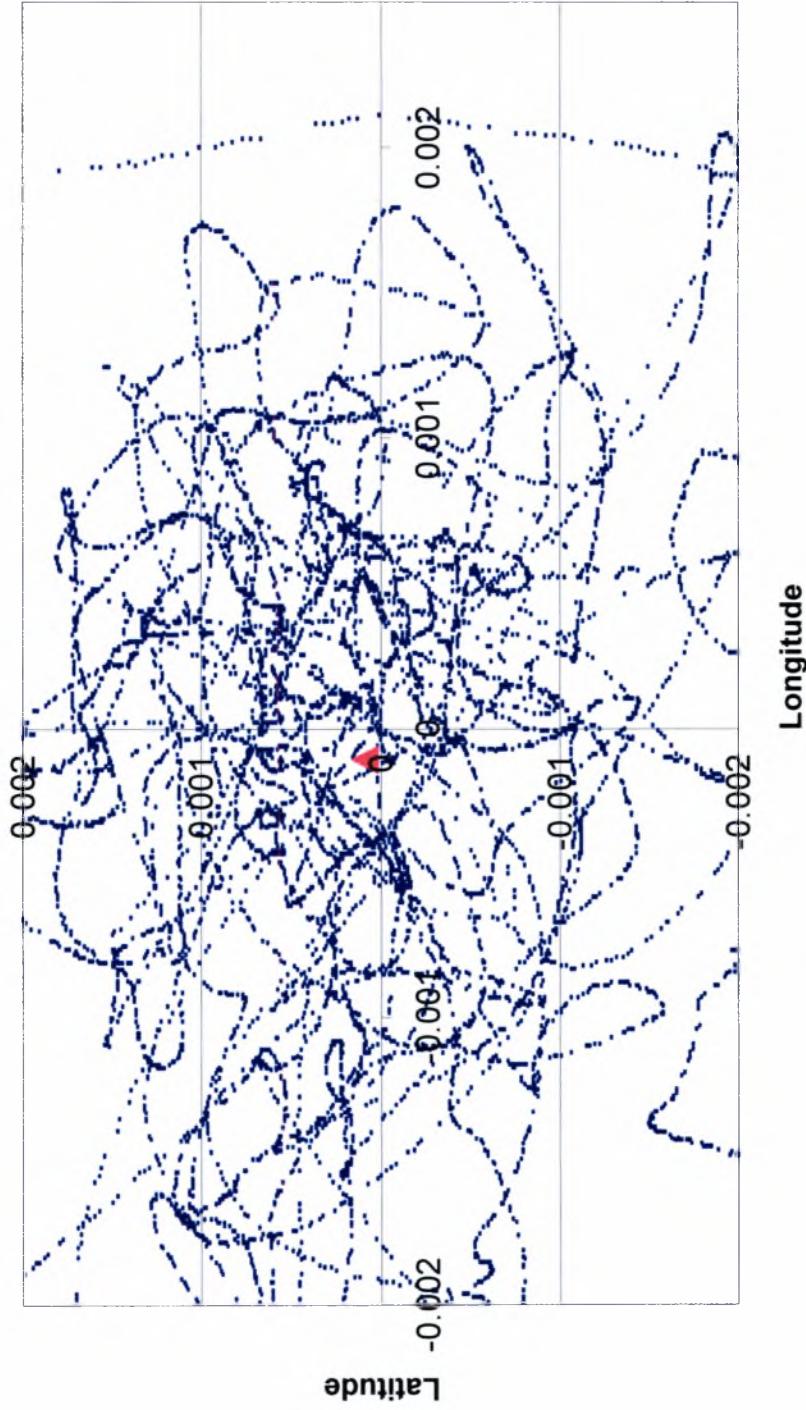


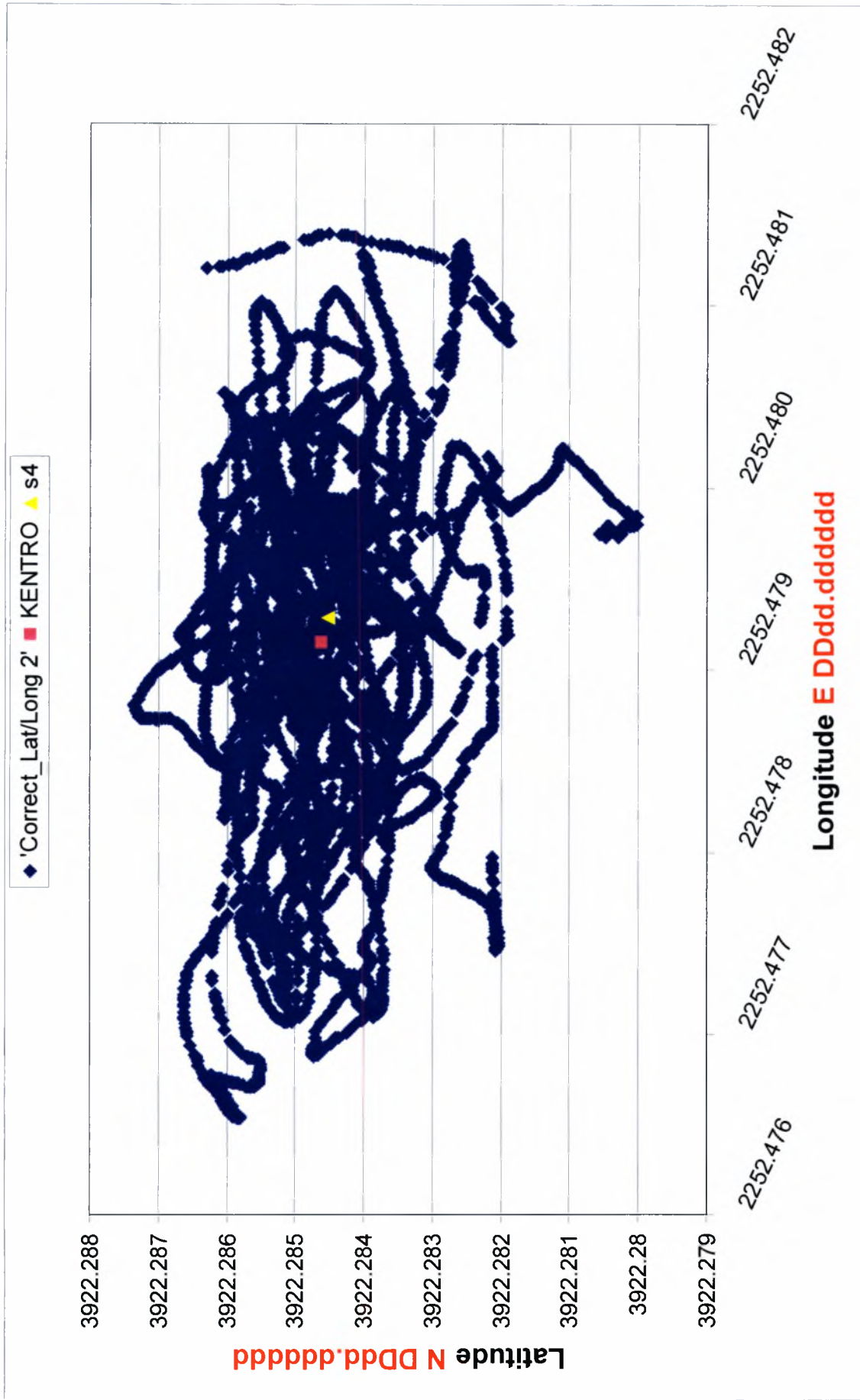
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ Χ, Υ ΔΙΑΦΩΡΩΝ ΑΠΟΣΤΑΣΕΩΝ ΣΕ ΜΟΙΡΕΣ GPS2 ΑΠΟ S4

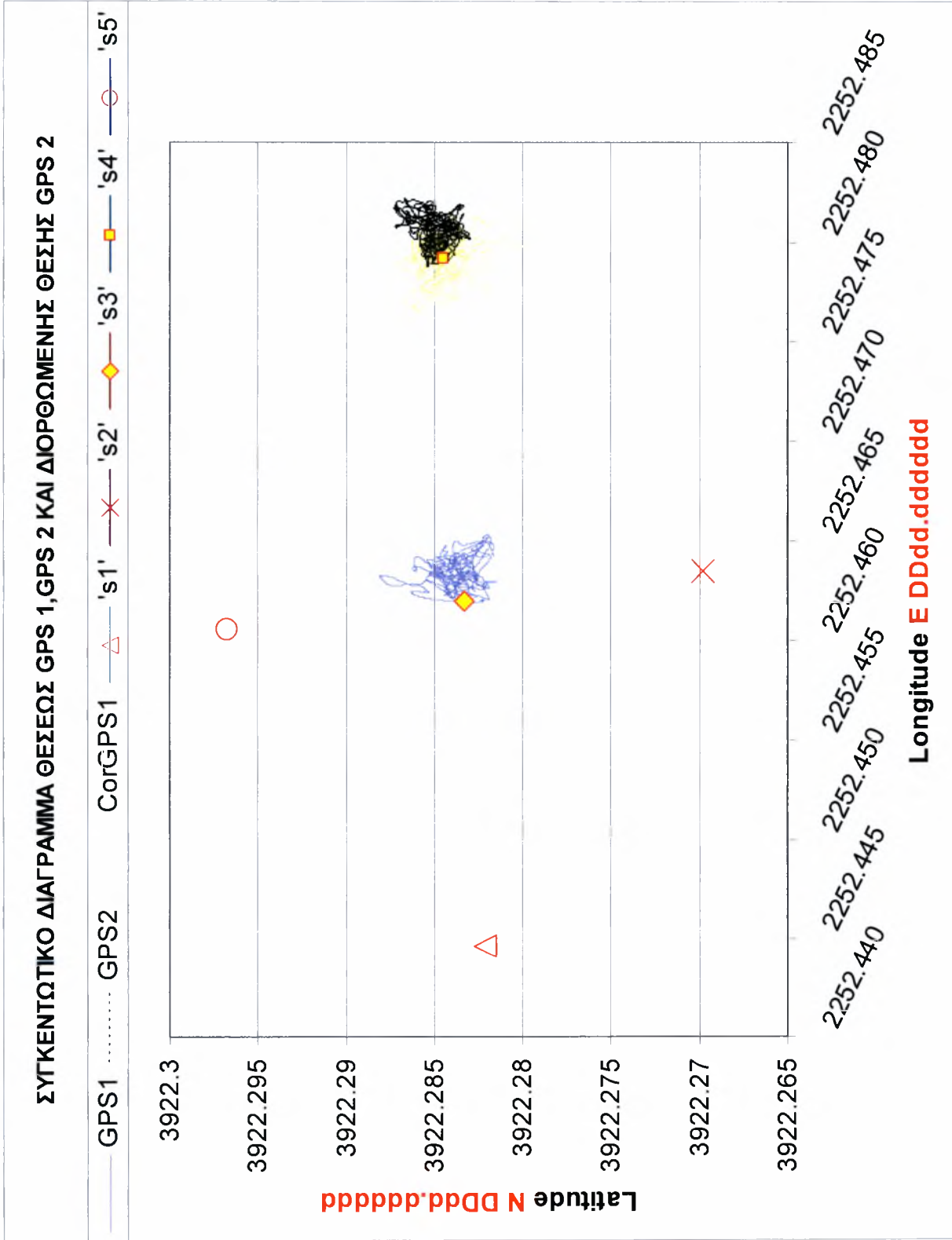


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ Χ,Υ ΔΙΟΡΘΩΜΕΝΗΣ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΘΕΣΗΣ ΣΕ ΜΟΙΡΕΣ GPS 2

· Relative P2' —▲ 'ΚΕΝΤΡΟ'



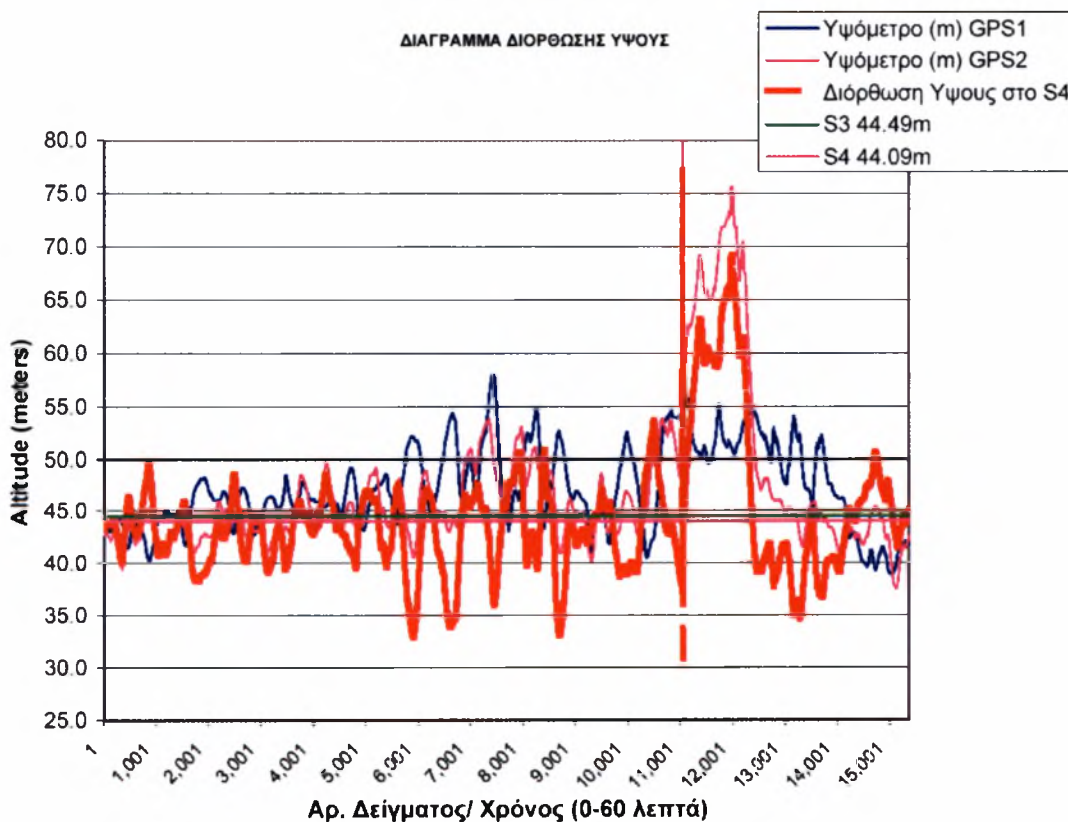




Διόρθωση ύψους

χρόνος μέτρησης	από	έως	Ημερομηνία Μετρήσεων
(00:00'00")	(00:59'59")	22/08/2007 05:00-06:00	

	GPS 1 Altitude(m)	GPS 2 Altitude(m)	Error(m)	Διόρθωση του GPS 2 Altitude (2)
average	47.31	47.12	3.02	44.30
τυπική απόκλιση (σ)	3.99	6.93	6.93	6.00
εύρος (+/- 3σ)	11.98	20.80	20.80	18.00
Αρ. σημείων	15362	15362	15362	15362
Z max	58.00	87.20	43.10	77.20
Z min	38.80	37.50	-6.60	30.90



15. Βιβλιογραφία

α) Ελληνική

Ανδριτσάνος Β. Δ., Κεχαΐδου Κ. Ε. (1996). Βελτιστοποίηση τοπικού γεωειδούς με δεδομένα βαρύτητας, τοπογραφίας, πυκνότητας και GPS με χρήση πακέτων FFT και GIS. Διπλωματική εργασία, Τομέας Γεωδαισίας και τοπογραφίας, ΤΑΤΜ-ΑΠΘ.

Ανδριτσάνος ΒΔ, Πικρίδας Χ, Τζιαβός ΗΝ (1997). Σύγχρονες γεωδαιτικές εφαρμογές του GPS. ΤΕΕ-Τμήμα Κεντρικής Μακεδονίας, Σεμινάριο Επαγγελματικής Κατάρτισης, 24-29 Νοεμβρίου 1997.

Δερμάνης Α., Φωτίου Α. (1992). Μέθοδοι και εφαρμογές συνόρθωσης παρατηρήσεων. Εκδόσεις Ζήτη Θεσσαλονίκη.

Δερμάνης Α. (1999). Διαστημικές μέθοδοι Γεωδαισίας και Γεωδυναμικής. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.

Κατσάμπαλος. Κ. (2001). Σημειώσεις στα πλαίσια του μεταπτυχιακού μαθήματος <<Εφαρμογές διαστημικών μεθόδων>>. Τμήμα Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχ/κων, Α.Π.Θ.

Κατσάμπαλος Κ., Τζιαβός Η. Ν. (1991). Φυσική Γεωδαισία. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.

Λιβιεράτος Ε., Φωτίου Α. (1993). Ελλειψοειδής Γεωδαισία και Γεωδαιτικά Δίκτυα. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.

Ρωσσικόπουλος Δ. (1998). Δίκτυα GPS - Διδακτικές σημειώσεις, Τμήμα Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών Α.Π.Θ.

Ρωσσικόπουλος Δ, Φωτίου Α. (1993). GPS Χωρίς Εξισώσεις, Ενημερωτικό Δελτίο Συλλόγου ΑΤΜ Βορείου Ελλάδος, Επιστημονικά Θέματα, Τεύχη 33 και 34, Θεσσαλονίκη.

Φωτίου Α., Πικρίδας Χ. (2001). Το δορυφορικό σύστημα GPS. Διδακτικές σημειώσεις Τ.Α.Τ.Μ, Α.Π.Θ.

β) Ξενόγλωσση

Ashjaee J., Lorenz R. (1992). Precision GPS surveying after Y-code. Proceedings of ION GPS-92, Fifth International Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation, Albuquerque, New Mexico, September 16-18, 657-659.

Bock Y, Shimada S (1990). Continuously monitoring GPS networks for deformation measurements. In Bock, Lepard (eds), 40-56.

Georgiadoy Y., Kleusberg A. (1998). On carrier signal multipath effects in relative GPS positioning. *Manu Geod* 13,172-179, 188.

Goad C. C., Muller A. (1988). An auto med procedure for generating an optimum set of independent double difference observables using GPS carrier phase measurement. *Manu geod*, (13) 365-369.

Hofmann-Wellenhof B., Lichtenegger H., Collins J. (1994). *Global Positioning System. Theory and Practice*, Springer-Verlag, New York.

Kahman H., Feig W. (1998). *GPS Surveing*. W. de Gryter, Berlin-New York.

Kelso T. S. (1995). *Satellite Times-Orbital Coordinate Systems. Part-I* September/October 1995, *Part-II* November/December 1995, *Part-III* January/February 1996.

Kleusberg et al., Teunissen PJG (1997). *Lecture Notes in the 2nd International School GPS for Geodesy*, Delft, The Netherlands, March 2-8.

Klobucher J. A. (1991). Ionospheric effecton GPS, *GPS world* 2(4) 48-51.

Morris H. DeGroot, Addison Wesley (1989) ISBN 0-201-11366-X, *Probability ans Statistics*.

Reinish B. W., Huang X., Belehaki A., Jodogne J-C (2001). *Bottom and Topside Ionospheric TEC. Obtained From Ground-Based Ionosonde Measurments*. *Beacon Satelite Symposium Proceedings*.

Saastamoinen J. (1973). Contributions to the theory of atmospheric refraction. *Bull Geiod*,107.

Wanninger (1992). Monitoring total electron ionospheric content and ionospheric irregularities with GPS. In: De Munck, spoeistra (eds) 141-146.

Wanninger L., Jahn C. H. (1991). Effects of severe ionoshperic conditions of GPS data processing, IAG symp. G-2, *Permanent Satelite Tracking Networks for Geodesy and Geodynamics*. IUGG General Assemply, Vienna.

Wells, D.E. et. al., *"Guide to GPS Positioning"*, Canadian Institute of Surveying and Mapping, Ottawa, Ontario, CANADA.

16. Παραρτήματα

**Πίνακας επεξηγήσεων μετρούμενων μεγεθών όπως λαμβάνονται από τους δέκτες
GPS βάσει του πρωτοκόλλου NMEA 0183**

File type text (ASCII)	Yymmdd_hh_x.txt	x:= (1 for GPS 1, 2 for GPS 2)	As collected by GPS 1 or GPS 2
Parameters Collected	Units		-//-
Date			-//-
Time	UTC		-//-
Latitude	DDmm.mmmmm		-//-
N/S	N: North, S: South		-//-
Longitude	DDmm.mmmmm		-//-
E/W	E: East, W: West		-//-
Altitude	Meters	Ύψος	-//-
Height of Geoid	Meters	Ύψος από γεωειδές	-//-
TR Speed GND	m/sec		-//-
TR Angle GND	DD.ddddd		-//-
D Fix			-//-
Fix Quality			-//-
PDOP	measure		-//-
HDOP	Measure		-//-
VDOP	Measure		-//-
OPE	Meters		-//-
HPE	Meters		-//-
VPE	Meters		-//-
Nr SAT View	Integer		-//-
Nr SAT Track	Integer		-//-
Nr SAT Fix	Integer		-//-
Position			-//-
S1 PRN			-//-
S1 Elev			-//-
S1 Az			-//-
S1 SNR			-//-
S2 PRN			-//-
S2 Elev			-//-
S2 Az			-//-
S2 SNR			-//-
S3 PRN			-//-
S3 Elev			-//-
S3 Az			-//-
S3 SNR			-//-
S4 PRN			-//-
S4 Elev			-//-
S4 Az			-//-
S4 SNR			-//-
S5 PRN			-//-
S5 Elev			-//-
S5 Az			-//-
S5 SNR			-//-
S6 PRN			-//-
S6 Elev			-//-

S6 Az			-//-
S6 SNR			-//-
S7 PRN			-//-
S7 Elev			-//-
S7 Az			-//-
S7 SNR			-//-
S8 PRN			-//-
S8 Elev			-//-
S8 Az			-//-
S8 SNR			-//-
S9 PRN			-//-
S9 Elev			-//-
S9 Az			-//-
S9 SNR			-//-
S10 PRN			-//-
S10 Elev			-//-
S10 Az			-//-
S10 SNR			-//-
S11 PRN			-//-
S11 Elev			-//-
S11 Az			-//-
S11 SNR			-//-
S12 PRN			-//-
S12 Elev			-//-
S12 Az			-//-
S12 SNR			-//-
Validity			-//-

Πίνακας επεξηγήσεων υπολογιζόμενων μεγεθών.

File type .txt	Υymmdd_hh_0.txt		As calculated by LabView (v.8) procedures
Date	Ημερομηνία	UTC από το GPS 1	
Time	Ώρα	UTC από το GPS 1	
Vect Ang S1	Γωνία σε μοίρες	Του μετρηθέντος στίγματος από την γεωγραφική θέση που τοποθετήθηκε.	Atan2((Dif_Long_1), (Dif_Lat_1))
Vect Amp S1	Απόσταση σε μοίρες		$\sqrt{(Dif_Long_1^2 + Dif_Lat_1^2)}$
Vect Ang S2	Γωνία σε μοίρες	Του μετρηθέντος στίγματος από την γεωγραφική θέση που τοποθετήθηκε.	Atan2((Dif_Long_2), (Dif_Lat_2))
Vect Amp S2	Απόσταση σε μοίρες		$\sqrt{(Dif_Long_2^2 + Dif_Lat_2^2)}$
Vect Ang S3	Γωνία σε μοίρες	Του μετρηθέντος στίγματος από την γεωγραφική θέση που τοποθετήθηκε.	Atan2((Dif_Long_3), (Dif_Lat_3))
Vect Amp S3	Απόσταση σε μοίρες		$\sqrt{(Dif_Long_3^2 + Dif_Lat_3^2)}$
Dif Long 1	Απόσταση σε μοίρες	Του μετρηθέντος πλάτους από την γεωγραφική θέση που τοποθετήθηκε.	= Longitude measured GPS 1 – Real Longitude Located GPS 1
Dif Lat 1	Απόσταση σε μοίρες	Του μετρηθέντος μήκους από την γεωγραφική θέση που τοποθετήθηκε.	= Latitude measured GPS 1 – Real Latitude Located GPS 1
Dif Alt 1	Απόσταση σε μέτρα	Του μετρηθέντος ύψους από την	= Altitude measured GPS 1 –

		γεωγραφική θέση που τοποθετήθηκε.	Real Altitude Located GPS 1
Dif Long 2	Απόσταση σε μοίρες	Του μετρηθέντος πλάτους από την γεωγραφική θέση που τοποθετήθηκε.	= Longitude measured GPS 2 – Real Longitude Located GPS 2
Dif Lat 2	Απόσταση σε μοίρες	Του μετρηθέντος μήκους από την γεωγραφική θέση που τοποθετήθηκε.	= Latitude measured GPS 2 – Real Latitude Located GPS 2
Dif Alt 2	Απόσταση σε μέτρα	Του μετρηθέντος ύψους από την γεωγραφική θέση που τοποθετήθηκε.	= Altitude measured GPS 2 – Real Altitude Located GPS 2
Dif Long 3	Απόσταση σε μοίρες	Του μετρηθέντος πλάτους από την γεωγραφική θέση που τοποθετήθηκε.	= Longitude measured GPS 3 – Real Longitude Located GPS 3
Dif Lat 3	Απόσταση σε μοίρες	Του μετρηθέντος μήκους από την γεωγραφική θέση που τοποθετήθηκε.	= Latitude measured GPS 3 – Real Latitude Located GPS 3
Dif Alt 3	Απόσταση σε μέτρα	Του μετρηθέντος ύψους από την γεωγραφική θέση που τοποθετήθηκε.	= Altitude measured GPS 3 – Real Altitude Located GPS 3
Corect Long 2	Απόσταση σε μοίρες	Του διορθωμένου πλάτους από την γεωγραφική θέση που τοποθετήθηκε.	= Longitude measured GPS 2 – Dif_Long_1
Corect Lat 2	Απόσταση σε μοίρες	Του διορθωμένου μήκους από την γεωγραφική θέση που τοποθετήθηκε.	= Latitude measured GPS 2 – Dif_Lat_1
Same Time	TRUE εάν το αποτέλεσμα υπολογίσθηκε με την ίδια ώρα στα GPS		
Same Sat	TRUE εάν το αποτέλεσμα υπολογίσθηκε με τούς ίδιους δορυφόρους στα επιμέρους GPS		Για κάθε NOT XOR PRN_of_SAT_4_FIX_1, PRN_of_SAT_4_FIX_2, PRN_of_SAT_4_FIX_3
Same Valid	TRUE εάν το αποτέλεσμα υπολογίσθηκε με VALID μετρήσεις στα GPS		
Meters 1	Απόσταση σε μέτρα	Του μετρηθέντος στίγματος από την γεωγραφική θέση που τοποθετήθηκε.	
Meters 2	Απόσταση σε μέτρα	Του μετρηθέντος στίγματος από την γεωγραφική θέση που τοποθετήθηκε.	
Meters 3	Απόσταση σε μέτρα	Του μετρηθέντος στίγματος από την γεωγραφική θέση που τοποθετήθηκε.	
Corect Meters 2	Απόσταση σε μέτρα	Του διορθωμένου ως προς GPS 1 στίγματος από τη θέση που τοποθετήθηκε.	
Corect Meters 3	Απόσταση σε μέτρα	Του διορθωμένου ως προς GPS 1 στίγματος από τη θέση που τοποθετήθηκε.	



DEPARTMENT OF THE AIR FORCE
50TH SPACE WING (AFSPC)

29 SEP 2006

MEMORANDUM FOR GPS USERS AND USER EQUIPMENT (UE) MANUFACTURERS

FROM: 50 SW/CC and GPS WG/CC

SUBJECT: PRN 12 and 32 Return To Ops and WAGE Impacts

1. Presently, the GPS constellation contains under 30 operational satellites and may grow to a size of up to 32 satellites based on satellite longevity and scheduled replenishment launches. Since GPS reached full operational capability on 17 July 1995, the GPS constellation has reached a size of 30 satellites twice. Our recent launch on 25 September 2006, plus our planned next launch in November will produce the largest-ever GPS constellation of 31 satellites assuming no additional GPS satellites are decommissioned.
2. The GPS constellation size is currently limited to 32 satellites based on 32 unique satellite-identifier codes called pseudo-random noise (PRN) codes or "PRNs" for short. Each satellite broadcast signal has an embedded PRN code for GPS receiver processing. Only 32 operational PRNs are listed in the technical interface specification, IS-GPS-200. This particular specification has successfully served GPS equipment manufacturers since they have effectively used this spec for multiple GPS receiver designs.
3. Although future versions of our interface spec, IS-GPS-200, will accommodate a larger constellation for the next generation GPS, the most pressing concern is with potential impacts to existing fielded GPS receivers that may not properly account for up to 32 operational PRNs. Because a top priority is to minimize the impact to GPS equipment that may not have accounted for a constellation size of up to 32 satellites, the 50th Space Wing and GPS Wing requests that vendors and managers of GPS user equipment and GPS integrated platforms evaluate the impact to their equipment of processing more than 30 PRN codes.
4. An important set of GPS military users employ the encrypted Wide-Area GPS Enhancement (WAGE) message for improved accuracy. These users may have a PRN limit of 30 in their implementation; therefore, we are concerned with the impact of broadcasting more than 30 PRNs to WAGE-enabled receivers.
5. Another important set of GPS users have experienced a problem with PRN #32 related to the 5-bit PRN code allocation and subsequent processing. For example, some older GPS receivers (i.e., Precision Lightweight GPS Receiver (PLGR) and Miniaturized Airborne GPS Receiver (MAGR)) represented PRN #32 as "00" in the display or on the serial port. The 50th Space Wing and the GPS Wing notified users of this problem in order to take corrective actions. Even so, PRN #32 has not been broadcast since the early 1990s. Hence, we are concerned with the impact to users by the reactivation of PRN #32. Platform integrators that adhered to MIL-STD-1553 multiplex bus interface specification, IS-GPS-059, should not experience any issues with

MASTER OF SPACE

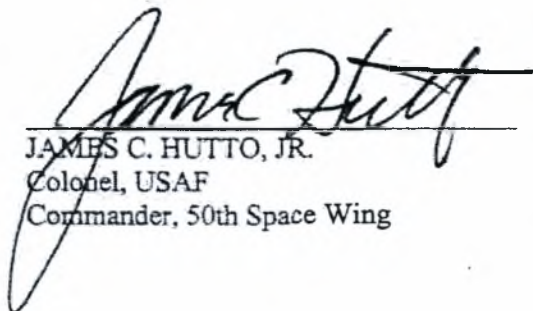
the reactivation of PRN #32. For platforms that integrate, embed or depend on GPS for PNT data, please ensure that the device is compliant with IS- GPS-059.

6. In summary, we need to know specifically:


- Do you rely on WAGE and, if so, would your mission be jeopardized without WAGE?
- Will broadcasting all PRNs (1 thru 32) cause any issues with your systems?

We want to continue to provide the world's best precision navigation and timing. In order to do so, it is important that we prepare to operationalize all 32 PRNs. To help us ensure we identify and minimize impacts to users, please respond to the questions above and contact the 50 SW GPS Operations Center (GPSOC) by 20 Oct 06 at 719-567-2541 or email:

"GPS_Support@schriever.af.mil" on any potential impacts. Major Erin Carraher is the GPS Wing point of contact and can be reached at (310) 653-3154, "Erin.Carraher@losangeles.af.mil". Thank you in advance for your assistance.



JAMES C. HUTTO, JR.
Colonel, USAF
Commander, 50th Space Wing



WESLEY A. BALLENGER, JR.
Colonel, USAF
Commander, Global Positioning Systems Wing

MASTER OF SPACE

A CASE STUDY: U.S. AIR FORCE GPSOC IMPROVED GPS ACCURACY IN THE FIELD

Challenge:

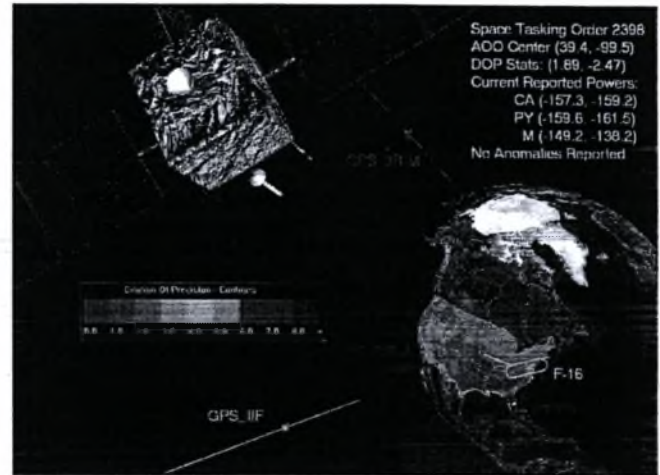
The GPS Operations Center (GPSOC) at Shriever AFB needed to upgrade its software to assess how GPS receivers perform under specific conditions so GPSOC personnel could provide reliable support to warfighters in the field.

Solution:

Navigation Tool Kit (NavTK)

Results:

By installing NavTK, the GPSOC provided GPS users around the world a multitude of new capabilities quickly. The Center can now assess whether situational circumstances are causing disruptions to GPS units in operational environments.



The U.S. Air Force's 2nd Space Operations Squadron (2SOPS), Schriever AFB, CO, performs the command-and-control mission for the GPS satellite constellation. 2SOPS' GPS Operations Center (GPSOC) is the DoD's focal point for GPS receiver operational issues and serves as the interface to the civil community through the U.S. Coast Guard's Navigation Center and Federal Aviation Administration's National Operations Control Center. Military users of GPS call the GPSOC to learn what's affecting their receivers, and mission planners turn to it to provide specific in-field information. The GPSOC also makes routine dilution of precision (DOP) and accuracy predictions as well as past accuracy assessments for theaters requiring the information.

When it was originally formed, the GPSOC provided daily predictions and accuracy assessments showing the signal-in-space (SIS) accuracy of the GPS constellation and the noise behavior of a typical GPS receiver. This provided general accuracy characteristics for mission planning. However, mission planners needed to know how their GPS receivers would perform at a certain place and time, under specific conditions, so they could plan exacting, precise missions. And, they needed the information quickly.

In January, the GPSOC installed its first commercial off-the-shelf product, Navigation Tool Kit (NavTK), to bring in-depth information to military GPS users in a short time frame. NavTK software allows the GPSOC to model specific GPS receivers; terrain; environmental characteristics; and land, sea, air, space, and weapon platform details; while providing receiver interference analysis to dynamically model

GPS receiver performance. Some of the new capabilities the GPSOC can provide using NavTK software include:

- real-time situational awareness of PPS and SPS accuracy
- user-specific receiver and platform modeling for accuracy and DOP predictions
- environmental effects modeling
- interference and jamming modeling, with user-defined characteristics
- satellite outage streamlining for analysis
- parallel processing capability

NavTK's parallel processing capability allows the GPSOC to provide enhanced information with no loss in analysis time. Because analysts can run scenarios on several computers at once, the GPSOC performs regional navigation calculations on multiple processors and collects the data at a central point for analysis and display. Currently, 22 logical processors run the software, which cuts computing time to one-tenth of what it would be on a single processor.

By installing NavTK, the GPSOC provides its GPS users a multitude of new capabilities quickly. Some, such as the ability to monitor SPS in real time and high-fidelity receiver and platform modeling, are functions performed only by NavTK. Through these new and unique functions, the GPSOC provides ever-increasing GPS reliability to warfighters in the field.

©2006 ANALYTICAL GRAPHICS, INC.

AGI provides software to national security and space professionals for integrated analyses of land, sea, air, and space assets. With more than 32,000 worldwide installations, key application areas include: battlespace management, geospatial intelligence, space systems, and national defense programs. For additional information about AGI or its commercially available software technologies, including its free flagship product STK, e-mail info@agi.com or explore www.agi.com. All copyrights, trademarks, and registered trademarks are the property of their respective owners.



GENERAL INFO & SALES

Phone: 1.800.220.4785*
1.610.981.8000
E-mail: info@agi.com

TECHNICAL SUPPORT

Phone: 1.888.785.9973*
1.610.981.8888
E-mail: support@agi.com
*Toll-free in U.S. & Canada





GLOBAL POSITIONING SYSTEM STANDARD POSITIONING SERVICE PERFORMANCE STANDARD

OCTOBER, 2001
ASSISTANT SECRETARY OF DEFENSE
FOR
COMMAND, CONTROL, COMMUNICATIONS, AND INTELLIGENCE



COMMAND, CONTROL,
COMMUNICATIONS, AND
INTELLIGENCE

ASSISTANT SECRETARY OF DEFENSE
6000 DEFENSE PENTAGON
WASHINGTON, DC 20301-6000



October 4, 2001

FOREWORD

This document defines the levels of performance the U.S. Government makes available to civil users through the GPS Standard Positioning Service (SPS). It has been approved by the DoD PosNav Executive committee. Please refer any questions or comments, in writing, to the following:

OASD(C3I) / ODASD (C3ISR & S) / Space Systems
Attn: Assistant for GPS, Positioning and Navigation
6000 Defense Pentagon
Washington, DC 20301-6000

John P. Stenbit



TABLE OF CONTENTS

SECTION 1 The GPS Standard Positioning Service.....	1
1.1 Purpose.....	1
1.2 Scope.....	1
1.3 The GPS Standard Positioning Service.....	2
1.4 Global Positioning System Overview.....	2
1.4.1 The GPS Space Segment.....	2
1.4.2 The GPS Control Segment.....	3
1.5 Current SPS Performance Assessment Concept and Limitations.....	4
SECTION 2 SPS Ranging Signal Characteristics and Minimum Usage Assumptions.....	7
2.1 An Overview of SPS Ranging Signal Characteristics.....	7
2.1.1 An Overview of SPS Ranging Signal RF Characteristics.....	7
2.1.2 An Overview of the GPS Navigation Message.....	7
2.2 Usage Assumptions for SPS Performance Standards.....	8
SECTION 3 GPS SPS Performance Standards.....	11
3.1 Constellation Management Standard.....	12
3.2 Service Availability Standard.....	13
3.3 Service Reliability Standard.....	14
3.4 Accuracy Standard.....	14
3.5 GPS Status and Problem Reporting Standard.....	15

Figures and Tables

Figure 1-1. Block II/A SPS Ranging Signal Generation and Transmission.....	3
Figure 1-2. The GPS Control Segment.....	4
Figure 2-1. Navigation Message Content and Format Overview.....	8
Table 3-1. Reference Orbit Slot Assignments as of the Defined Epoch.....	12
Table 3-2. Position Dilution of Precision Availability Standard.....	13
Table 3-3. SPS Service Availability Standard.....	13
Table 3-4. Service Reliability Standard.....	14
Table 3-5. Constellation SPS SIS URE Standard.....	14
Table 3-6. Positioning and Timing Accuracy Standard.....	15

Appendix A: GPS Documented Performance Characteristics A-1

SECTION A-1 Introduction A-1
SECTION A-2 GPS Operations Review A-5
SECTION A-3 Service Availability Characteristics A-13
SECTION A-4 Service Reliability Characteristics A-19
SECTION A-5 Accuracy Characteristics A-25

Appendix B: Key Terms, Definitions, and Acronyms B-1

SECTION B-1 Key Terms and Definitions B-1
SECTION B-2 Acronyms B-5



GPS

- [GPS General Information](#)
- [GPS Status and Outage Information](#)
- [GPS Ops Advisories](#)
- [GPS Ops Advisory Tutorial](#)
- [NANUs & NANU Information](#)
- [GPS Service Interruptions](#)
- [GPS Almanac Information](#)
- [Precise Ephemeris Info](#)
- [Subscribe to List Serve Msgs](#)
- [Selective Availability](#)
- [GPS Modernization](#)
- [Report a GPS Problem](#)
- [Frequently Asked Questions](#)
- [GPS Acronyms and Abbreviations](#)
- [Augmentation Systems](#)
- [Reference Information](#)

Primary Mission Areas:

- [Global Positioning System](#)
- [Differential GPS](#)
- [Nationwide DGPS](#)
- [LORAN C](#)
- [Inland River Vessel Movement Center](#)
- [Civil GPS Service Interface Committee](#)
- [Automatic Identification System](#)
- [Electronic Navigation & Charting](#)

Maritime Information:

- [USCG "Homeport" Website](#)
- [Vessel Traffic Services](#)
- [Global Maritime Distress and Safety System](#)
- [CG Nat'l Distress System](#)
- [Digital Selective Calling](#)
- [Marine Safety Information Broadcasts](#)
- [VHF Channels & Freqs](#)
- [MF & HF Channels](#)
- [Digital Selective Calling](#)
- [Nav Pubs and Documents](#)
- [Radio Watch Requirements](#)

SELECTIVE AVAILABILITY

THE WHITE HOUSE

Office of the Press Secretary

For Immediate Release May 1, 2000

STATEMENT BY THE PRESIDENT REGARDING THE UNITED STATES' DECISION TO STOP DEGRADING GLOBAL POSITIONING SYSTEM ACCURACY

Today, I am pleased to announce that the United States will stop the intentional degradation of the Global Positioning System (GPS) signals available to the public beginning at midnight tonight. We call this degradation feature Selective Availability (SA). This will mean that civilian users of GPS will be able to pinpoint locations up to ten times more accurately than they do now. GPS is a dual-use, satellite-based system that provides accurate location and timing data to users worldwide. My March 1996 Presidential Decision Directive included in the goals for GPS to: "encourage acceptance and integration of GPS into peaceful civil, commercial and scientific applications worldwide; and to encourage private sector investment in and use of U.S. GPS technologies and services." To meet these goals, I committed the U.S. to discontinuing the use of SA by 2006 with an annual assessment of its continued use beginning this year.

The decision to discontinue SA is the latest measure in an on-going effort to make GPS more responsive to civil and commercial users worldwide. Last year, Vice President Gore announced our plans to modernize GPS by adding two new civilian signals to enhance the civil and commercial service. This initiative is on-track and the budget further advances modernization by incorporating some of the new features on up to 18 additional satellites that are already awaiting launch or are in production. We will continue to provide all of these capabilities to worldwide users free of charge.

My decision to discontinue SA was based upon a recommendation by the Secretary of Defense in coordination with the Departments of State, Transportation, Commerce, the Director of Central Intelligence, and other Executive Branch Departments and Agencies. They realized that worldwide transportation safety, scientific, and commercial interests could best be served by discontinuation of SA. Along with our commitment to enhance GPS for peaceful applications, my administration is committed to preserving fully the military utility of GPS. The decision to discontinue SA is coupled with our continuing efforts to upgrade the military utility of our systems that use GPS, and is supported by threat assessments which conclude that setting SA to zero at this time would have minimal impact on national security. Additionally, we have demonstrated the capability to selectively deny GPS signals on a regional basis when our national security is threatened. This regional approach to denying navigation services is consistent with the 1996 plan to discontinue the degradation of civil and commercial GPS service globally through the SA technique.

Originally developed by the Department of Defense as a military system, GPS has become a global utility. It benefits users around the world in many different applications, including air, road, marine, and rail navigation, telecommunications, emergency response, oil exploration, mining, and many more. Civilian users will realize a dramatic improvement in GPS accuracy with the discontinuation of SA. For example, emergency teams responding to a cry for help can now determine what side of the highway they must respond to, thereby saving precious minutes. This increase in accuracy will allow new GPS applications to emerge and continue to enhance the lives of people around the world.



ABOUT THE NMEA
REGIONAL INFORMATION
MEMBERSHIP
PUBLICATIONS/STANDARDS
EDUCATION
CONVENTION & EXPO
INDUSTRY JOE BANK
NMEA 2000 INFO

The National Marine Electronics Association (NMEA) is the unifying force behind the entire marine electronics industry, bringing together all aspects of the industry for the betterment of all in our business.



Industry Calendar



ANNOUNCEMENTS

Click on any of the links below to read these news stories:

- **DATE CHANGE** for the upcoming classes in Toronto, Canada
Basic Marine Electronic Installer - Tuesday, March 4, 2008
NMEA 2000 Network Course - Wednesday, March 5, 2008
- [2008 Education Schedule](#)
- [Press Release - Yanmar certifies NMEA 2000 products](#)
- [What is NMEA 2000?](#)
- [See who is a CMET](#)
- [An Update on the NMEA 2000 22 AWG Light Cable Communications Backbone](#)

Or view [More NMEA news.](#)

MEMBER SPOTLIGHT

Please join us in welcoming the following new NMEA members:


- [Anel Telekomunikasyon Elektronik](#)
- [CSI AB](#)
- [Dogbyte Computer, LLC](#)
- [Inteo Marine Systems, Inc.](#)
- [Marine Electric](#)
- [Marine Electronic Solutions](#)
- [Nav Tec](#)
- [NAVTECH Marine Electronics, Inc. >](#)
- [Prince William Marina](#)
- [Rhumbline Yacht Services, LLC](#)
- [Silvercrest Marine](#)
- [Sol Searcher Solutions, Inc.](#)
- [Trident Marine Electronics - Hampton](#)
- [Wireless On Water](#)
- [Yacht Networks](#)
- [Yankee Point Sailboat](#)

THE MARINE ELECTRONICS JOURNAL IS THE OFFICIAL MAGAZINE OF THE NMEA
[Click here for Dealers & Products](#)

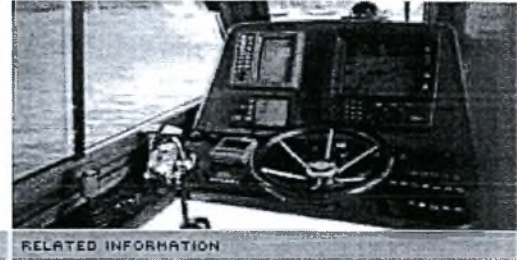
FOR MEMBERS ONLY

NMEA members only may access the following valuable sections in the [member intranet](#):

- Archived articles from Marine Electronics Journal
- Add Job Postings
- Update member profile
- Guide to Success

 <small>WWW.NMEA.ORG</small>	—	Main Page
	—	NMEA 0183 Standard
	—	<<
	PUBLICATIONS/STANDARDS	NMEA 2000 Standard
	—	Installation Standards
	—	Order Form
	—	

NMEA PUBLICATIONS AND STANDARDS



NMEA 0183 Standard

The NMEA 0183 Interface Standard defines electrical signal requirements, data transmission protocol and time, and specific sentence formats for a 4800-baud serial data bus. Each bus may have only one talker but many listeners.

Version 3.01 (released Jan. 2002), the latest version of the standard, sells for \$270, plus shipping/handling via priority mail within the US and global priority mail outside the US. Orders are processed on Tuesdays and Fridays of each week. The document can be shipped via FedEx using YOUR FedEx account number. Any updates to Version 3.01 within a one-year period from the date of purchase will be mailed to you at no charge.

Please note that certain websites offer explanations and examples of NMEA 0183 sentences. In most cases they are very old versions or incorrect interpretations and should not be depended upon for accuracy.

There is also a high-speed addendum, NMEA 0183-HS Version 1.0, to Version 3.01 of NMEA 0183. This standard operates at a 38.4K-baud rate. Specific sentence formats are common to both NMEA 0183 and NMEA 0183-HS and are defined in the NMEA 0183. The NMEA 0183-HS sells for \$110.

You may purchase both the NMEA 0183 and NMEA 0183-HS for \$340. You may [order online](#) using a Visa, MasterCard or American Express. You may also call our office at 410-975-9425 and give the charge card authorization information. Please make checks payable to NMEA and mail to NMEA, Seven Riggs Avenue, Severna Park, MD 21146. Checks must be in US dollars and drawn on a US bank. Purchase orders are accepted in conjunction with payment.

The Interface Standard is a COPYRIGHTED document and available only from NMEA. Other internet offerings are not authorized and may constitute a copyright infringement. NOTE: ALL SALES FINAL.

See Also:

- [Requests/Contact Us](#)
- [Join the Standards Committee](#)
- [Potential Upcoming Changes](#)
- [Order form](#)



Garmin Proprietary NMEA 0183 Sentence TECHNICAL SPECIFICATIONS



Garmin International, Inc.
1200 E. 151st Street
Olathe, KS 66062 USA

190-00684-00, Revision B
April 2006

© Copyright 2006 Garmin Ltd. or its subsidiaries

Garmin International, Inc.
1200 East 151st Street, Olathe, Kansas 66062, U.S.A.
Tel. 913/397.8200 or 800/800.1020
Fax 913/397.8282

Garmin (Europe) Ltd.
Unit 5, The Quadrangle, Abbey Park Industrial Estate, Romsey, SO51 9DL, U.K.
Tel. 44/0870.8501241
Fax 44/0870.8501251

Garmin Corporation
No. 68, Jangshu 2nd Road, Shijr, Taipei County, Taiwan
Tel. 886/2.2642.9199
Fax 886/2.2642.9099

All rights reserved. Except as expressly provided herein, no part of this manual may be reproduced, copied, transmitted, disseminated, downloaded, or stored in any storage medium, for any purpose without the express prior written consent of Garmin. Garmin hereby grants permission to download a single copy of this manual onto a hard drive or other electronic storage medium to be viewed and to print one copy of this manual or of any revision hereto, provided that such electronic or printed copy of this manual must contain the complete text of this copyright notice and provided further that any unauthorized commercial distribution of this manual or any revision hereto is strictly prohibited.

Information in this document is subject to change without notice. Garmin reserves the right to change or improve its products and to make changes in the content without obligation to notify any person or organization of such changes or improvements. Visit the Garmin Web site (www.garmin.com) for current updates and supplemental information concerning the use and operation of this and other Garmin products.

Garmin® is a registered trademark of Garmin Ltd. or its subsidiaries and may not be used without express permission of Garmin.

Web site address: www.garmin.com

RECORD OF REVISIONS

Revision	Revision Date	Description	ECO #
A	04/21/06	Initial Release	--
B	04/24/06	Revised and redrawn	37482

TABLE OF CONTENTS

1 Introduction	1
1.1 Garmin Proprietary NMEA Sentences	1
2 GPS Receiver Software Interface	1
2.1 Received NMEA 0183 Sentences	1
2.1.1 Sensor Initialization Information (PGRMI)	1
2.1.2 Sensor Configuration Information (PGRMC)	2
2.1.3 Additional Sensor Configuration Information (PGRMC1)	2
2.1.4 Output Sentence Enable/Disable (PGRMO)	3
2.2 Transmitted NMEA 0183 Sentences	3
2.2.1 Sentence Transmission Rate	3
2.2.2 Estimated Error Information (PGRME)	4
2.2.3 GPS Fix Data Sentence (PGRMF)	5
2.2.4 Aviation Height and VNAV Data (PGRMH)	5
2.2.5 Map Datum (PGRMM)	5
2.2.6 Sensor Status Information (PGRMT)	5
2.2.7 3D velocity Information (PGRMV)	6
2.2.8 Altitude (PGRMZ)	6
2.2.9 DGPS Beacon Information (PGRMB)	6
Appendix A: Earth Datums	7

LIST OF TABLES AND FIGURES

Table 1: NMEA 0183 Output Sentence Order and Size	4
Table 2: Characters per Second for Available Baud Rates	4

For the latest free software updates (excluding map data) throughout the life of your
Garmin products, visit the Garmin Web site at www.garmin.com.



© Copyright 2006 Garmin Ltd. or its subsidiaries

Garmin International, Inc.

1200 East 151st Street, Olathe, Kansas 66062, U.S.A.

Garmin (Europe) Ltd.

Unit 5, The Quadrangle, Abbey Park Industrial Estate, Romsey, SO51 9DL, U.K.

Garmin Corporation

No. 68, Jangshu 2nd Road, Shijr, Taipei County, Taiwan

www.garmin.com

Part Number 190-00684-00 Rev. B

Garmin Device Interface Specification

May 19, 2006

Drawing Number: 001-00063-00 Rev. C

Notice:

Garmin International, Inc. makes no warranties, express or implied, to companies or individuals accessing Garmin International Inc.'s Device Interface, or any other person, with respect to the Device Interface, including without limitation, any warranties of merchantability or fitness for a particular purpose, or arising from course of performance or trade usage, all of which are hereby excluded and disclaimed by Garmin International, Inc.

Garmin International, Inc. shall not be liable for any indirect, incidental, consequential, punitive or special damages, even if Garmin International, Inc. has been advised of the possibility of such damages. Some states may not allow the exclusion or limitation of liability from consequential or incidental damages, so the foregoing limitation on liability for damages may not apply to you.

Warning:

All companies and individuals accessing the Device Interface are advised to ensure the correctness of their Device Interface software and to avoid the use of undocumented Device Interface features, particularly with respect to packet ID, command ID, and packet data content. Any software implementation errors or use of undocumented features, whether intentional or not, may result in damage to and/or unsafe operation of the device.

Technical Support Is Not Provided:

Garmin International, Inc. cannot provide technical support for questions relating to the Device Interface. However, if you would like to comment on this document, or if you would like to report a document error, you may send email to techsupp@garmin.com, or write to the address shown below.

Garmin International, Inc.
1200 E. 151st St.
Olathe, Kansas USA 66062
(913) 397-8200

Copyright © 1998-2006 Garmin International, Inc.

Table of Contents

1	Introduction.....	1
1.1	Overview	1
1.2	Definition of Terms	1
1.3	Specification of Data Types.....	1
2	Protocol Layers	1
3	Physical Protocols.....	1
3.1	Serial Protocol	1
3.1.1	Serial Packet Format	2
3.1.2	DLE Stuffing.....	2
3.1.3	ACK/NAK Handshaking.....	2
3.1.4	Serial Protocol Packet IDs.....	2
3.2	USB Protocol.....	3
3.2.1	USB Protocol Details	3
3.2.2	USB Packet Format.....	3
3.2.3	USB Protocol Layer Packet Ids.....	3
3.2.4	Garmin USB Driver for Microsoft Windows.....	4
4	Link Protocols.....	5
4.1	L000 – Basic Link Protocol.....	5
4.1.1	Basic Packet IDs	5
4.2	L001 – Link Protocol 1.....	5
4.3	L002 – Link Protocol 2.....	6
5	Overview of Application Protocols.....	6
5.1	Undocumented Application Packets.....	7
5.2	Packet Sequences.....	7
5.3	Packet Data Types	7
5.4	Standard Beginning and Ending Packets.....	8
5.4.1	Records_Type	8
5.5	Device Overwriting of Identically-Named Data.....	8
6	Application Protocols.....	8
6.1	A000 – Product Data Protocol.....	8
6.1.1	Product_Data_Type.....	9
6.1.2	Ext_Product_Data_Type.....	9
6.2	A001 – Protocol Capability Protocol.....	9
6.2.1	Protocol_Array_Type.....	10
6.2.2	Protocol_Data_Type	10
6.2.3	Tag Values for Protocol_Data_Type.....	10
6.2.4	Protocol Capabilities Example.....	11
6.3	Device Command Protocols	11
6.3.1	A010 – Device Command Protocol 1.....	11
6.3.2	A011 – Device Command Protocol 2.....	12
6.4	A100 – Waypoint Transfer Protocol.....	12
6.5	A101 – Waypoint Category Transfer Protocol.....	13
6.6	Route Transfer Protocol.....	13
6.6.1	Database Matching for Route Waypoints.....	13
6.6.2	A200 – Route Transfer Protocol	14
6.6.3	A201 – Route Transfer Protocol	14
6.7	Track Log Transfer Protocol.....	15
6.7.1	Time Values Ignored by Device.....	15
6.7.2	A300 – Track Log Transfer Protocol	15

6.7.3	A301 – Track Log Transfer Protocol	16
6.7.4	A302 – Track Log Transfer Protocol	16
6.8	A400 – Proximity Waypoint Transfer Protocol	16
6.9	A500 – Almanac Transfer Protocol	17
6.10	A600 – Date and Time Initialization Protocol	17
6.11	A650 – FlightBook Transfer Protocol	18
6.12	A700 – Position Initialization Protocol	18
6.13	A800 – PVT Protocol	18
6.14	A906 – Lap Transfer Protocol	19
6.15	A1000 – Run Transfer Protocol	19
6.16	A1002 – Workout Transfer Protocol	20
6.17	A1004 – Fitness User Profile Transfer Protocol	21
6.18	A1005 – Workout Limits Transfer Protocol	21
6.19	A1006 – Course Transfer Protocol	22
6.20	A1009 – Course Limits Transfer Protocol	23
7	Data Types	23
7.1	Serialization of Data	23
7.2	Character Sets	24
7.3	Basic Data Types	24
7.3.1	char	24
7.3.2	Character Arrays	24
7.3.3	Variable-Length Strings	24
7.3.4	uint8	25
7.3.5	uint16	25
7.3.6	uint32	25
7.3.7	sint16	25
7.3.8	sint32	25
7.3.9	float32	25
7.3.10	float64	25
7.3.11	bool	25
7.3.12	position_type	25
7.3.13	radian_position_type	26
7.3.14	time_type	26
7.3.15	symbol_type	26
7.4	Product-Specific Data Types	31
7.4.1	D100_Wpt_Type	31
7.4.2	D101_Wpt_Type	31
7.4.3	D102_Wpt_Type	32
7.4.4	D103_Wpt_Type	32
7.4.5	D104_Wpt_Type	33
7.4.6	D105_Wpt_Type	33
7.4.7	D106_Wpt_Type	33
7.4.8	D107_Wpt_Type	34
7.4.9	D108_Wpt_Type	34
7.4.10	D109_Wpt_Type	36
7.4.11	D110_Wpt_Type	37
7.4.12	D120_Wpt_Cat_Type	38
7.4.13	D150_Wpt_Type	38
7.4.14	D151_Wpt_Type	39
7.4.15	D152_Wpt_Type	40
7.4.16	D154_Wpt_Type	40
7.4.17	D155_Wpt_Type	41
7.4.18	D200_Rte_Hdr_Type	42
7.4.19	D201_Rte_Hdr_Type	42
7.4.20	D202_Rte_Hdr_Type	42

7.4.21	D210_Rte_Link_Type.....	42
7.4.22	D300_Trk_Point_Type.....	43
7.4.23	D301_Trk_Point_Type.....	43
7.4.24	D302_Trk_Point_Type.....	43
7.4.25	D303_Trk_Point_Type.....	43
7.4.26	D304_Trk_Point_Type.....	44
7.4.27	D310_Trk_Hdr_Type.....	44
7.4.28	D311_Trk_Hdr_Type.....	44
7.4.29	D312_Trk_Hdr_Type.....	44
7.4.30	D400_Prx_Wpt_Type.....	45
7.4.31	D403_Prx_Wpt_Type.....	45
7.4.32	D450_Prx_Wpt_Type.....	45
7.4.33	D500_Almanac_Type.....	46
7.4.34	D501_Almanac_Type.....	46
7.4.35	D550_Almanac_Type.....	46
7.4.36	D551_Almanac_Type.....	47
7.4.37	D600_Date_Time_Type.....	47
7.4.38	D650_FlightBook_Record_Type.....	47
7.4.39	D700_Position_Type.....	47
7.4.40	D800_Pvt_Data_Type.....	48
7.4.41	D906_Lap_Type.....	49
7.4.42	D1000_Run_Type.....	50
7.4.43	D1001_Lap_Type.....	50
7.4.44	D1002_Workout_Type.....	51
7.4.45	D1003_Workout_Occurrence_Type.....	52
7.4.46	D1004_Fitness_User_Profile_Type.....	53
7.4.47	D1005_Workout_Limits.....	53
7.4.48	D1006_Course_Type.....	54
7.4.49	D1007_Course_Lap_Type.....	54
7.4.50	D1008_Workout_Type.....	54
7.4.51	D1009_Run_Type.....	55
7.4.52	D1010_Run_Type.....	56
7.4.53	D1011_Lap_Type.....	57
7.4.54	D1012_Course_Point_Type.....	57
7.4.55	D1013_Course_Limits_Type.....	58
8	Appendixes.....	59
8.1	Device Product IDs.....	59
8.2	Device Protocol Capabilities.....	60
8.3	Frequently Asked Questions.....	64
8.3.1	Hexadecimal vs. Decimal Numbers.....	64
8.3.2	Length of Received Data Packet.....	64
8.3.3	Waypoint Creation Date.....	64
8.3.4	Almanac Data Parameters.....	64
8.3.5	Example Code.....	64
8.3.6	Sample Data Transfer Dumps.....	64
8.3.7	Additional Tables.....	64
8.3.8	Software Versions.....	65

Table of Tables

Table 1 – Protocol Layers	1
Table 2 – Serial Packet Format	2
Table 3 – USB Packet Format	3
Table 4 – Data Available Packet	4
Table 5 – Start Session Packet	4
Table 6 – Session Started Packet	4
Table 7 – Example Packet Sequence	7
Table 8 – Standard Beginning and Ending Packets	8
Table 9 – A000 Protocol Data Protocol Packet Sequence	9
Table 10 – A001 Protocol Capability Protocol Packet Sequence	10
Table 11 – Protocol Capabilities Example	11
Table 12 – Device Command Protocol Packet Sequence	11
Table 13 – A100 Waypoint Transfer Protocol Packet Sequence	13
Table 14 – A101 Waypoint Category Transfer Protocol Packet Sequence	13
Table 15 – A200 Route Transfer Protocol Packet Sequence	14
Table 16 – A201 Route Transfer Protocol Packet Sequence	14
Table 17 – A300 Track Log Transfer Protocol Packet Sequence	15
Table 18 – A301 Track Log Transfer Protocol Packet Sequence	16
Table 19 – A400 Proximity Waypoint Transfer Protocol Packet Sequence	16
Table 20 – A500 Almanac Transfer Protocol Packet Sequence	17
Table 21 – A600 Date and Time Initialization Protocol Packet Sequence	18
Table 22 – A650 FlightBook Transfer Protocol Packet Sequence	18
Table 23 – A700 Position Initialization Protocol Packet Sequence	18
Table 24 – A800 PVT Protocol Packet Sequence	19
Table 25 – A906 Lap Transfer Protocol Packet Sequence	19
Table 26 – A1000 Run Transfer Protocol Packet Sequence	20
Table 27 – A1002 Workout Transfer Protocol	21
Table 28 – A1004 Fitness User Profile Transfer Protocol	21
Table 29 – A1005 Workout Limits Transfer Protocol	22
Table 30 – A1006 Course Transfer Protocol	22
Table 31 – A1009 Course Limits Transfer Protocol	23
Table 32 – Character Sets	24
Table 33 – D1002 Workout Duration	52
Table 34 – D1002 Workout Targets	52
Table 35 – D1008 Workout Targets	55
Table 36 – program_type bit field	56
Table 37 – Product IDs	59
Table 38 – Device Protocol Capabilities	61

[English](#) | [Español](#) | [Français](#) | [普通语言](#) | [عربي](#)



GLOBAL POSITIONING SYSTEM

Serving the World

The Global Positioning System (GPS) is a U.S. space-based radionavigation system that provides reliable positioning, navigation, and timing services to civilian users on a continuous worldwide basis -- freely available to all. For anyone with a GPS receiver, the system will provide location and time. GPS provides accurate location and time information for an unlimited number of people in all weather, day and night, anywhere in the world.

The GPS is made up of three parts: satellites orbiting the Earth; control and monitoring stations on Earth; and the GPS receivers owned by users. GPS satellites broadcast signals from space that are picked up and identified by GPS receivers. Each GPS receiver then provides three-dimensional location (latitude, longitude, and altitude) plus the time.

Individuals may purchase GPS handsets that are readily available through commercial retailers. Equipped with these GPS receivers, users can accurately locate where they are and easily navigate to where they want to go, whether walking, driving, flying, or boating.

SYSTEM INFORMATION

[The Global Positioning System](#)

- [GPS Augmentations](#)

APPLICATIONS

- [Timing](#)
- [Roads & Highways](#)
 - [Space](#)
 - [Aviation](#)
 - [Agriculture](#)
 - [Marine](#)
 - [Rail](#)
- [Environment](#)
- [Public Safety & Disaster Relief](#)
- [Surveying & Mapping](#)

GPS has become a mainstay of transportation systems worldwide, providing navigation for aviation, ground, and maritime operations. Disaster relief and emergency services depend upon GPS for location and timing capabilities in their life-saving missions. Everyday activities such as banking, mobile phone operations, and even the control of power grids, are facilitated by the accurate timing provided by GPS. Farmers, surveyors, geologists and countless others perform their work more efficiently, safely, economically, and accurately using the free and open GPS signals.

For additional information about GPS, please explore the rest of this website, as well as the external sites referenced on this page.

- [Recreation](#)

USER SUPPORT

- [Civilian Users](#)
- [Military Users](#)
- [Aviation Community](#)

POLICY & MANAGEMENT

- [National Space-Based PNT Executive Committee](#)

TECHNICAL INFORMATION

- [GPS Wing](#)



This U.S. Government website has been developed by the National Space-Based Positioning, Navigation, and Timing Coordination Office. It is hosted by the U.S. Coast Guard Navigation Center. [Disclaimer & privacy policy.](#)
Webmaster.

USA.gov



NAVIGATION CENTER

The Navigation Center of Excellence

U.S. Department of Homeland Security
UNITED STATES COAST GUARD



Consolidated Nav Info | DGPS Advisories | GPS Advisories / NANUS | GPS Interference Notices | LNMs | Almanacs | Nav Rules | AIS | Contact Us | Search | Home

GPS

- GPS General Information
- GPS Status and Outage Information
- GPS Ops Advisories
- GPS Ops Advisory Tutorial
- NANUs & NANU Information
- GPS Service Interruptions
- GPS Almanac Information
- Precise Ephemeris Info
- Subscribe to List Serve Msgs
- Selective Availability
- GPS Modernization
- Report a GPS Problem
- Frequently Asked Questions
- GPS Acronyms and Abbreviations
- Augmentation Systems
- Reference Information

Primary Mission Areas:

- Global Positioning System
- Differential GPS
- Nationwide DGPS
- LORAN C
- Inland River Vessel Movement Center
- Civil GPS Service Interface Committee
- Automatic Identification System
- Electronic Navigation & Charting

Maritime Information:

- USCG "Homeport" Website
- Vessel Traffic Services
- Global Maritime Distress and Safety System
- CG Nat'l Distress System
- Digital Selective Calling
- Manne Safety Information Broadcasts
- VHF Channels & Freqs
- MF & HF Channels
- Digital Selective Calling
- Nav Pubs and Documents
- Radio Watch Requirements

GPS REFERENCE INFORMATION

In this section, you may select from GPS general references and other GPS-related Internet links.

GPS Policy

- Presidential Policy (2004)
- Presidential Policy on GPS (1996)

GPS General References

- Memorandum for GPS Users and GPS Equipment Manufacturers from U.S. Air Force dtd 29 Sep 2006 (PDF)
- 2001 GPS SPS Performance Standard Final (PDF)
- Vulnerability Assessment Of The Transportation Infrastructure Relying On The GPS (PDF)
 - Volpe Slides - 5 October 2001 Public Outreach Meeting (ppt)
 - OST Slides - 5 October 2001 Public Outreach Meeting (ppt)
- Approved Lexicon of signal Abbreviations
- GPS Acronyms and Abbreviations
- INMARSAT interference: Note by the Comit International Radio-Maritime(CIRM)
- NANU's Abbreviations
- FAA GPS Risk Assessment Study: Risks To GPS Signal Can Be Managed. Independent Assessment Concludes
- GPS Constellation History and Status (Being Updated)
- General Information Archives
- Report on L1C Modernization
 - Short version
 - Long version

GPS International Cooperation

- International Maritime Organization Statement on GPS
- United States/Russian Federation Joint Statement (Dec 2004)
- United States/Japan Statement on GPS Cooperation (Nov 2004)
- Final Report from India-United States Space Conference
- US- EC Agreement on GPS/Galileo Cooperation
- Joint Announcement on United States-Japan GPS Cooperation (Jan 27, 2006)

GPS-related Technical Documents

- Ionospheric Corrections 2002
- Interface Specification (IS-GPS-200D)
- Interface Control Document (ICD 200c)
- Air Force Space Command Capstone Requirements Document
- GPS Augmentation Study
- GPS User Equipment Introduction - September 1996
- GPS ORD - Appendix F
- RINEX - Receiver Independent Exchange Format - Status & Future
- GPS: Charting the Future

GPS Basics

- Aerospace Corporation Tutorial
- Garmin's - What is GPS?
- National Air and Space Museum
- Trimble's - How GPS Works
- University of Colorado
- US Naval Observatory

Miscellaneous Links

- NAVSTAR GPS Homepage - information on GPS modernization and GPS III.
- National Space-Based Positioning, Navigation, and Timing (PNT) Executive Committee - policy information for GPS
- International GPS Service (IGS) - provides GPS orbits and tracking data
- NGS - National Geodetic Survey - CORS data and information on the GPS Interagency Advisory Council (GIAC)
- US Naval Observatory Timing Ops - GPS timing data
- NASA's list of GPS Applications - an online information source on the diverse uses of GPS technology all over the world
- FAA GPS Product Team - The latest on WAAS and GPS for aviation use.
- WGS-84

Space and Weather sites

- Solar and Geophysical Activity - Warnings and alerts for current space weather
- NOAA Space Weather - GPS - A brief description of the effects of space weather on GPS.

- 14th Air Force Space Leonid - information regarding the Leonid meteor shower that occurs every November.
- National Data Buoy Center - stations weather buoys throughout the world

U.S. Coast Guard Navigation Center 7323 Telegraph Road, Alexandria, VA 22315 | (703) 313-5900 | Download Free Adobe Reader.





[Data and Products](#) | [Historical SCIGN Info](#) | [Real Time Data](#) | [SCIGN Data Portal](#) | [Site Information](#) | [Technical Information](#)

Welcome to SCIGN

The Southern California Integrated GPS Network (SCIGN) has accomplished its goal of completing a state-of-the-art array of 250 continuously-operating GPS stations. Therefore the SCIGN collaboration (US Geological Survey, Scripps Institution of Oceanography, Jet Propulsion Laboratory) under the Southern California Earthquake Center has been disbanded.



[the REASoN website for higher level SCIGN products..](#)

SCIGN stations are now operated by the following agencies:

- 125 NUCLEUS stations funded by NSF through UNAVCO to be integrated into the Plate

Quick Links

- [USGS Operations](#)
- [Download Report](#)
- [Archive Report](#)
- [Site Information](#)
- [USGS MapSurfer](#)
- [USGS Time Series](#)
- [SOPAC Time Series](#)

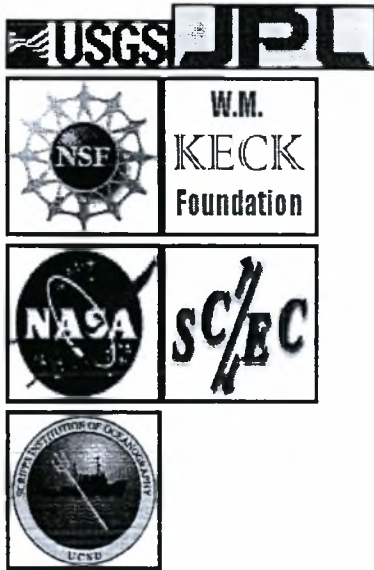
User login

Username: *

Password: *

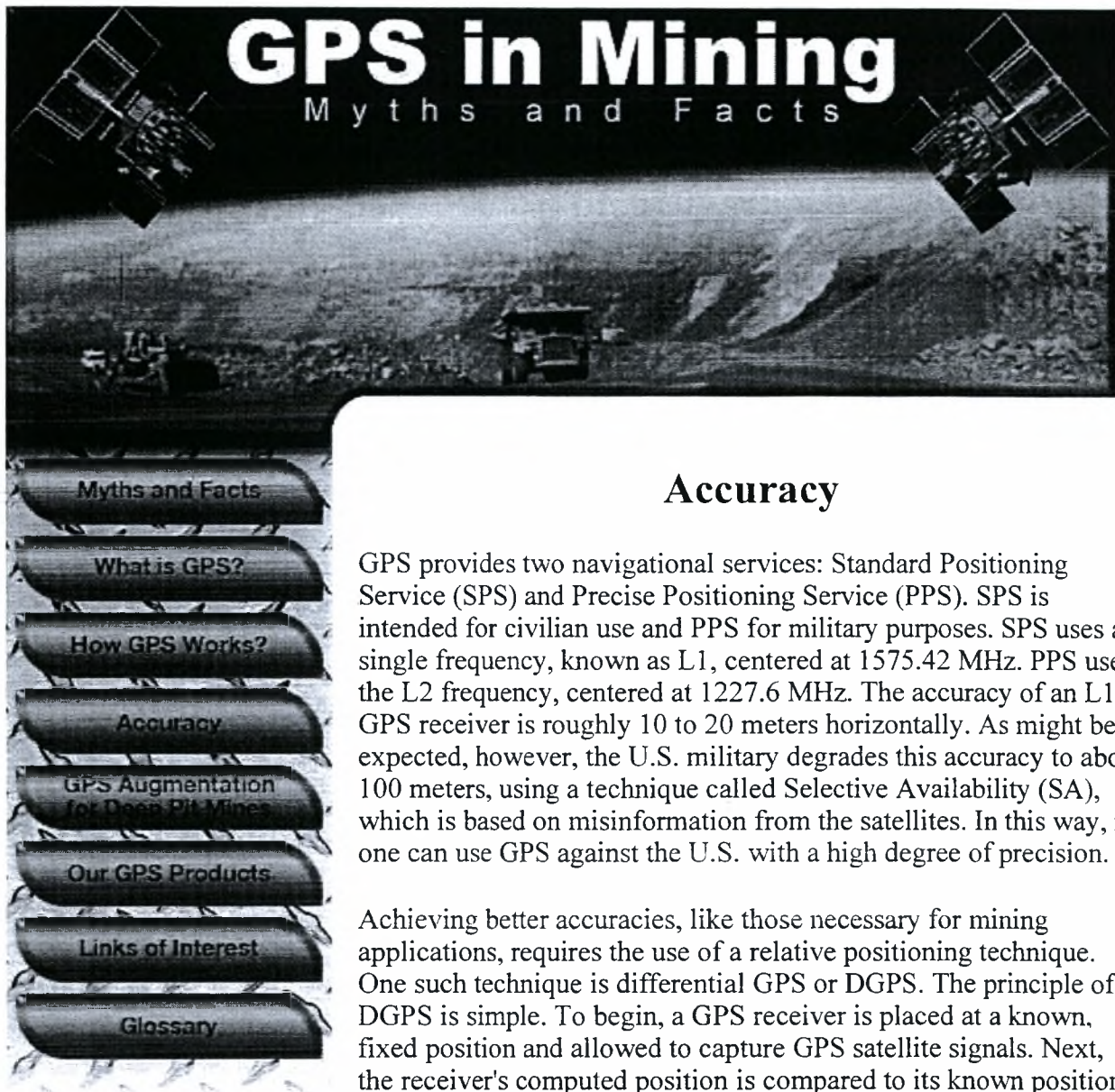
- [Create new account](#)
- [Request new password](#)

SCIGN Sponsors



- Boundary Observatory in 2008.
- 95 stations along the San Andreas Fault and in the urban area of Los Angeles will be operated by the US Geological Survey Pasadena field office.
 - The remaining stations will be operated and maintained by the Scripps Orbit and Permanent Array Center, Jet Propulsion Laboratory and other agencies.

The NSF portion of the SCIGN array continues to be operated and maintained by the USGS Pasadena Field Office through an NSF sub-award to SCEC. The scign.org site will continue to be maintained during this three year transitional phase.



Accuracy

GPS provides two navigational services: Standard Positioning Service (SPS) and Precise Positioning Service (PPS). SPS is intended for civilian use and PPS for military purposes. SPS uses a single frequency, known as L1, centered at 1575.42 MHz. PPS uses the L2 frequency, centered at 1227.6 MHz. The accuracy of an L1 GPS receiver is roughly 10 to 20 meters horizontally. As might be expected, however, the U.S. military degrades this accuracy to about 100 meters, using a technique called Selective Availability (SA), which is based on misinformation from the satellites. In this way, no one can use GPS against the U.S. with a high degree of precision.

Achieving better accuracies, like those necessary for mining applications, requires the use of a relative positioning technique. One such technique is differential GPS or DGPS. The principle of DGPS is simple. To begin, a GPS receiver is placed at a known, fixed position and allowed to capture GPS satellite signals. Next, the receiver's computed position is compared to its known position to determine the measurement inaccuracies. Error corrections, known as differential corrections, are then broadcast by radio link to the receivers on the "rovers" (in mining: trucks, shovels, drills, etc.) to fix their calculations and bring accuracy to within meters. DGPS is of such value that the U.S. and Canadian Coast Guards have installed DGPS stations around all major waterways in the U.S. and Canada to aid in ship navigation.

Obtaining even higher precision requires similar but more complex techniques. Using these techniques, accuracies of around one to two centimeters are routinely obtained with good satellite geometries. Real-Time Kinematic (RTK) systems achieve these accuracies on-the-fly. Because SA errors are not constant, GPS systems must broadcast DGPS or RTK corrections at a certain minimum rate to achieve the desired accuracy. For precision of a meter or two, and with the current SA policy, corrections every 10 to 20 seconds are adequate. Systems designed to achieve accuracy in the range of one to two centimeters require corrections each second.

As a rule, higher precision systems need to broadcast greater amounts of correction information more frequently, so higher

communications data rates are necessary to support them. RTK systems typically transfer from 2,000 to 6,000 bits of correction information each second from the base receiver to the rovers. Accordingly, a 9600 bits per second communications bandwidth is more than sufficient to support RTK precision for an unlimited number of rovers.

The most common way of achieving centimeter accuracy is with "dual frequency" (L1 plus L2) GPS sensors. It is necessary to use very good antennas and take reasonable precautions to get this level of accuracy, but it is a widely available technology in worldwide use. A number of vendors provide this equipment, including Ashtech, Trimble, NovAtel, and Leica.

In addition to SA, a number of other factors can affect GPS accuracy in mining. These factors include satellite geometry, multipath, pit configuration, and atmospheric effects.

Satellite geometry plays a key role in GPS accuracy, with the best positional readings occurring when the overhead satellites have good spatial distribution instead of being grouped together in a portion of the sky. An ideal geometry of a four-satellite constellation is to have one directly overhead and three low on the horizon and spaced about 120 degrees apart. Deviation from ideal geometry, which results in degraded accuracy, is described using a measure called Dilution of Precision (DOP). Of the many DOPs, the most common one is PDOP (Position DOP), which takes into account horizontal and vertical errors. Manufacturers rate the accuracy of their receivers with a DOP limit: higher numbers result in less accurate measurements. Most manufacturers specify the accuracy of their GPS receivers with a PDOP of 4 or less. Also, if a receiver can "over determine" its positional solution, that is, obtain information from more than the minimum number of satellites, DOP will improve, no matter where the additional visible satellites are.

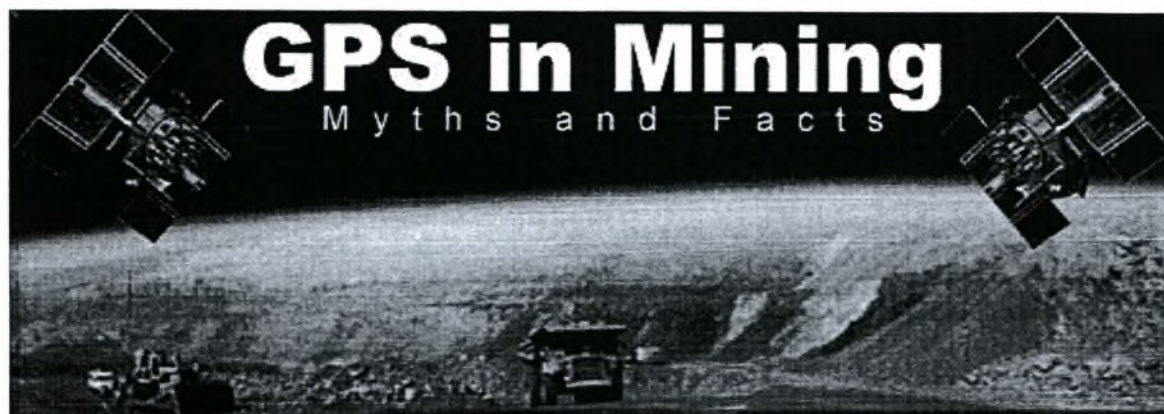
Multipath is when a GPS satellite signal bounces off an object and then reaches a receiver. This effect makes the time of arrival of the signal different from what it would have been with no reflection. Multipath causes degraded accuracy because GPS receivers base their readings on the timing of the signals from the satellites. The first line of defense against multipath is in the way that the satellites transmit signals. They use circular polarization, which results in a directly reflected signal being reduced at the receiver by a factor of 10 to 100. The second line of defense is in the receiver software, which is designed to mitigate against multipath. Advanced techniques used to maximize receiver antenna performance are also aimed at reducing multipath.

Pit configuration is important, too. Shallow mines are ideal candidates for GPS because they tend to have an unobstructed view to the sky. Many deep pit mines, however, have high walls that "shade" equipment from the satellites, or are surrounded by tall trees, mountains, or dumps. These mines may require GPS augmentation to ensure accurate data.

Atmospheric effects from the satellite signals passing through the troposphere and ionosphere can degrade GPS accuracy. Fortunately there is a way to compensate for the vagaries and variances in the atmosphere. Using both the L1 and L2 frequencies and sophisticated software algorithms, GPS systems characterize the atmospheric effects and then apply the results of the characterization to the position solution.

The distance from the base station to the rover may also be an issue. For a properly installed RTK system with a completely accurate base station antenna position, the error is usually between 1 and 10 parts-per-million of horizontal distance, with a limit of the baseline between base and rover of 10 to 50 kilometers. Thus, at 10 kilometers, the error will be from 1 to 10 centimeters in addition to any other errors due to geometry (PDOP), etc.

Copyright 1998, Modular Mining Systems, Inc., Tucson, Arizona U.S.A. All Rights Reserved.



GPS in Mining

Myths and Facts

- Myths and Facts
- What is GPS?
- How GPS Works?
- Accuracy
- GPS Augmentation for Deep Pit Mines
- Our GPS Products
- Links of Interest
- Glossary

Links of Interest

Here are some Web links concerning GPS and GLONASS that you might find interesting and informative. Naturally, this list is not all-inclusive. You'll find links as you browse.

GPS Links

The US Coast Guard has lots of information on GPS. Their main Web page is

<http://www.uscg.mil/default.asp>

Follow their links to frequently asked questions, GPS links, etc. Here, you'll find an OICD200C document that goes into excruciating detail on how GPS signals are formatted and used.

NASA also has lots of information on GPS. You can view an overview of GPS

<http://gpshome.ssc.nasa.gov/content.aspx?s=gps>

and follow their links to find more information on GPS resources, tutorials, augmentation, and more.

In addition, many GPS vendors have interesting Web pages with product specifications and tutorial information.

Try these

http://www.ashtech.com/	GPS and GPS+GLONASS
http://www.novatel.com/	GPS
http://www.trimble.com/	GPS
http://tycho.usno.navy.mil/gps_datafiles.html	GPS
http://www.garmin.com/aboutGPS/	GPS
http://www.navcen.uscg.gov/gps/	GPS
http://www.gps.gov/	GPS

Here is a site that shows the movement of Southern California based on numerous stations.

<http://www.scign.org/>



GLONASS Links

Here are some links where you can find further information on GLONASS:

<http://www.constell.org/>

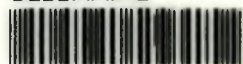
<http://msl.jpl.nasa.gov/QuickLooks/glonassQL.html>

<http://www.fas.org/spp/guide/russia/nav/glonass.htm>

Copyright 1998, Modular Mining Systems, Inc., Tucson, Arizona U.S.A. All Rights Reserved.



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000091453