

4. Μετρήσεις GPS – Προβλήματα

4.1. Μέθοδοι μετρήσεων.

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

Γενικά οι τρόποι μέτρησης με το GPS μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με τον 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) ή εκ των υστέρων στο γραφείο.

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

A) Στατικός προσδιορισμός.

Στον **στατικό προσδιορισμό (Static Positioning)** 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.

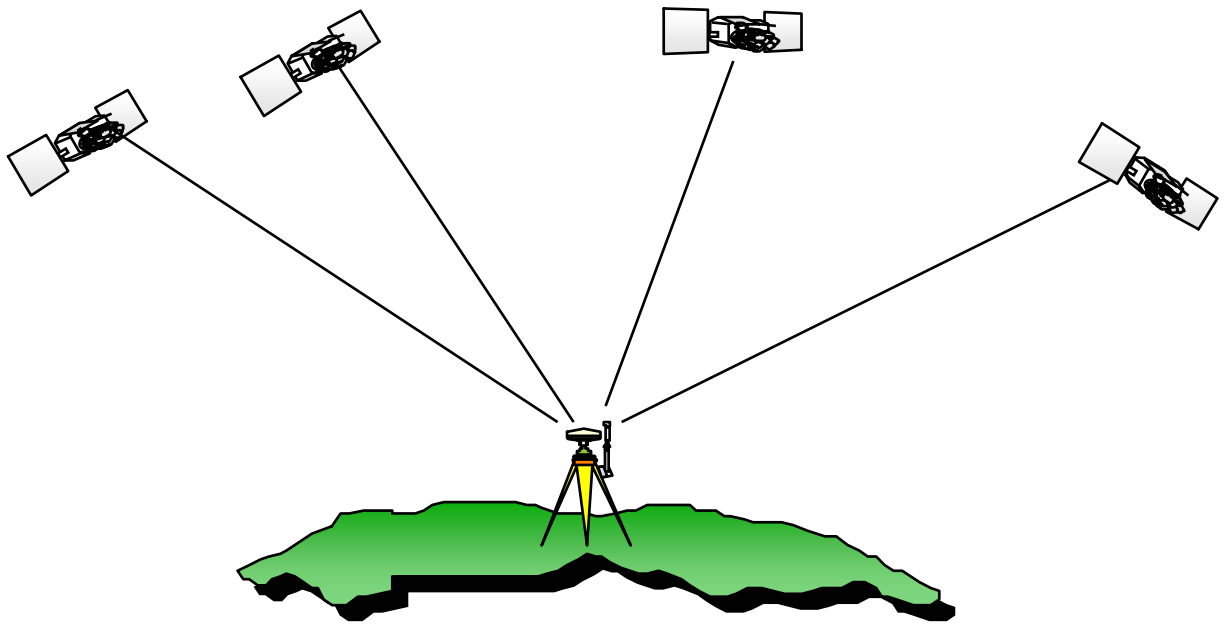
B) Κινηματικός προσδιορισμός.

Στον **κινηματικό προσδιορισμό (Kinematic Positioning)** ο δέκτης ή οι δέκτες GPS 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 τη διάρκεια της κίνησης.

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

4.1.1. Απόλυτος προσδιορισμός.

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



Σχήμα 4.1: Απόλυτος προσδιορισμός με GPS.

4.1.2. 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 αλλά και όλους τους γραμμικούς συνδυασμούς των (αναλυτικότερα βλ. Διαφορικός προσδιορισμός).

Μια άλλη γενική διάκριση αφορά το πότε υπολογίζονται οι συντεταγμένες των σημείων σε σχέση με το χρόνο εκτέλεσης των μετρήσεων. Έτσι έχουμε τον **προσδιορισμό σε πραγματικό χρόνο** (Real time positioning) την ίδια ή σχεδόν την ίδια χρονική στιγμή εκτέλεσης των μετρήσεων και τον **εκ των υστέρων προσδιορισμό** (post processing) μετά το πέρας των μετρήσεων.

4.2. Διαφορικός προσδιορισμός.

Όπως είδαμε στα προηγούμενα οι βασικές εξισώσεις παρατήρησης του συστήματος GPS, σε μια απλοποιημένη μορφή, είναι οι εξής [Wells et al., 1986].:

Για τις ψευδοαποστάσεις:

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

όπου

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:

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

όπου

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 και

ε_Φ ο θόρυβος παρατήρησης (τυχαίο σφάλμα),

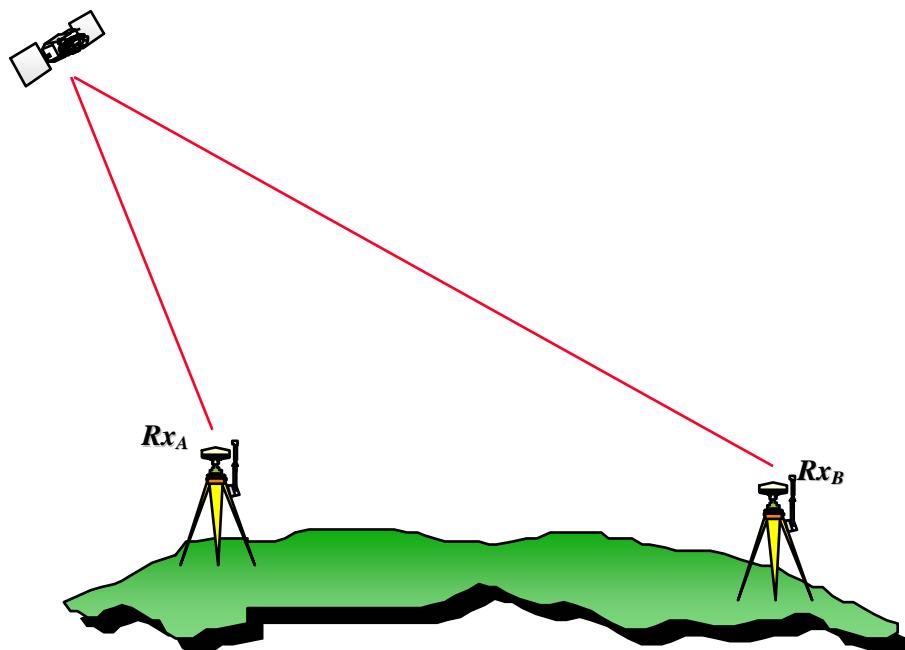
Παρατήρηση 1: Στις παρατηρήσεις φάσεως η ιονοσφαιρική διόρθωση υπεισέρχεται με (-) μιας και το σήμα υστερεί ενώ στην περίπτωση των ψευδοαποστάσεων προηγείται.

Παρατήρηση 2: Οι μετρήσεις φάσεως όταν έχει υπολογιστεί ο αριθμός των ακεραίων κύκλων είναι ακριβέστερες από τις μετρήσεις ψευδοαποστάσεων και μπορούν να μας δώσουν ακρίβεια εκατοστού στον προσδιορισμό θέσης

Η βελτίωση της ακρίβειας στον προσδιορισμό του διανύσματος θέσης με βάση τις μετρήσεις ψευδοαποστάσεων ή φάσεων επιτυγχάνεται και με τη χρησιμοποίηση στην επεξεργασία των δεδομένων όχι των πρωτογενών παρατηρήσεων αλλά των πρώτων, δευτέρων 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 επίδρασής τους στα τελικά αποτελέσματα μπορεί να γίνει μέσω του σχηματισμού απλών, διπλών ή και τριπλών διαφορών μεταξύ δεκτών, δορυφόρων εποχών μέτρησης και των συχνοτήτων (L1 και L2 – βλέπε Κεφ. 3 για ionospheric free και widelane μοντέλα).

4.2.1. 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 προφανώς ίδια συχνότητα) (Σχήμα 4.2).



Σχήμα 4.2: Απλές διαφορές μεταξύ δεκτών (Leica).

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

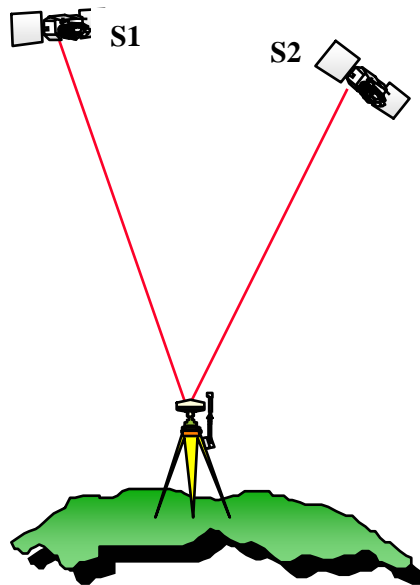
$$\Delta\rho = \Delta\rho + \Delta d\rho - c\Delta dT + \Delta d_{ion} + \Delta d_{trop} + \epsilon_{\Delta\rho}$$

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

Οι διαφορές μεταξύ δεκτών μειώνουν ή εξαλείφουν των επίδραση του σφάλματος του χρονομέτρου του δορυφόρου. Οι διαφορές αυτές, για μικρές βάσεις (μικρό μήκος), μειώνουν επίσης σημαντικά και τα τροχιακά σφάλματα καθώς και τα ατμοσφαιρικά σφάλματα. Οι διαφορές μεταξύ δεκτών συμβολίζονται με Δ στη διεθνή βιβλιογραφία.

4.2.2. 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) (Σχήμα 4.3). Οι διαφορές μεταξύ δορυφόρων μειώνουν ή εξαλείφουν την επίδραση του σφάλματος του χρονομέτρου του δέκτη. Οι διαφορές μεταξύ δορυφόρων συμβολίζονται με ∇ στη διεθνή βιβλιογραφία.



Σχήμα 4.3: Απλές διαφορές μεταξύ δορυφόρων (Leica).

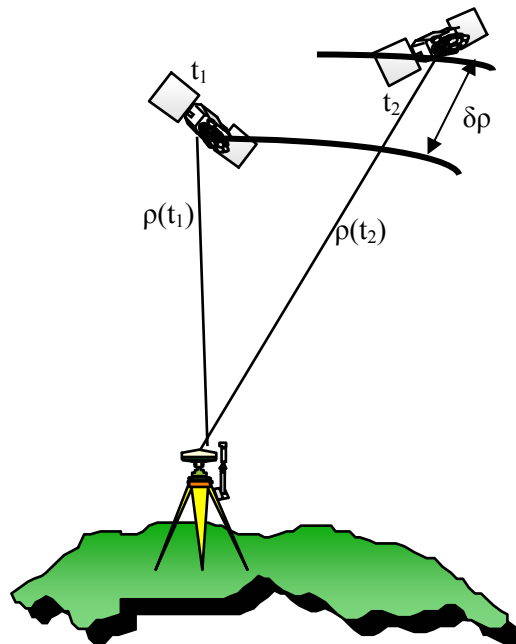
$$\nabla = (\bullet)_{s2} - (\bullet)_{s1}$$

$$\nabla\rho = \nabla\rho + \nabla d\rho - c\nabla dt + \nabla d_{ion} + \nabla d_{trop} + \epsilon_{\nabla\rho}$$

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

4.2.3. 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). (Σχήμα 4.4). Οι διαφορές μεταξύ εποχών εξαλείφουν την ολίσθηση κύκλων και μειώνουν τα τροχιακά και ατμοσφαιρικά σφάλματα. Οι διαφορές μεταξύ δορυφόρων συμβολίζονται με δ στη διεθνή βιβλιογραφία. Είναι απαραίτητο ο δορυφόρος να παρατηρείται συνεχώς καθ' όλη της διάρκειας της παρατήρησης και να λαμβάνεται συνεχώς σήμα, να μην υπάρξει δηλαδή loss of lock.



Σχήμα 4.4: Απλές διαφορές μεταξύ εποχών (Leica).

$$\delta = (\bullet)_{t2} - (\bullet)_{t1}$$

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

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

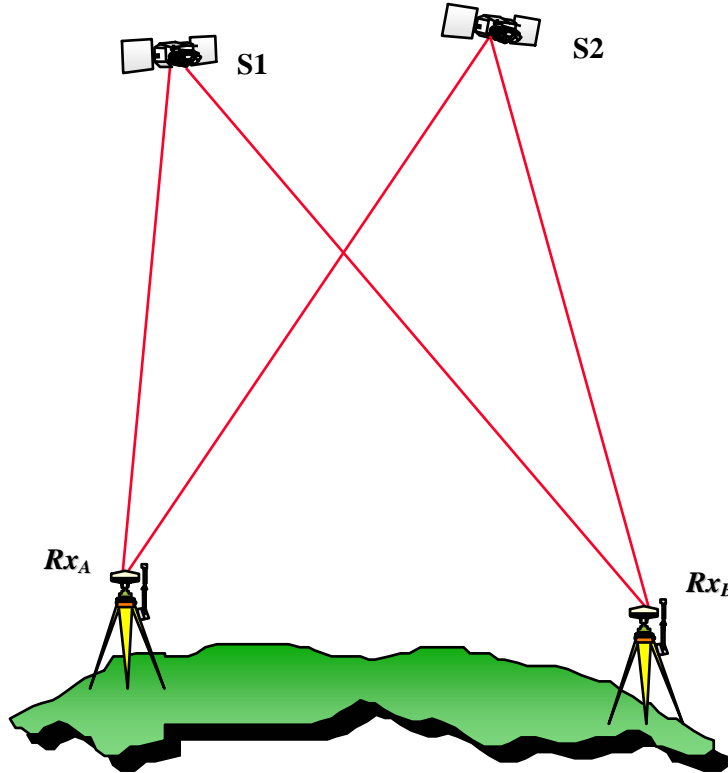
4.2.4. Διπλές διαφορές μεταξύ δορυφόρων και δεκτών.

Οι διπλές διαφορές σχηματίζονται από τις προαναφερθείσες απλές διαφορές με τους κατάλληλους συνδυασμούς. Η διπλή διαφορά μεταξύ δορυφόρων και δεκτών ($\Delta\nabla$) σχηματίζεται από τις απλές διαφορές μεταξύ των δορυφόρων υπολογίζοντας τις απλές (διπλές) διαφορές των προηγούμενων ανάμεσα στους δέκτες (Σχήμα 4.5). Οι διαφορές αυτές μειώνουν τα τροχιακά και ατμοσφαιρικά σφάλματα, εξαλείφουν τα σφάλματα των χρονομέτρων δορυφόρων και δεκτών. Η εξίσωση παρατήρησης είναι

$$\Delta\nabla = \{(\bullet)_{S2} - (\bullet)_{S1}\}_{Rx2} - \{(\bullet)_{S2} - (\bullet)_{S1}\}_{Rx1}$$

$$\Delta\nabla\rho = \Delta\nabla\rho + \Delta\nabla d\rho + \Delta\nabla d_{ion} + \Delta\nabla d_{trop} + \varepsilon_{\Delta\nabla\rho}$$

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



Σχήμα 4.5: Διπλές διαφορές μεταξύ δορυφόρων - δεκτών (Leica).

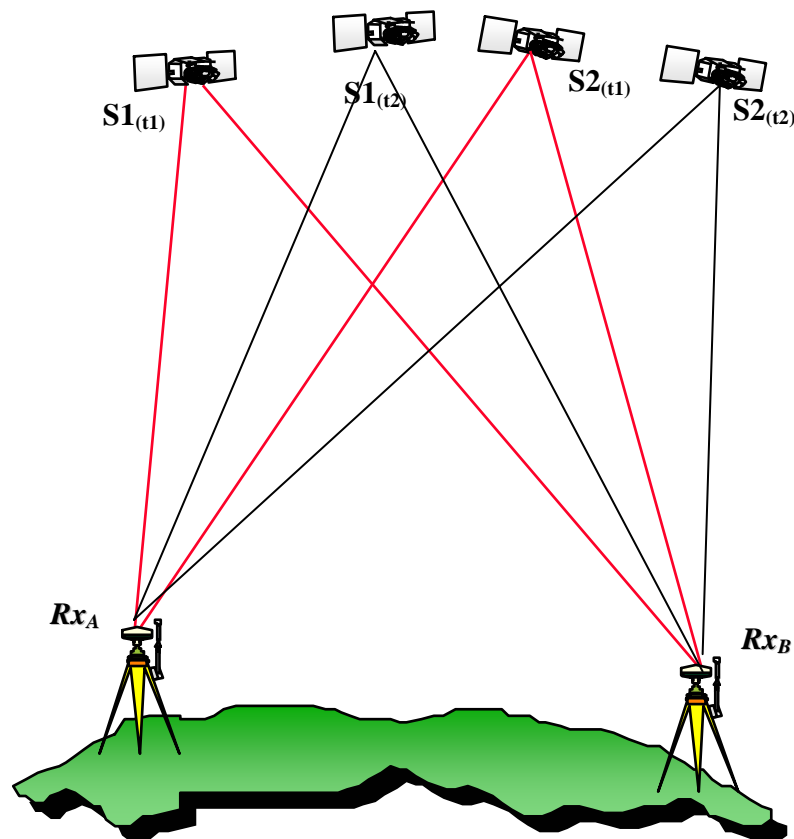
4.2.5. Τριπλές διαφορές μεταξύ δορυφόρων, δεκτών και εποχών.

Οι τριπλές διαφορές σχηματίζονται από τις προαναφερθείσες διπλές διαφορές θεωρώντας επιπλέον και διαφορές ως προς την εποχή μέτρησης. Η τριπλή διαφορά ($\delta\Delta\nabla$) (Σχήμα 4.6). μειώνουν τα τροχιακά και ατμοσφαιρικά σφάλματα, εξαλείφουν τα σφάλματα των χρονομέτρων δορυφόρων και δεκτών και την απώλεια κύκλων. Η εξίσωση παρατήρησης είναι

$$\delta\Delta\nabla = [\{(\bullet)_{S2} - (\bullet)_{S1}\}_{Rx2} - \{(\bullet)_{S2} - (\bullet)_{S1}\}_{Rx1}]_{t2} - [\{(\bullet)_{S2} - (\bullet)_{S1}\}_{Rx2} - \{(\bullet)_{S2} - (\bullet)_{S1}\}_{Rx1}]_{t1}$$

$$\delta\Delta\nabla\rho = \delta\Delta\nabla\rho + \delta\Delta\nabla d\rho + \delta\Delta\nabla d_{ion} + \delta\Delta\nabla d_{trop} + \varepsilon_{\delta\Delta\nabla\rho}$$

$$\delta\Delta\nabla\Phi = \delta\Delta\nabla\rho + \delta\Delta\nabla d\rho + \delta\lambda\Delta\nabla N - \delta\Delta\nabla d_{ion} + \delta\Delta\nabla d_{trop} + \varepsilon_{\delta\Delta\nabla\Phi}$$



Σχήμα 4.6: Τριπλές διαφορές μεταξύ δορυφόρων - δεκτών – εποχών (Leica).

Παρατηρήσεις:

- Στην περίπτωση των ψευδοαποστάσεων δεν υπάρχει κάποιο πλεονέκτημα με τη χρήση τριπλών διαφορών έναντι των διπλών. Στις μετρήσεις φάσεως όμως απαλείφεται ο όρος της ολίσθησης.
- Όταν σχηματίζουμε τριπλές διαφορές μειώνουμε τις παρατηρήσεις οπότε και ο πίνακας σχεδιασμού των κανονικών εξισώσεων **A** θα έχει λιγότερα στοιχεία. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να γίνεται γρηγορότερα η συνόρθωση.

4.3. Τεχνικές μετρήσεων με GPS.

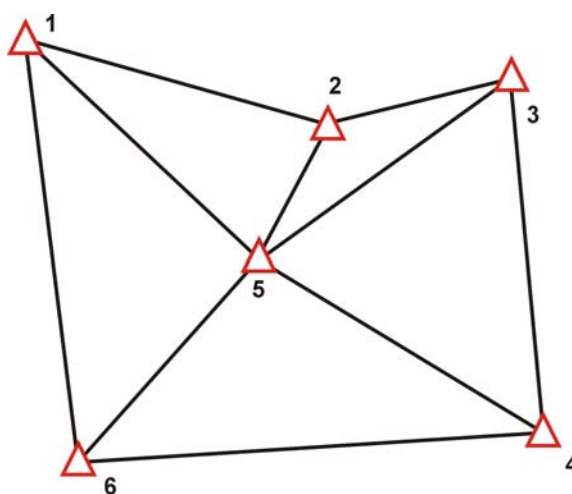
Οι διαφορετικές ανάγκες σε ακρίβεια και σε ταχύτητα που δημιουργούνται στις πρακτικές εφαρμογές οδήγησαν σε μια σειρά από τεχνικές μέτρησης που συνδυάζουν τις μεθόδους του διαφορικού GPS στον σχετικό προσδιορισμό θέσης. Οι δύο κλασικές τεχνικές μέτρησης που χρησιμοποιούμε είναι ο σχετικός στατικός προσδιορισμός και ο σχετικός κινηματικός προσδιορισμός. Εκτός όμως από τις δύο αυτές τεχνικές δημιουργήθηκαν και

κάποιες ενδιάμεσες τεχνικές (παραλλαγές) που σκοπό έχουν να βελτιστοποιήσουν την απόδοση του GPS στις Τοπογραφικές εφαρμογές. Οι ενδιάμεσες αυτές τεχνικές αφορούν τις συνήθεις γεωδαιτικές εργασίες, που οι αποστάσεις μεταξύ των σημείων δεν ξεπερνούν τα μερικά km και ο χρόνος παρατήρησης αποτελεί σημαντικό παράγοντα κόστους. Οι τεχνικές αυτές είναι ο γρήγορος στατικός προσδιορισμός, ο ψευδο-κινηματικός και ο ημι-κινηματικός.

4.3.1. Σχετικός στατικός προσδιορισμός (static positioning).

Ο χρόνος παραμονής σε κάθε σημείο μέτρησης για δέκτη μίας συχνότητας θα πρέπει να είναι τουλάχιστον **20 λεπτά** για αποστάσεις μέχρι 5 Km από το σημείο αναφοράς (reference point), σημείο στο οποίο ο ένας από τους δύο δέκτες παραμένει καθ' όλη τη 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 τη γεωμετρία των δορυφόρων, όπου δείκτης της ακρίβειας των μετρήσεων είναι η τιμή του GDOP η οποία κατά την διάρκεια των μετρήσεων (σε οποιαδήποτε τεχνική) δεν θα πρέπει να ξεπερνά το οκτώ 8. Για αποστάσεις μεγαλύτερες των 5 Km και μέχρι 15 Km ο δέκτης είναι καλό να παραμείνει για τουλάχιστον μία (1) ώρα. Ο ρυθμός καταγραφής των παρατηρήσεων θα πρέπει να κυμαίνεται (για τις παραπάνω αποστάσεις) από 10 μέχρι 20 sec. Η γωνία αποκοπής (cut-off angle) ορίζεται στις 15° μοίρες (είναι η γωνία κάτω από την οποία δεν καταγράφονται οι μετρήσεις). Συνήθως (όταν απαιτείται μέγιστη ακρίβεια) μετράμε όσο τον δυνατό περισσότερες βάσεις (baselines) μεταξύ των σημείων προσέχοντας όμως να φτιάχνουμε “κλειστά” γεωμετρικά σχήματα π.χ. τρίγωνα ή τετράπλευρα με μία έστω διαγώνιο μετρημένη, έτσι ώστε να μπορούμε πάντοτε να έχουμε έλεγχο στα σφαλμάτων των μετρήσεων μας! Μετρώντας μόνο βάσεις μεταξύ του σταθερού και των υπολοίπων σημείων (ακτινικά ως προς αυτό) ελπίζουμε ότι θα έχουμε την ακρίβεια που μας δίνει ο κατασκευαστής **χωρίς** όμως να μπορούμε να την ελέγξουμε!! Για τη μέτρηση ενός δικτύου στην πιο απλή περίπτωση που διαθέτουμε δύο δέκτες, αρκεί ο ένας να τοποθετηθεί σε ένα γνωστό σημείο και ο άλλος δέκτης να περιφέρεται στα υπόλοιπα σημεία (ακτινική διάταξη), κάθε φορά δηλαδή μετράμε στην ουσία μία βάση και στην συνέχεια συμπληρώνουμε τις παρατηρήσεις στο δίκτυο μας, μετρώντας τις υπόλοιπες βάσεις. Για την μέτρηση δικτύων με αυτή την μέθοδο είναι καλύτερο να διαθέτουμε τρεις δέκτες έτσι ώστε να μετράμε κάθε φορά τρίγωνα από βάσεις και να μειώνουμε το χρόνο μετακίνησης.

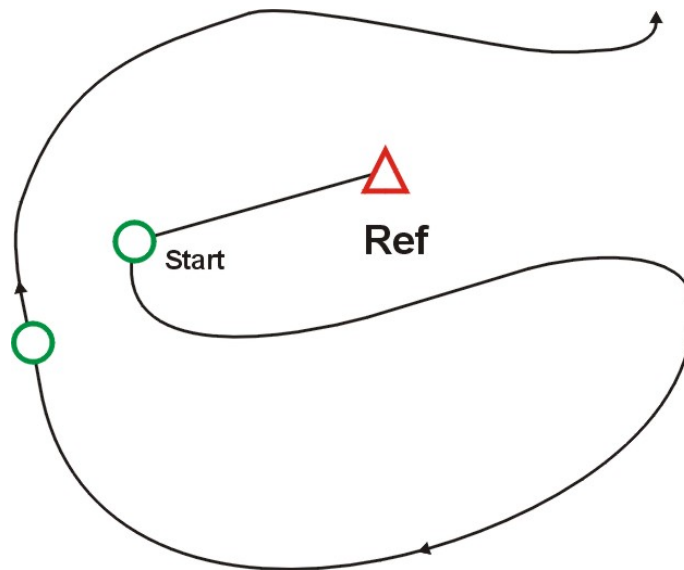
Σε κάθε ομάδα μετρήσεων θα πρέπει στο σύνολο των σημείων που προσδιορίζονται να υπάρχουν τουλάχιστον δύο γνωστά (όσο περισσότερα τόσο το καλύτερο) το ένα θα είναι σίγουρα θα είναι το σημείο αναφοράς, ώστε να μπορεί να γίνει έπειτα από την επίλυση ο μετασχηματισμός ομοιότητας των προσδιορισθέντων σημείων από το σύστημα του GPS στο ανάλογο προβολικό σύστημα. Οι ακρίβειες που μπορούν να επιτευχθούν με αυτή τη διαδικασία είναι της τάξης των $1-2 \text{ cm} \pm 1 \text{ ppm}$ της απόστασης μεταξύ των σημείων. Η διαδικασία αυτή είναι κατάλληλη για μετρήσεις δικτύων, μικρομετακινήσεων τεχνικών έργων κ.λ.π. και γενικά όπου απαιτείται υψηλή ακρίβεια στις συντεταγμένες των σημείων μας.



Σχήμα 4.7: Παράδειγμα σχετικού στατικού προσδιορισμού.

4.3.2. Σχετικός κινηματικός προσδιορισμός (kinematic positioning).

Ο σχετικός κινηματικός προσδιορισμός (relative kinematic): αφορά σε εφαρμογές για τον υπολογισμό της τροχιάς οχημάτων (π.χ., πλοίων, αεροπλάνων) και κάποιες άλλες, όπως οι μηκοτομές αξόνων δρόμων με πολύ μεγαλύτερη ακρίβεια από τον αντίστοιχο απόλυτο κινηματικό (Σχήμα 4.10). Στη διαδικασία αυτή, απαιτείται αρχικά να λυθεί το πρόβλημα της ασάφειας για όλους τους δορυφόρους με την έναρξη της διαδικασίας.



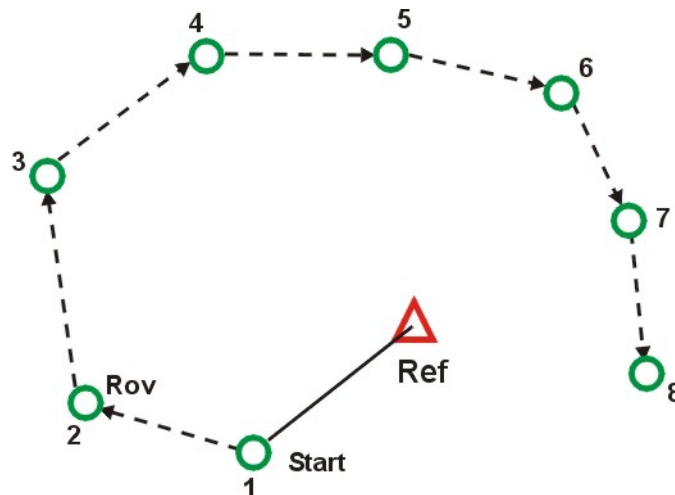
Σχήμα 4.8: Παράδειγμα σχετικού κινηματικού προσδιορισμού.

Ο ακίνητος δέκτης μένει συνεχώς στο γνωστό σημείο και ο κινητός, στην αρχή, μένει ακίνητος για λίγα λεπτά μέχρι να συλλεχθούν ικανές μετρήσεις για την επίλυση των ασαφειών. Η αρχική θέση του κινούμενου δέκτη μπορεί να είναι ένα άλλο γνωστό σημείο ή ένα τυχαίο σημείο κοντά στο μόνιμο σταθμό, ώστε να εφαρμοστεί η λεγόμενη τεχνική της εναλλαγής των κεραιών (antenna swapping) ή και ένα τυχαίο σημείο για να εφαρμοστεί η τεχνική του στατικού σχετικού προσδιορισμού. Στη συνέχεια ο κινούμενος δέκτης λαμβάνει μετρήσεις (καθώς κινείται) ανά κάποια χρονικά διαστήματα, π.χ., ανά 5 sec, και έτσι μπορούν να προσδιοριστούν οι σχετικές θέσεις του, με την προϋπόθεση ότι δεν υπάρχει απώλεια δορυφορικού σήματος. Αν υπάρξει απώλεια σήματος (που υπάρχει πάντα αν π.χ., ο κινούμενος δέκτης διέλθει κάτω από γέφυρα) ή οι δορυφόροι είναι λιγότεροι από 4, η επίλυση της ασάφειας πρέπει να επαναληφθεί, όπως και στην αρχή της διαδικασίας. Ο κινούμενος δέκτης δε χρειάζεται να επιστρέψει στο αρχικό σημείο, αλλά να παραμείνει ακίνητος σε μια θέση μέχρι τη συλλογή ικανού αριθμού μετρήσεων. Οι ακρίβειες με μετρήσεις φάσεων είναι και εδώ πολύ υψηλές, λίγο μικρότερες από αυτές του στατικού σχετικού προσδιορισμού, της τάξης του 1 έως 10 ppm και, ανάλογα με τις δυνατότητες του δέκτη, της τάξης του 1 m από μετρήσεις ψευδοαποστάσεων.

4.3.3. Σχετικός Ημικινηματικός προσδιορισμός (stop and go).

Η ημι-κινηματική διαδικασία (Stop-and-Go) (Σχήμα 4.9) είναι μία καθαρά κινηματική μέθοδος επειδή ο δέκτης συνεχίζει να ακολουθεί τους δορυφόρους ενώ είναι σε κίνηση. Η ημικινηματική τεχνική απαιτεί τουλάχιστον δύο δέκτες, όπου ο ένας δέκτης παραμένει ακίνητος σε γνωστό σημείο και ο δεύτερος δέκτης κινείται από σημείο σε σημείο. Αρχικά ο κινούμενος δέκτης θα πρέπει να παραμείνει ακίνητος για λίγα λεπτά σε κάποιο σημείο

ώστε να επιλυθεί το πρόβλημα της ασάφειας φάσης και στη συνέχεια μετακινείται στα υπόλοιπα σημεία. Το πρόβλημα της αρχικής ασάφειας μπορεί να λυθεί και με την τεχνική της ανταλλαγής των κεραιών μεταξύ του σταθερού και του κινητού δέκτη. Ο χρόνος παραμονής σε κάθε σημείο είναι της τάξης των μερικών δευτερολέπτων (10-30) έτσι ώστε να ληφθούν μετρήσεις μερικών εποχών. Οι παρατηρήσεις εδώ καταγράφονται συνήθως ανά 5 sec. Η ακρίβεια αυξάνεται όσο περισσότερες μετρήσεις ληφθούν σε κάθε σημείο. Όταν έχουμε παρατηρήσεις από λίγους δορυφόρους (4-5), τότε είναι προτιμότερο να παραμείνουμε στο σημείο για μερικά λεπτά.



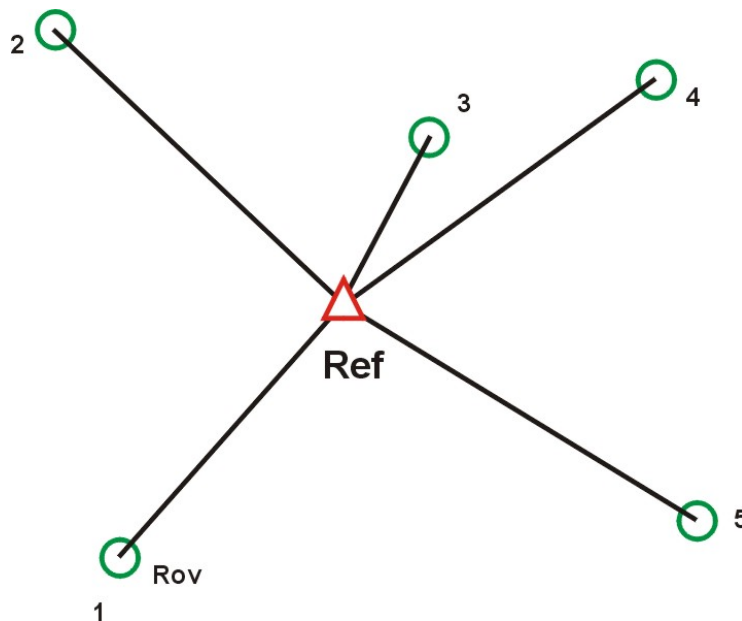
Σχήμα 4.9: Παράδειγμα ημικινηματικού προσδιορισμού.

Η τεχνική αυτή καλείται Stop-and-Go για το λόγο ότι μας ενδιαφέρουν οι συντεταγμένες του δέκτη μόνο στα σημεία στάσης. Ο δέκτης όμως συνεχίζει να λειτουργεί κατά την μετακίνηση του μεταξύ των σημείων στάσης και δεν χάνει την επαφή με τους δορυφόρους. Η ημικινηματική διαδικασία είναι πολύ γρήγορη και οικονομική τεχνική και πολύ αποδοτική σε ανοιχτές περιοχές όπου υπάρχει καλή ορατότητα και αρκετοί διαθέσιμοι δορυφόροι. Το μειονέκτημα της είναι ότι απαιτεί συνεχή λήψη του σήματος του δορυφόρου. Εάν η λήψη του σήματος διακοπεί για οποιοδήποτε λόγο (π.χ. λόγω ηλεκτρομαγνητικών μεταβολών, διέλευση του δέκτη κάτω από γέφυρα ή ανάμεσα από ψηλά δέντρα κ.ά.), τότε πρέπει να λυθεί ξανά το πρόβλημα της ασάφειας. Μια πρόσθετη απαίτηση είναι ότι ο σταθερός δέκτης αναφοράς πρέπει να συνεχίσει να παρακολουθεί όλους τους δορυφόρους που παρακολουθεί και ο κινητός δέκτης.

Οι ακρίβειες που μπορούν να επιτευχθούν με αυτή τη διαδικασία είναι της τάξης του εκατοστού. Η διαδικασία αυτή χρησιμοποιείται κυρίως σε εργασίες χαμηλών σχετικά απαιτήσεων ακρίβειας π.χ. υδραυλικών, προμελέτης οδοποιίας, αποτυπώσεις για ενημέρωση χαρτών, ορίων πλάτους ποταμών και γενικά σε περιπτώσεις όπου τα προς προσδιορισμό σημεία είναι σε μικρές αποστάσεις μεταξύ τους.

4.3.4. Γρήγορος στατικός προσδιορισμός (rapid static).

Ο γρήγορος στατικός προσδιορισμός (Σχήμα 4.10). είναι μια κλασική στατική τεχνική και μοιάζει με τον σχετικό στατικό προσδιορισμό. Γενικά χρησιμοποιούμε μεγαλύτερο ρυθμό λήψης των παρατηρήσεων συνήθως 5-10 sec, και η διαφορά του από τον κλασικό στατικό προσδιορισμό είναι ότι χρησιμοποιούμε μετρήσεις λίγων λεπτών για κάθε βάση, τόσες όσες να μπορεί να επιλυθεί ικανοποιητικά το πρόβλημα της ασάφειας φάσης. Ο ένας δέκτης παραμένει σταθερός σε γνωστό σημείο και ο άλλος (ή οι άλλοι) περιφέρεται στα υπόλοιπα άγνωστα σημεία παραμένοντας σ' αυτά 5 έως 20 λεπτά, ανάλογα με το μήκος της βάσης 5- 20 km , αν είναι μέρα ή νύχτα (τη νύχτα γενικά χρειαζόμαστε μικρότερο χρόνο, επειδή η ιονόσφαιρα είναι πιο "ήπια") και του αριθμού των δορυφόρων (τουλάχιστον 4). Οι δέκτες πρέπει να είναι διπλής συχνότητας και με δυνατότητα μέτρησης κωδίκων. Κατά τη μετακίνηση των δεκτών από σημείο σε σημείο, δε χρειάζεται η λήψη του δορυφορικού σήματος και οι δέκτες μπορεί να είναι "κλειστοί". Η ακρίβεια που επιτυγχάνεται εδώ είναι της τάξης του εκατοστού. Η τεχνική αυτή μπορεί να εφαρμοστεί σε δίκτυα κατώτερης τάξης, πυκνώσεις δικτύων, στην λήψη φωτοσταθερών και στην πολυγωνομετρία.

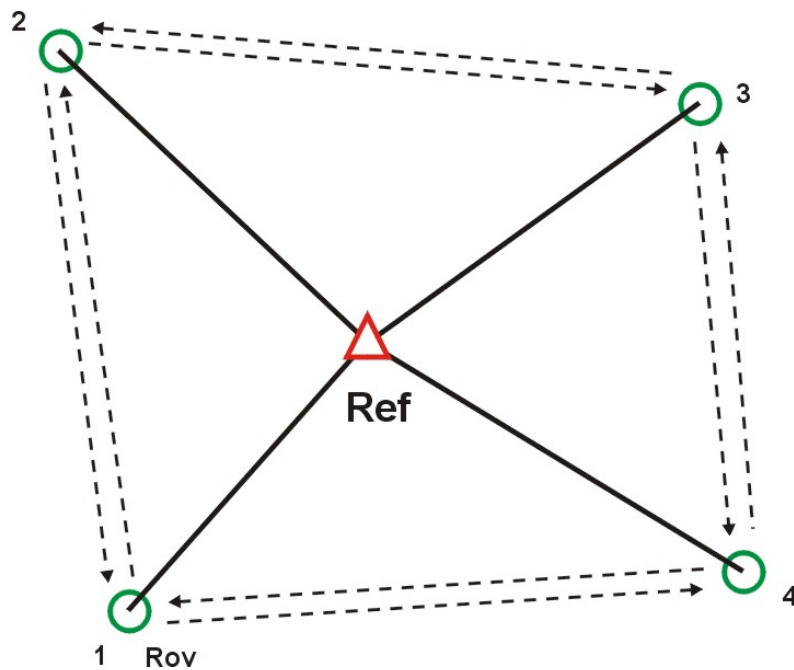


Σχήμα 4.10: Παράδειγμα γρήγορου στατικού προσδιορισμού.

4.3.5. Ψευδοκινηματικός προσδιορισμός (pseudokinematic, re-occupation).

Η διαδικασία αυτή στην πραγματικότητα είναι μια στατική μέθοδος (Σχήμα 4.11), και στηρίζεται στην μεθοδολογία ότι ο κινητός δέκτης θα πρέπει να στηθεί στα άγνωστα

σημεία **δύο φορές**. Μεταξύ της πρώτης και δεύτερης επίσκεψης θα πρέπει να έχει μεσολαβήσει χρονικό διάστημα τουλάχιστον 1 - 2 ωρών, ώστε να προλάβει να αλλάξει η γεωμετρία των δορυφόρων, για να είναι δυνατή η επίλυση της ασάφειας φάσης. Επίσης, ένα άλλο χαρακτηριστικό αυτής της τεχνικής είναι ότι το κάθε σημείο προσδιορίζεται από το σύνολο των μετρήσεων των δύο επισκέψεων, ως εάν είχε γίνει μόνο μία και με το σύνολο των δορυφόρων, που πιθανόν να είναι τελείως διαφορετικοί. Η Ψευδοκινηματική τεχνική μπορεί να χρησιμοποιηθεί εναλλακτικά της γρήγορης στατικής τεχνικής για τις περιπτώσεις που για κάποιο λόγο είμαστε αναγκασμένοι να επισκεφτούμε τα ίδια σημεία δύο φορές π.χ. την άλλη μέρα, ή για ορισμένα σημεία που δεν επιτύχαμε ικανοποιητική ακρίβεια (οι νέες μετρήσεις θα “αθροιστούν” με τις παλιές) ή όταν συνδυάζουμε και κινηματικές τεχνικές. Η σχετική ακρίβεια είναι και εδώ ανάλογη της γρήγορης στατικής τεχνικής, της τάξης του εκατοστού με δέκτες διπλής συχνότητας.



Σχήμα 4.11: Παράδειγμα ψευδοκινηματικού προσδιορισμού