

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ  
ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ Πολιτικών Μηχανικών ΤΕ και Μηχανικών Τοπογραφίας &  
Γεωπληροφορικής ΤΕ**

**Δορυφορική Γεωδαισία (GPS)**

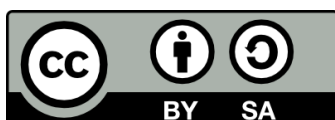
**Δρ. Κατσουγιαννόπουλος  
Καθηγητής**

**ΣΕΡΡΕΣ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2015**



## Άδειες Χρήσης

Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons. Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Το έργο αυτό αδειοδοτείται από την Creative Commons Αναφορά Δημιουργού - Παρόμοια Διανομή 4.0 Διεθνές Άδεια. Για να δείτε ένα αντίγραφο της άδειας αυτής, επισκεφτείτε <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.el>.

## Χρηματοδότηση

Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.

Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο ΤΕΙ Κεντρικής Μακεδονίας**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.

Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



**ΤΕΙ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ**

**Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών**

Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών ΤΕ και Μηχανικών Τοπογραφίας &  
Γεωπληροφορικής ΤΕ

**κατεύθυνση Μηχανικών Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής ΤΕ**

***Εφαρμογές Παγκοσμίου Δορυφορικού Συστήματος Εντοπισμού  
Θέσης (GPS)***

Κωδικός Μαθήματος 501

**Σημειώσεις Θεωρίας**

**Ε' Εξάμηνο**

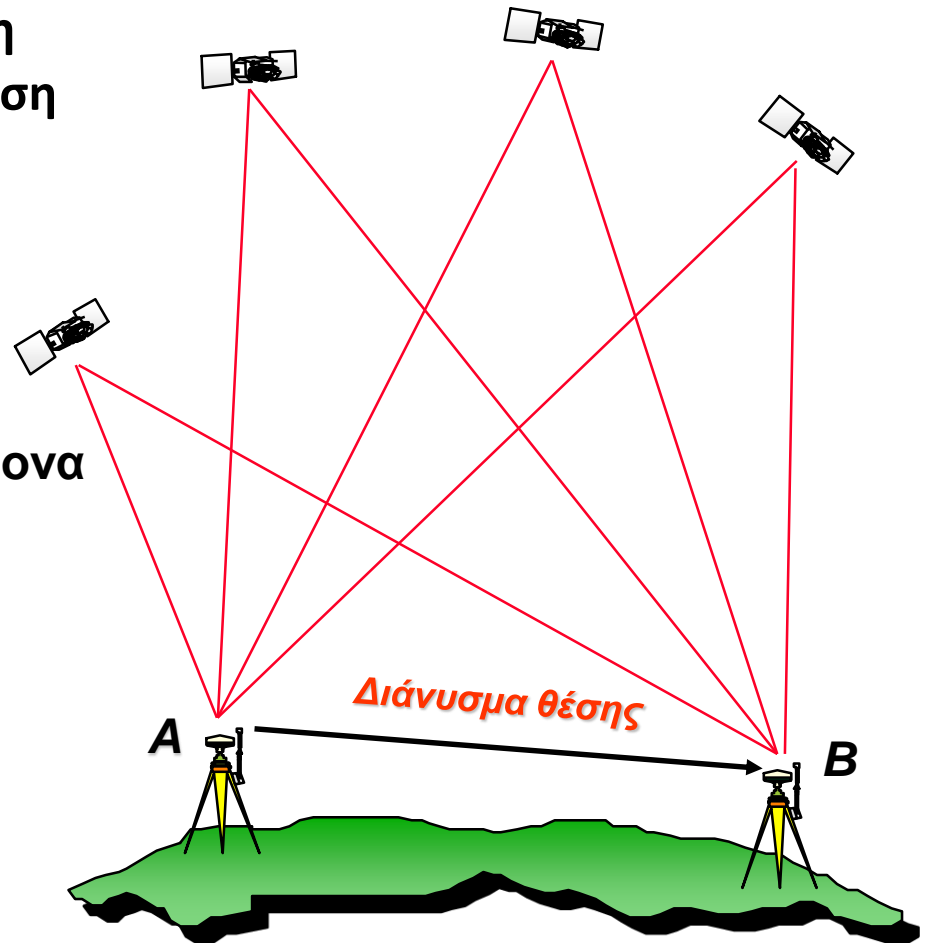
**Ακαδημαϊκό έτος 2014 – 2015**

## ***9<sup>ο</sup> Μάθημα Θεωρίας (501Θ)***

### **Απλές, Διπλές και Τριπλές διαφορές Τεχνικές Μέτρησης**

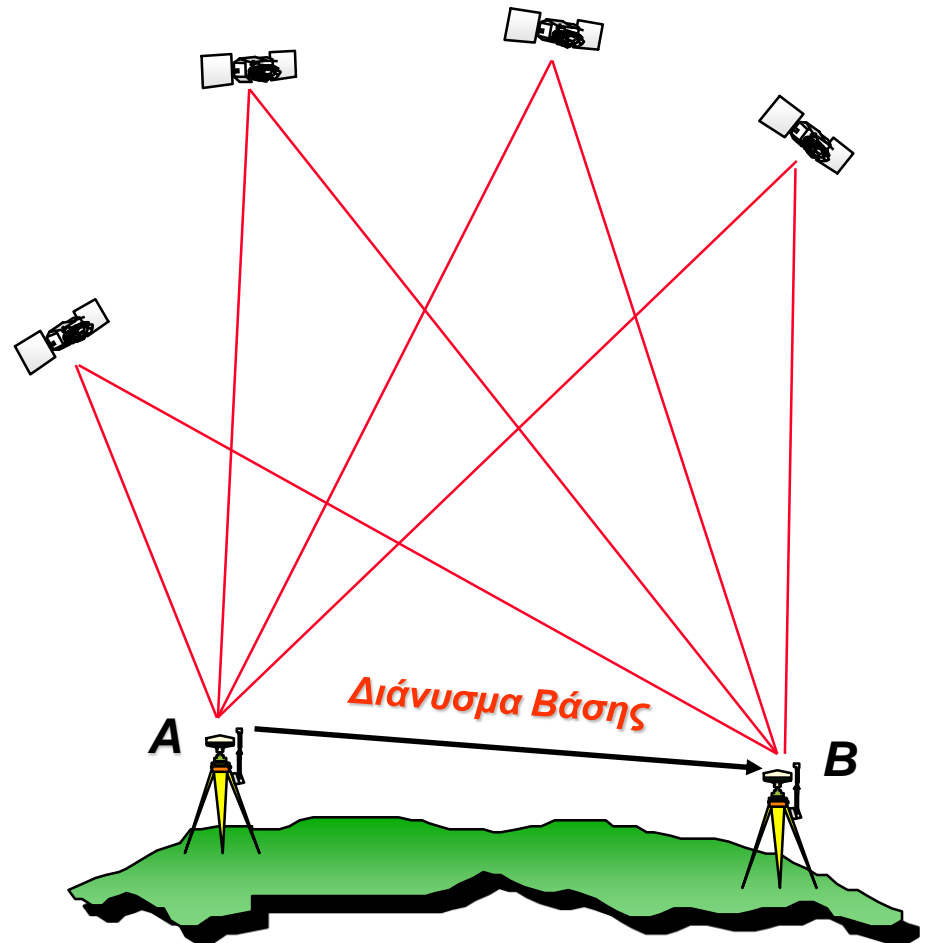
# Διαφορικός προσδιορισμός θέσης με GPS

- Είναι δυνατόν να προσδιορισθεί η θέση του κινητού δέκτη 'B' σε σχέση με τον δέκτη αναφοράς 'A'
  - Οι συντεταγμένες του δέκτη αναφοράς (A) είναι γνωστές
  - Οι ίδιοι δορυφόροι «παρατηρούνται» ταυτόχρονα
- Διαφορικός εντοπισμός
  - εξαλείφει τα σφάλματα των χρονομέτρων δέκτη και δορυφόρου
  - ελαχιστοποιεί τις δορυφορικές υστερήσεις
  - ακρίβεια 0.5 cm - 5 m



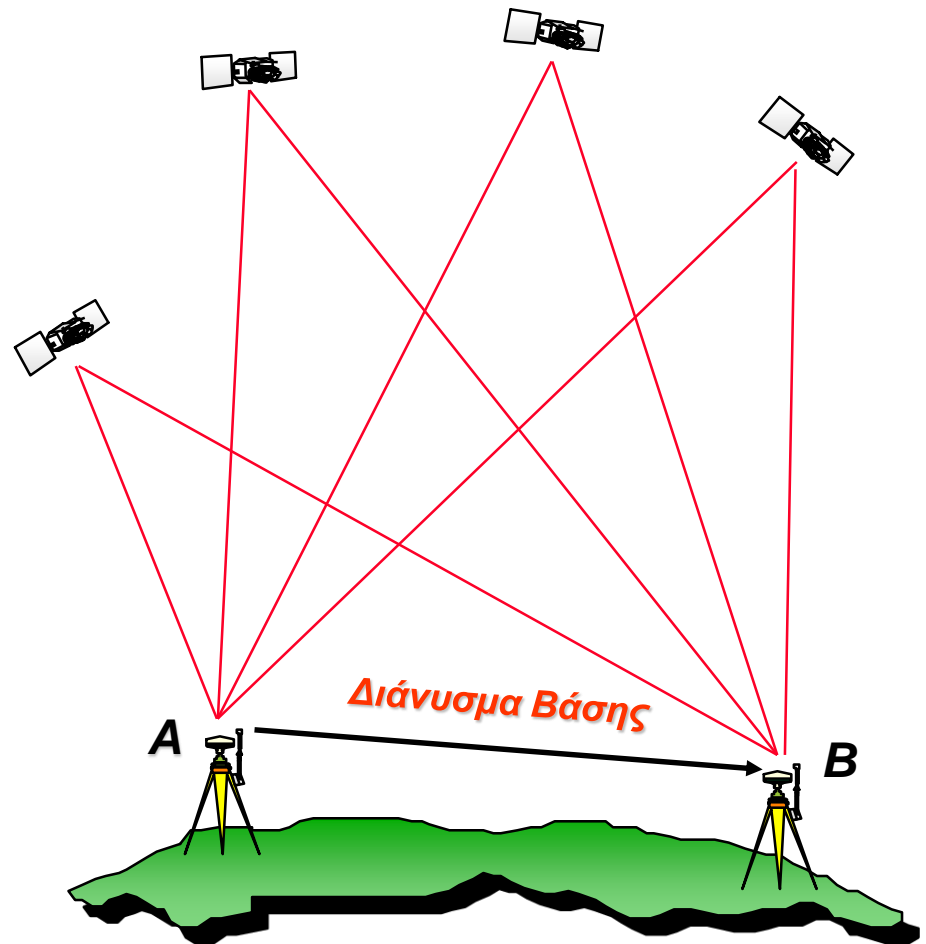
# Διαφορικός προσδιορισμός θέσης με GPS

- Αν χρησιμοποιείται μόνον **κώδικας** η ακρίβεια στην απόσταση είναι 0.5m - 5 m
- Αυτό είναι γνωστό ως διαφορικό GPS (Differential GPS – DGPS)



# Διαφορικός προσδιορισμός θέσης με GPS

- Εάν χρησιμοποιείται **φάση ή κώδικας και φάση** η ακρίβεια είναι της τάξης των 5 - 10 mm + 1ppm



# Εξισώσεις παρατήρησης

Παρατηρηθήσα απόσταση μεταξύ δορυφόρου και δέκτη  
 Τροχιακά σφάλματα  
 Επίδραση της ιονόσφαιρας  

$$\rho = p + dp + c(dt - dT) + d_{ion} + d_{trop} + \epsilon_p$$
 Αληθής απόσταση μεταξύ δορυφόρου και δέκτη  
 Σφάλμα χρονομέτρου δορυφόρου  
 Σφάλμα χρονομέτρου δέκτη  
 Θόρυβος παρατήρησης  
 Επίδραση της τροπόσφαιρας  
 Διαφορετικό πρόσημο!!!!

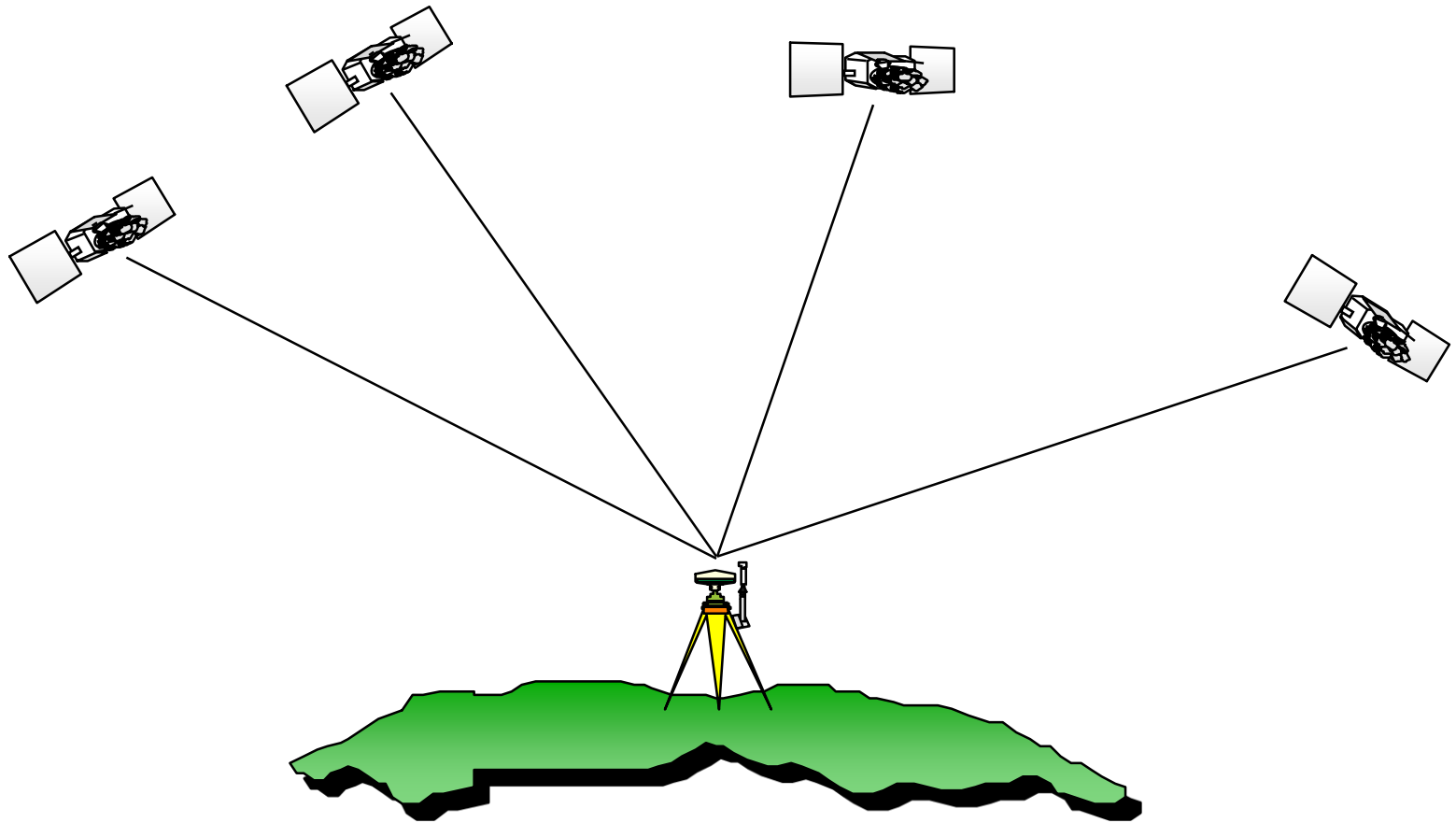
Αληθής δεκαδική διαφορά φάσης μεταξύ δορυφόρου και δέκτη  
 Ακέραιος αριθμός κύκλων για κάθε ζεύγος δέκτη-δορυφόρου  

$$\lambda\Phi = \rho = p + dp + c(dt - dT) + \lambda N - d_{ion} + d_{trop} + \epsilon(\Phi)$$

$$\Phi(\text{μονάδες μήκους}) = \lambda\varphi(\text{κύκλοι})$$

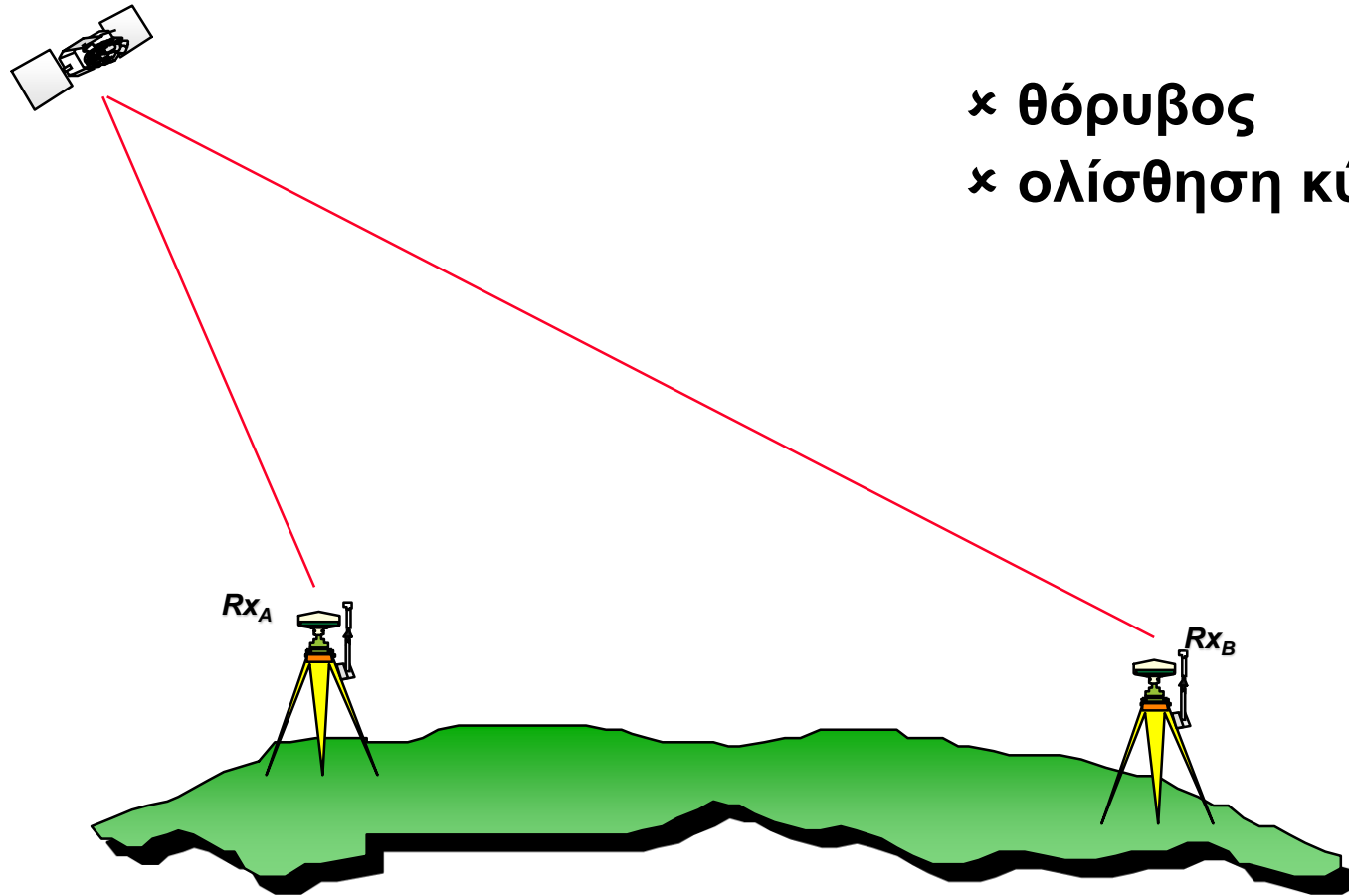


# Απόλυτος προσδιορισμός θέσης με GPS



- × τροχιακά σφάλματα
- × καθυστέρηση σήματος στην ατμόσφαιρα
- × πρέπει να γίνει επίλυση για την ολίσθηση κύκλων

# Απλές διαφορές ανάμεσα σε δύο δέκτες ( $\Delta$ )



- × θόρυβος
- × ολίσθηση κύκλων

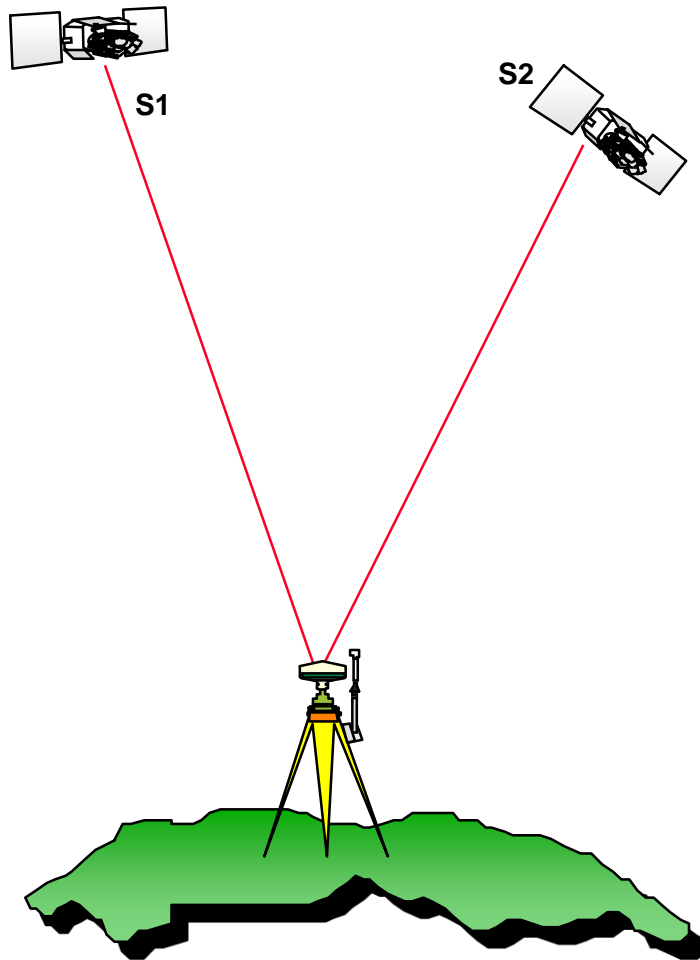
- ✓ εξαλείφουν το σφάλμα του χρονομέτρου του δορυφόρου
- ✓ για μικρές βάσεις (<1000 km) μειώνουν τα ατμοσφαιρικά και τροχιακά σφάλματα

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

$$\Delta\rho = \Delta p + \Delta d\rho - c\Delta dT + \Delta dion + \Delta dtrop + \varepsilon\Delta\rho$$

$$\Delta\Phi = \Delta p + \Delta d\rho - c\Delta dT + \lambda\Delta N - \Delta dion + \Delta dtrop + \varepsilon\Delta\Phi$$

# Απλές διαφορές ανάμεσα σε δύο δορυφόρους ( ∇ )



- x θόρυβος
- x ολίσθηση κύκλων
- x σφάλματα χρονομέτρων δορυφόρων

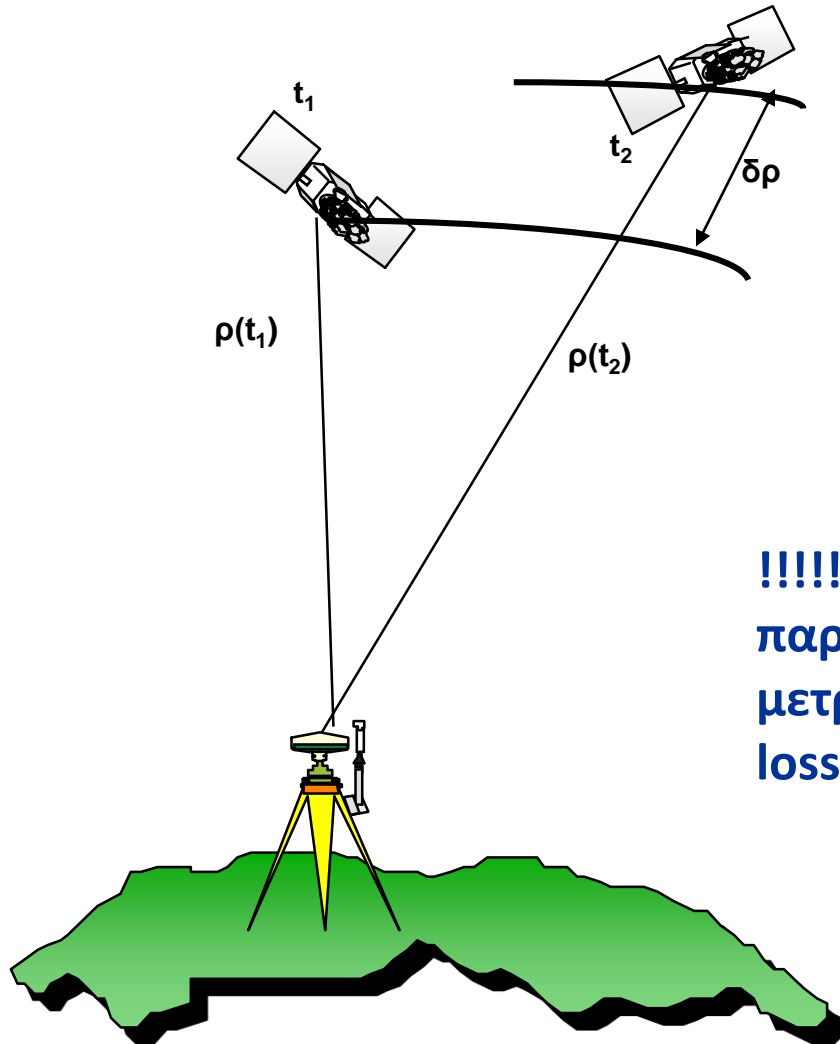
- ✓ εξαλείφουν το σφάλμα του χρονομέτρου του δέκτη
- ✓ χρησιμοποιούνται για το σχηματισμό διπλών διαφορών

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

$$\nabla \rho = \nabla p + \nabla dp + c \nabla dt + \nabla dion + \nabla dtrop + \varepsilon \nabla p$$

$$\nabla \Phi = \nabla p + \nabla dp + c \nabla dt + \lambda \nabla N - \nabla dion + \nabla dtrop + \varepsilon \nabla \Phi$$

# Απλές διαφορές μεταξύ εποχών ( $\delta$ )



× θόρυβος

× σφάλματα χρονομέτρων  
δορυφόρου και δέκτη

!!!! Είναι απαραίτητο ο δορυφόρος να παρατηρείται καθόλη τη διάρκεια των μετρήσεων  $[t_1, t_2]$  να μην υπάρξει δηλαδή loss of lock!!!!

- ✓ εξαλείφουν την ολίσθηση κύκλων στις μετρήσεις φάσης (πώς;;;;;;)
- ✓ μειώνουν τα τροχιακά και ατμοσφαιρικά σφάλματα

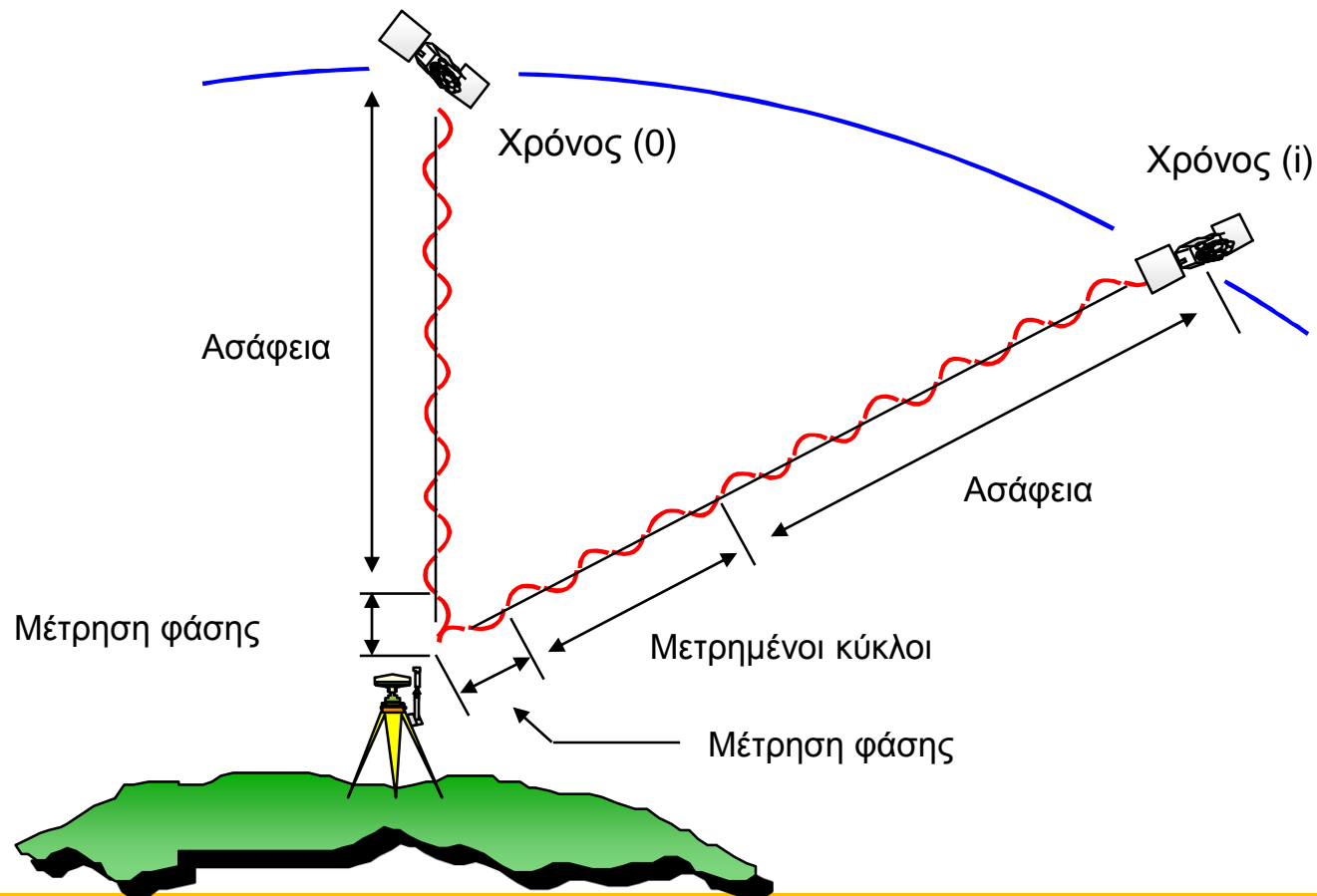
$$\delta = (\bullet)_{t2} - (\bullet)_{t1}$$

$$\delta\rho = \delta p + \delta d\rho + c(\delta dt - \delta dT) + \delta dion + \delta dtrop + \varepsilon\delta\rho$$

$$\delta\Phi = \delta p + \delta d\rho + c(\delta dt - \delta dT) - \delta dion + \delta dtrop + \varepsilon\delta\Phi$$

## Αρχική ασάφεια φάσης

- Η αρχική ασάφεια φάσης πρέπει να προσδιοριστεί για να χρησιμοποιηθούν τα δεδομένα φάσης ως μετρήσεις αποστάσεων

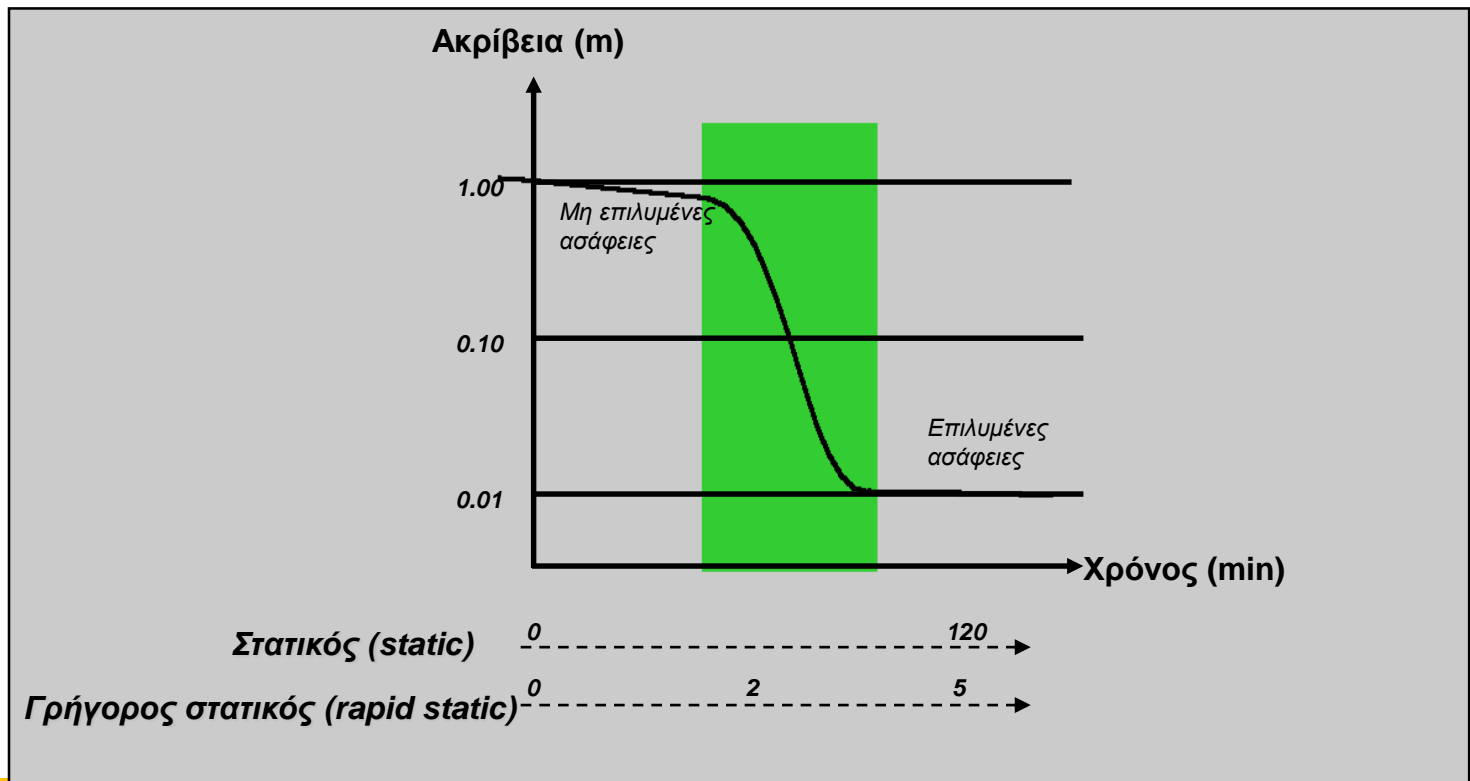




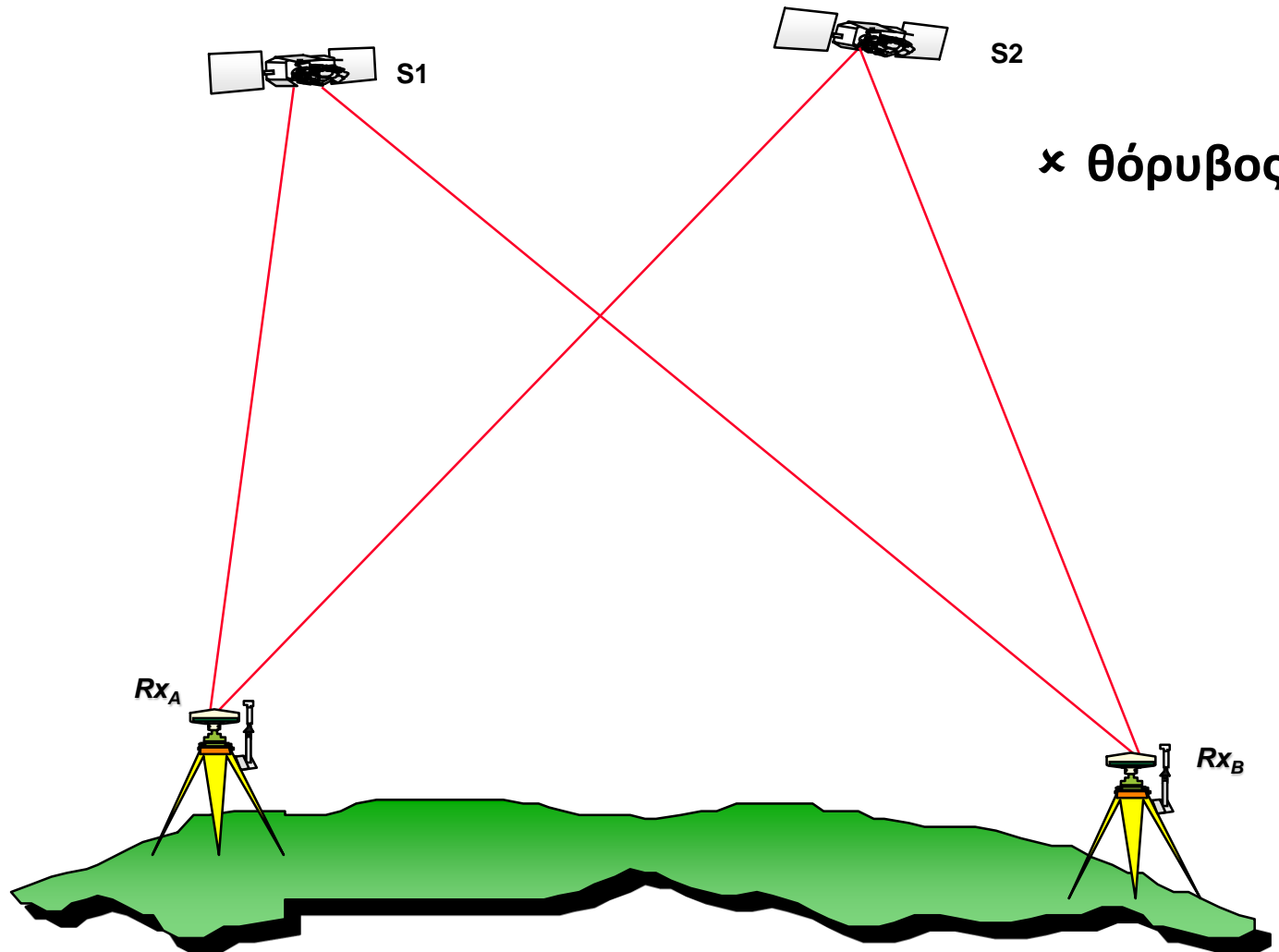
# Απλές διαφορές μεταξύ εποχών (δ)

## Επίλυση ασαφειών

- Η επίδραση των ασαφειών φαίνεται στο σχήμα
- Από τη στιγμή που επιλυθούν οι ασάφειες, δεν βελτιώνεται σημαντικά με τον χρόνο



# Διπλές διαφορές μεταξύ δορυφόρων δεκτών ( $\Delta \nabla$ )



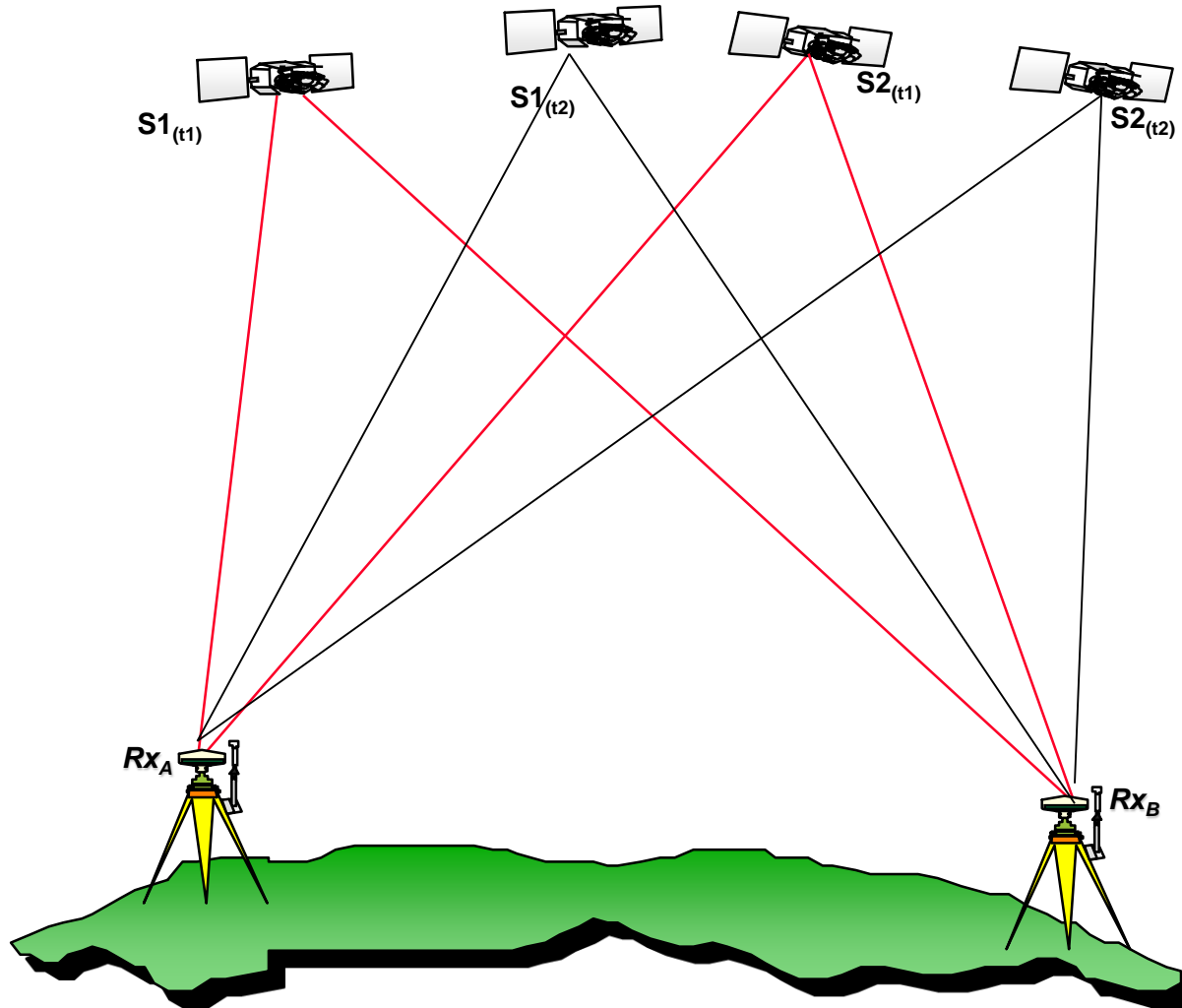
- ✓ εξαλείφουν τα σφάλματα χρονομέτρων δορυφόρων και δεκτών
- ✓ μειώνουν τα τροχιακά και ατμοσφαιρικά σφάλματα

$$\Delta \nabla = \{(\bullet)_{s2} - (\bullet)_{s1}\}_{rx2} - \{(\bullet)_{s2} - (\bullet)_{s1}\}_{rx1}$$

$$\Delta \nabla \rho = \Delta \nabla \rho + \Delta \nabla d\rho + \Delta \nabla dion + \Delta \nabla dtrop + \varepsilon \Delta \nabla \rho$$

$$\Delta \nabla \Phi = \Delta \nabla \rho + \Delta \nabla d\rho + \lambda \Delta \nabla N - \Delta \nabla dion + \Delta \nabla dtrop + \varepsilon \Delta \nabla \Phi$$

# Τριπλές διαφορές μεταξύ εποχών, δορυφόρων, δεκτών ( $\delta\Delta\nabla$ )



- x θόρυβος
- x  $\delta\Delta\nabla\rho$  δεν έχει πλεονεκτήματα έναντι των  $\Delta\nabla\rho$

- ✓ εξαλείφουν τα σφάλματα χρονομέτρων δορυφόρων και δεκτών καθώς και την ολίσθηση κύκλων
- ✓ μειώνουν τα τροχιακά και ατμοσφαιρικά σφάλματα

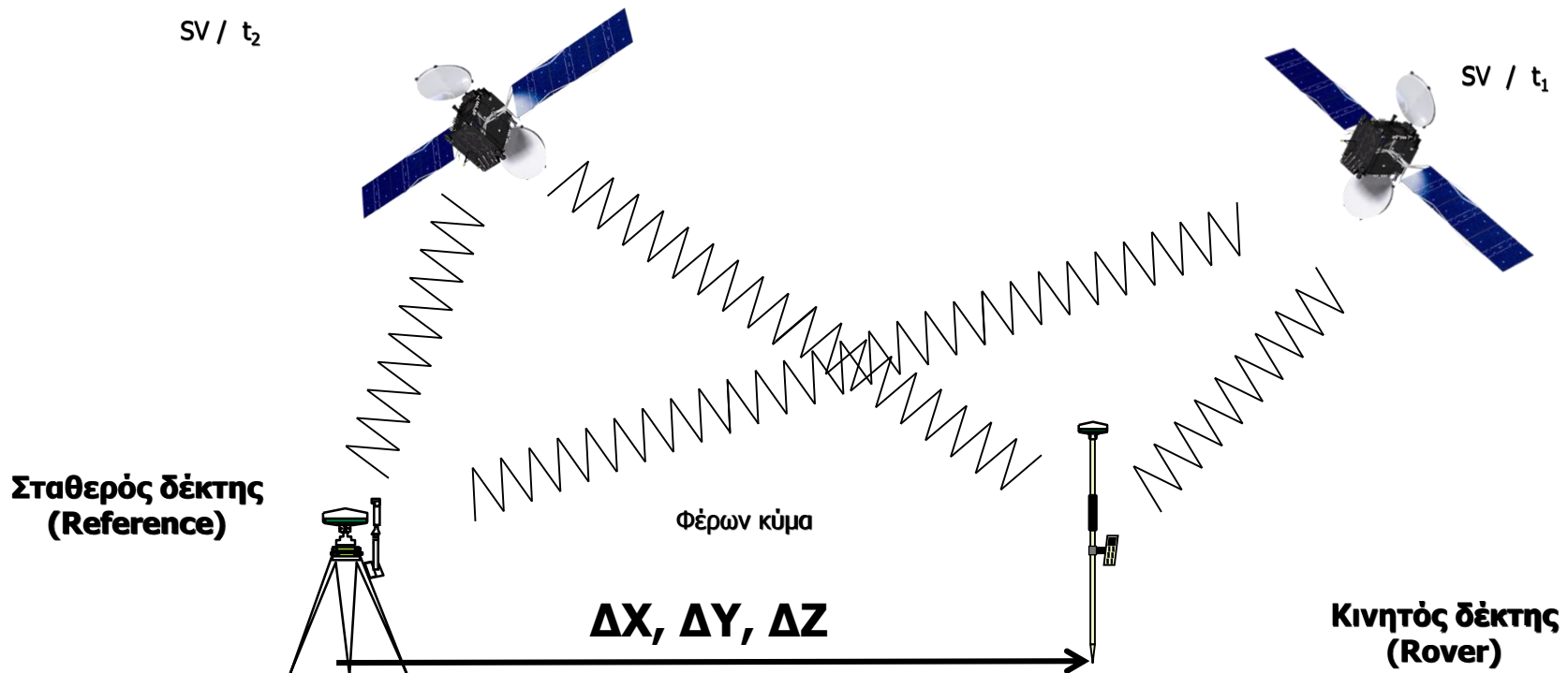
$$\delta\Delta\nabla = [\{(\bullet)_{s2} - (\bullet)_{s1}\}_{rx2} - \{(\bullet)_{s2} - (\bullet)_{s1}\}_{rx1}]_{t2} - [\{(\bullet)_{s2} - (\bullet)_{s1}\}_{rx2} - \{(\bullet)_{s2} - (\bullet)_{s1}\}_{rx1}]_{t1}$$

$$\delta\Delta\nabla\rho = \delta\Delta\nabla\rho + \delta\Delta\nabla d\rho + \delta\Delta\nabla dion + \delta\Delta\nabla dtrop + \varepsilon\delta\Delta\nabla\rho$$

$$\delta\Delta\nabla\Phi = \delta\Delta\nabla\rho + \delta\Delta\nabla d\rho + \delta\lambda\Delta\nabla N - \delta\Delta\nabla dion + \delta\Delta\nabla dtrop + \varepsilon\delta\Delta\nabla\Phi$$

- Μέθοδοι προσδιορισμού θέσης με ένα δέκτη ακρίβειες: 10 - 100 m
  - Οι ακρίβειες εξαρτώνται από την επιλεκτική διαθεσιμότητα
  - Λύση μιας «εποχής»
- Μεθοδοι διαφορικού προσδιορισμού θέσης με δύο δέκτες, ταυτόχρονη παρατήρηση τουλάχιστον 4 δορυφόρων (βέλτιστο >5)  
παρέχει ακρίβειες 0.5 cm έως 5 m ως προς το σύστημα αναφοράς
- ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ
  - Διαφορικές τεχνικές μόνο με χρήση **Κώδικα** προσφέρουν ακρίβεια **μέτρου**
  - Διαφορικές τεχνικές με χρήση **Φάσης** προσφέρουν ακρίβεια **εκατοστού**

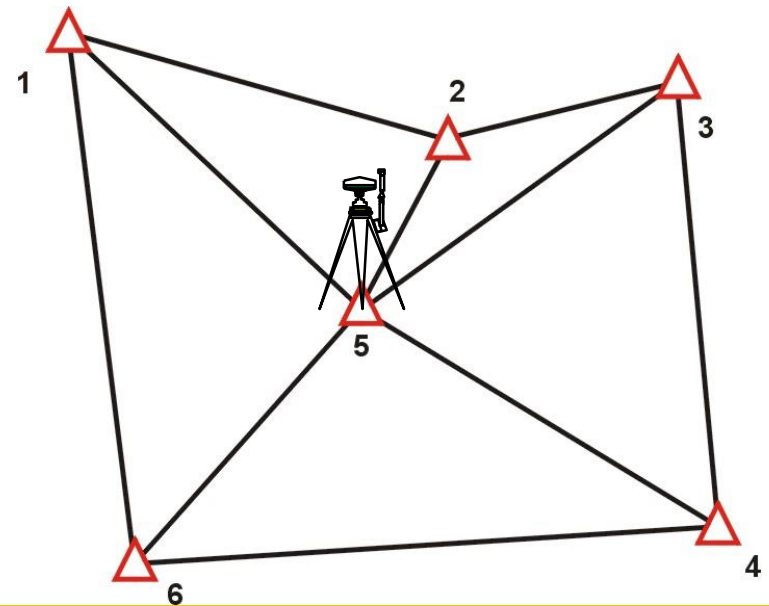
# Σχετικός προσδιορισμός



- ✓ Ο χρόνος μέτρησης της βάσης ( $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ ) εξαρτάται από το μήκος της βάσης τον τύπο του δέκτη και τους διαθέσιμους δορυφόρους.
- ✓ Θέση του κινητού δέκτη (Rover) = Θέση του σταθερού (Reference) +  $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$

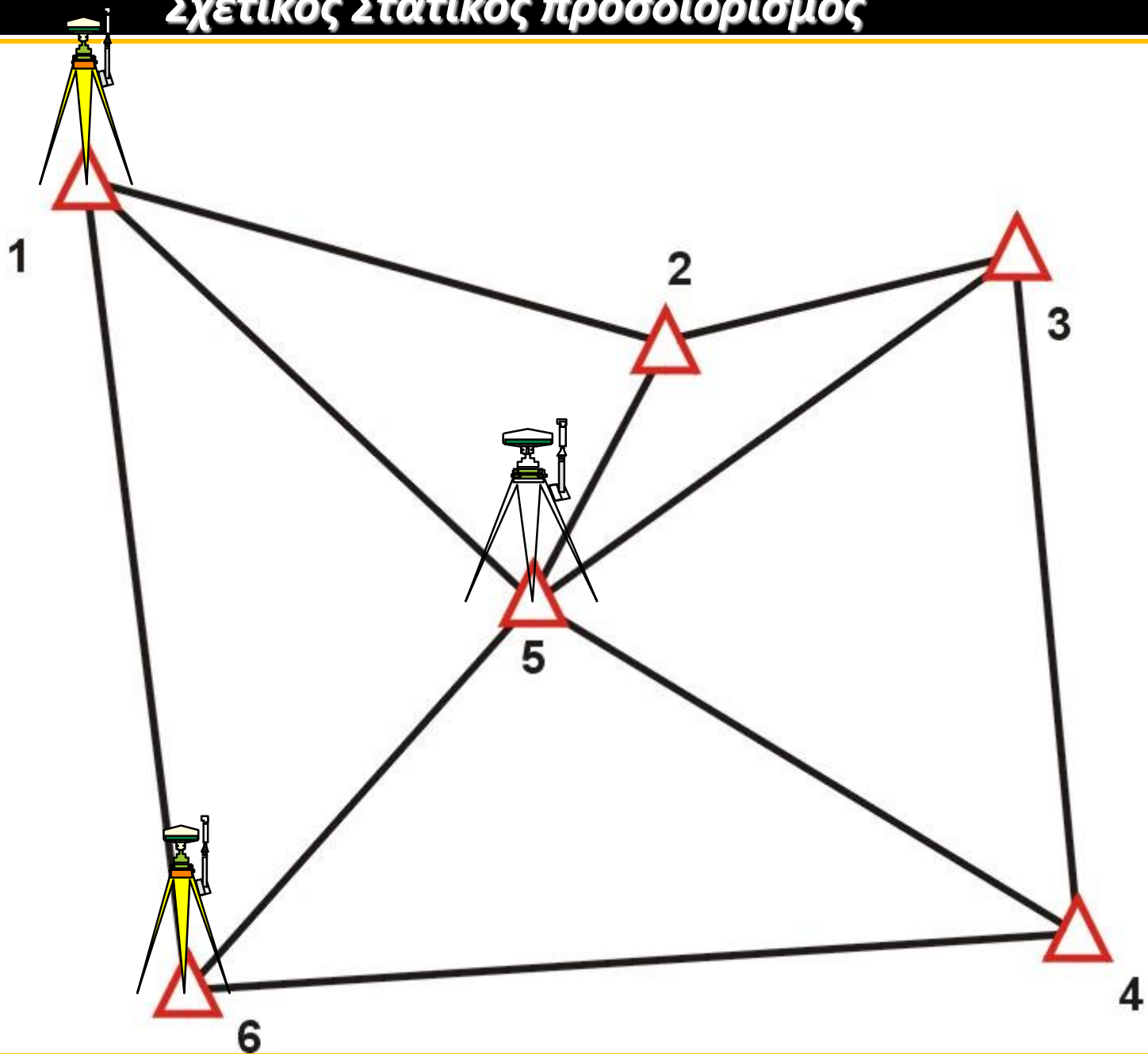
## Σχετικός Στατικός προσδιορισμός

- Η μεθοδολογία που ακολουθείται είναι αυτή του σχετικού προσδιορισμού θέσης.
- Ο σταθερός δέκτης (Ref) τοποθετείται σε γνωστό τριγωνομετρικό σημείο και ο(οι) άλλος(οι) δέκτης(ες) μετακινείται στα υπόλοιπα τριγωνομετρικά.
- Η ακρίβεια του σχετικού στατικού προσδιορισμού είναι  $\approx 1 \text{ cm} \pm 1 \text{ ppm}$  (ανάλογα και με τον τύπο του δέκτη).

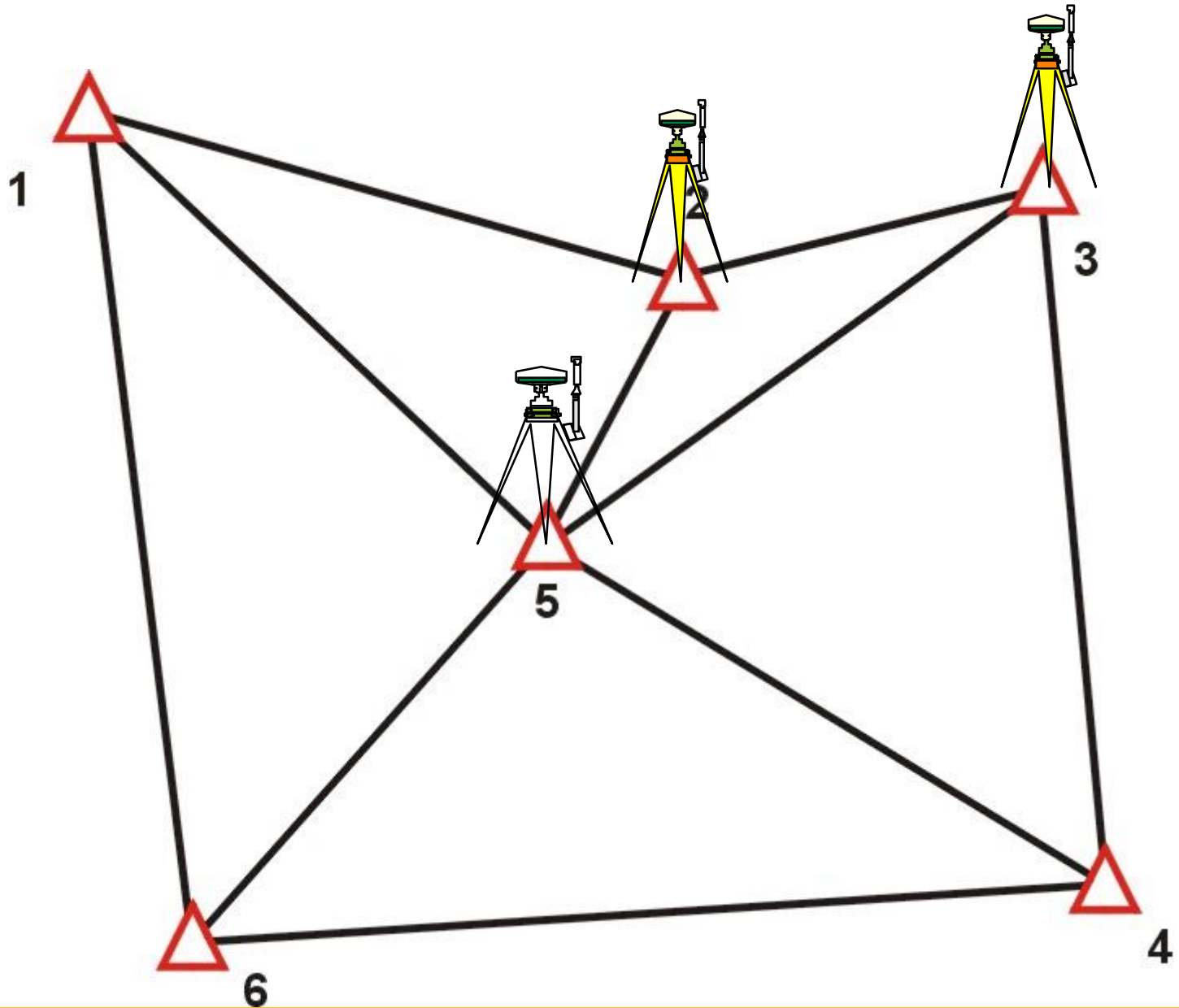




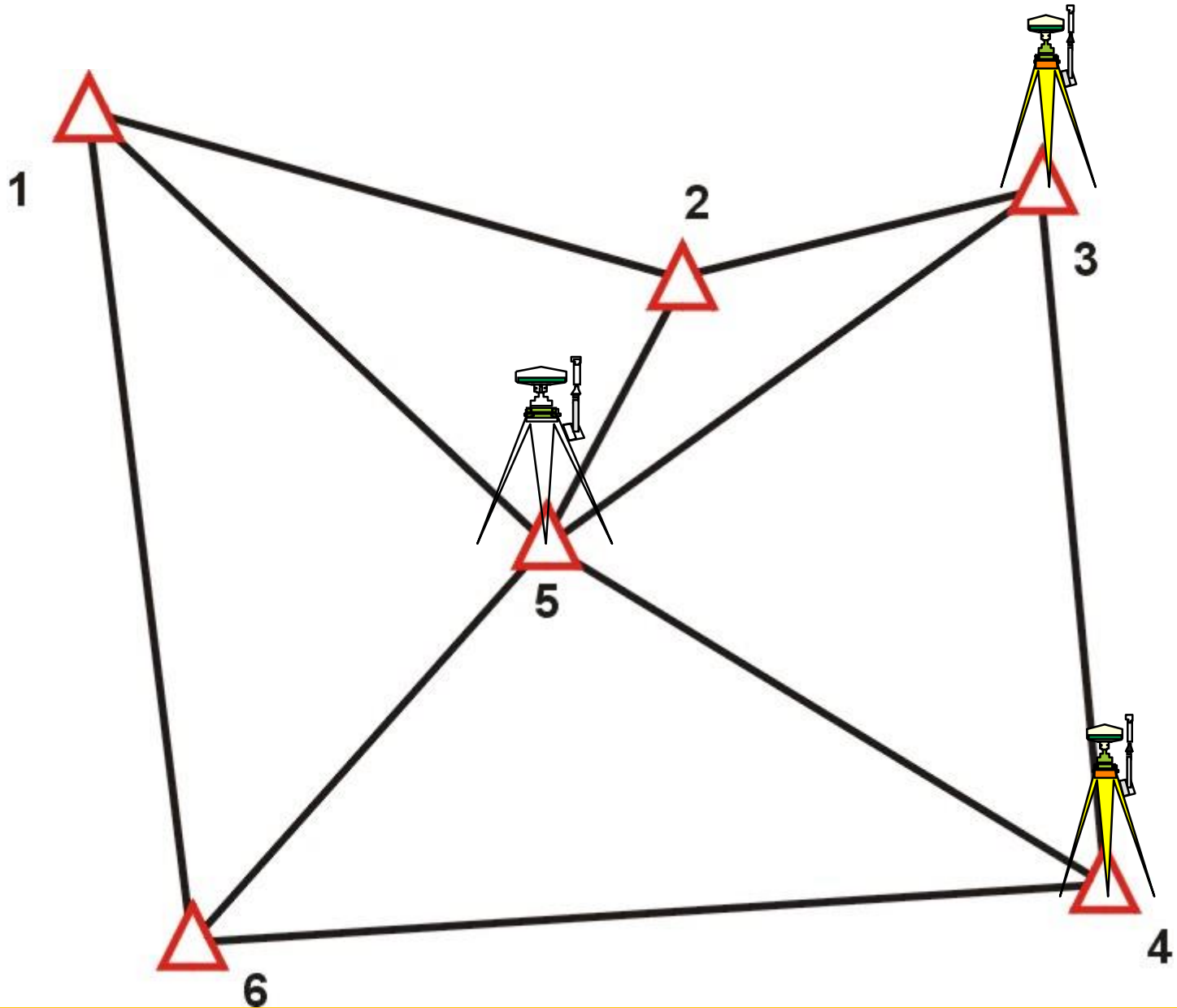
# Σχετικός Στατικός προσδιορισμός



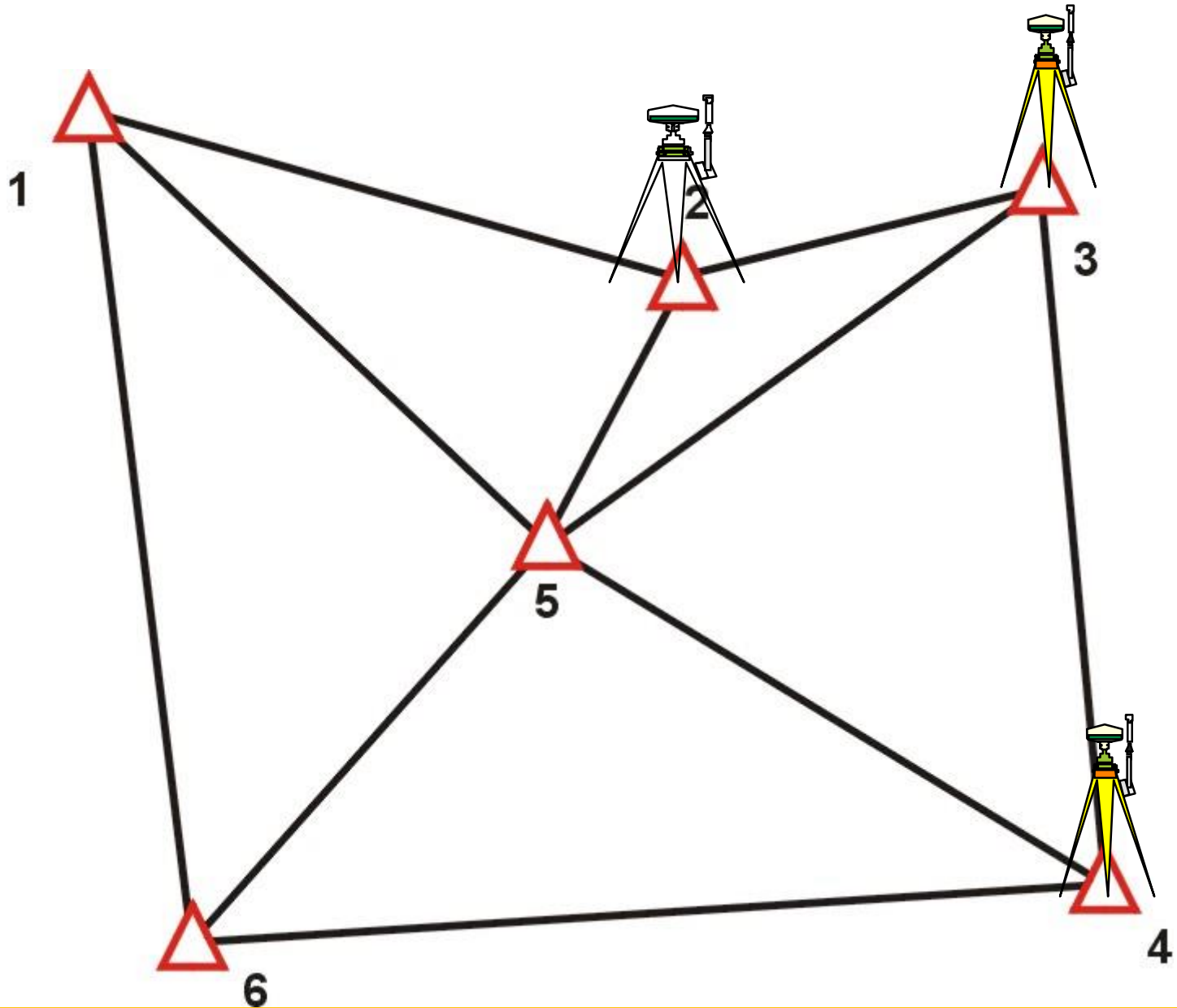
# Σχετικός Στατικός προσδιορισμός



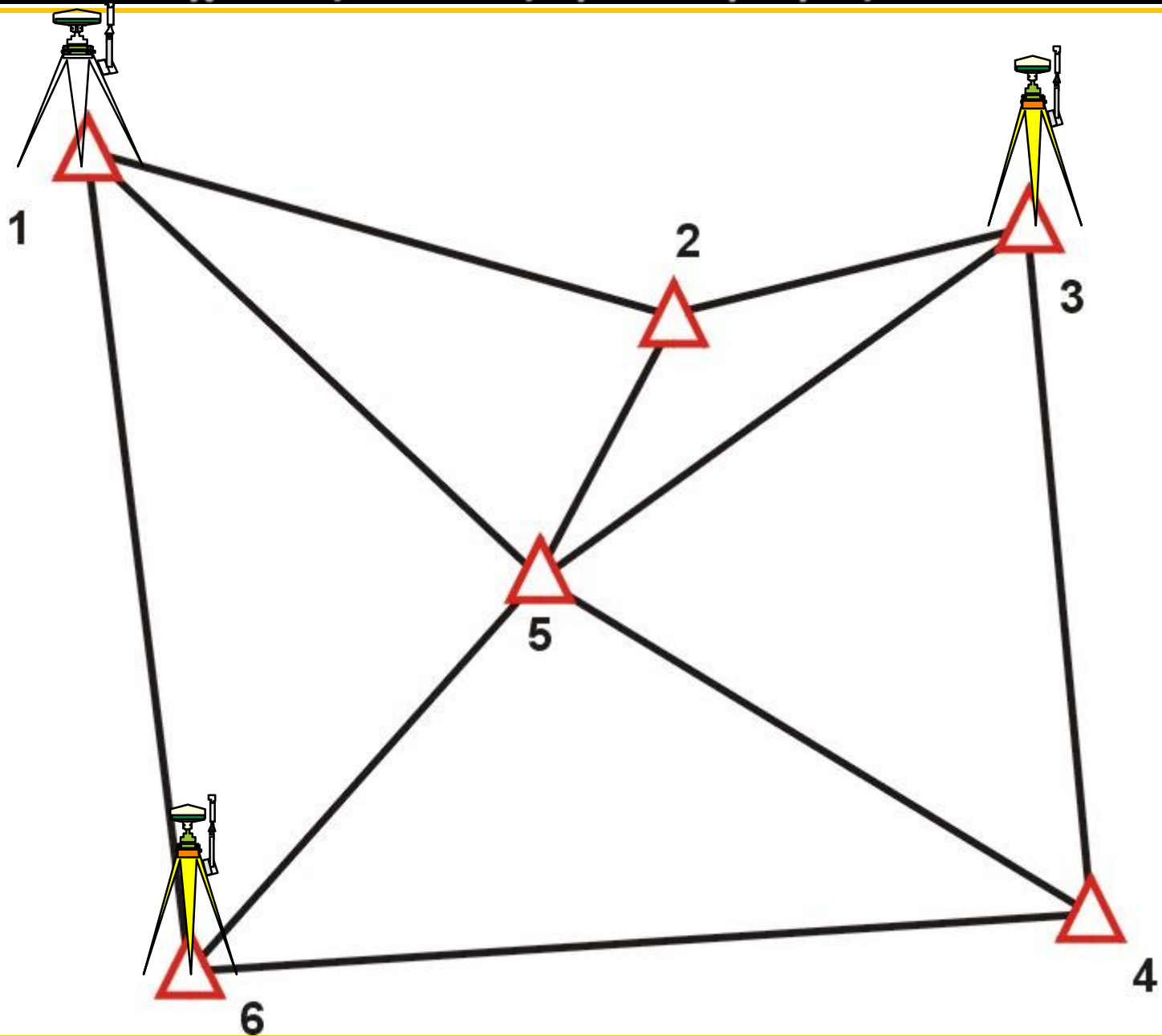
# Σχετικός Στατικός προσδιορισμός



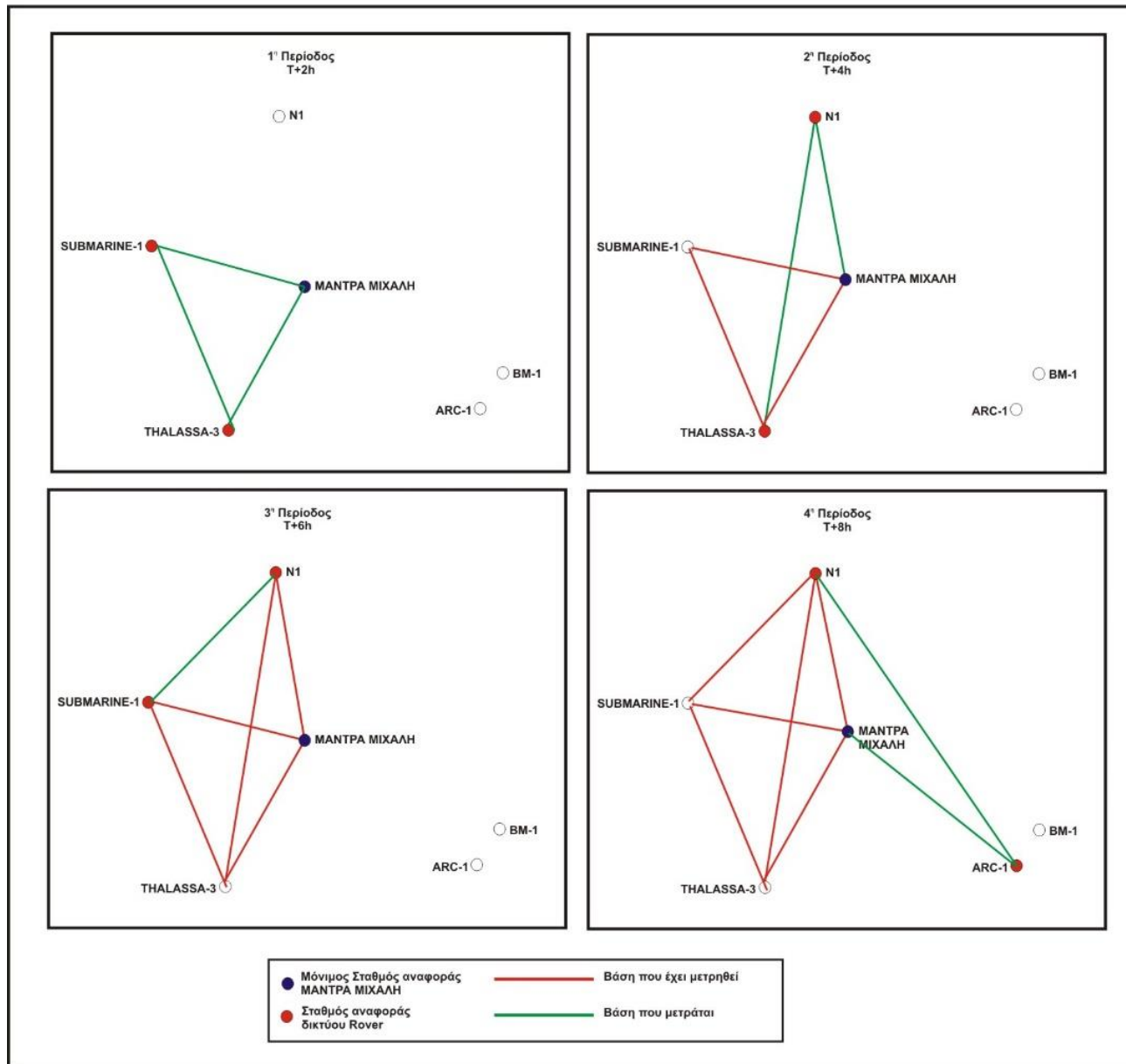
# Σχετικός Στατικός προσδιορισμός



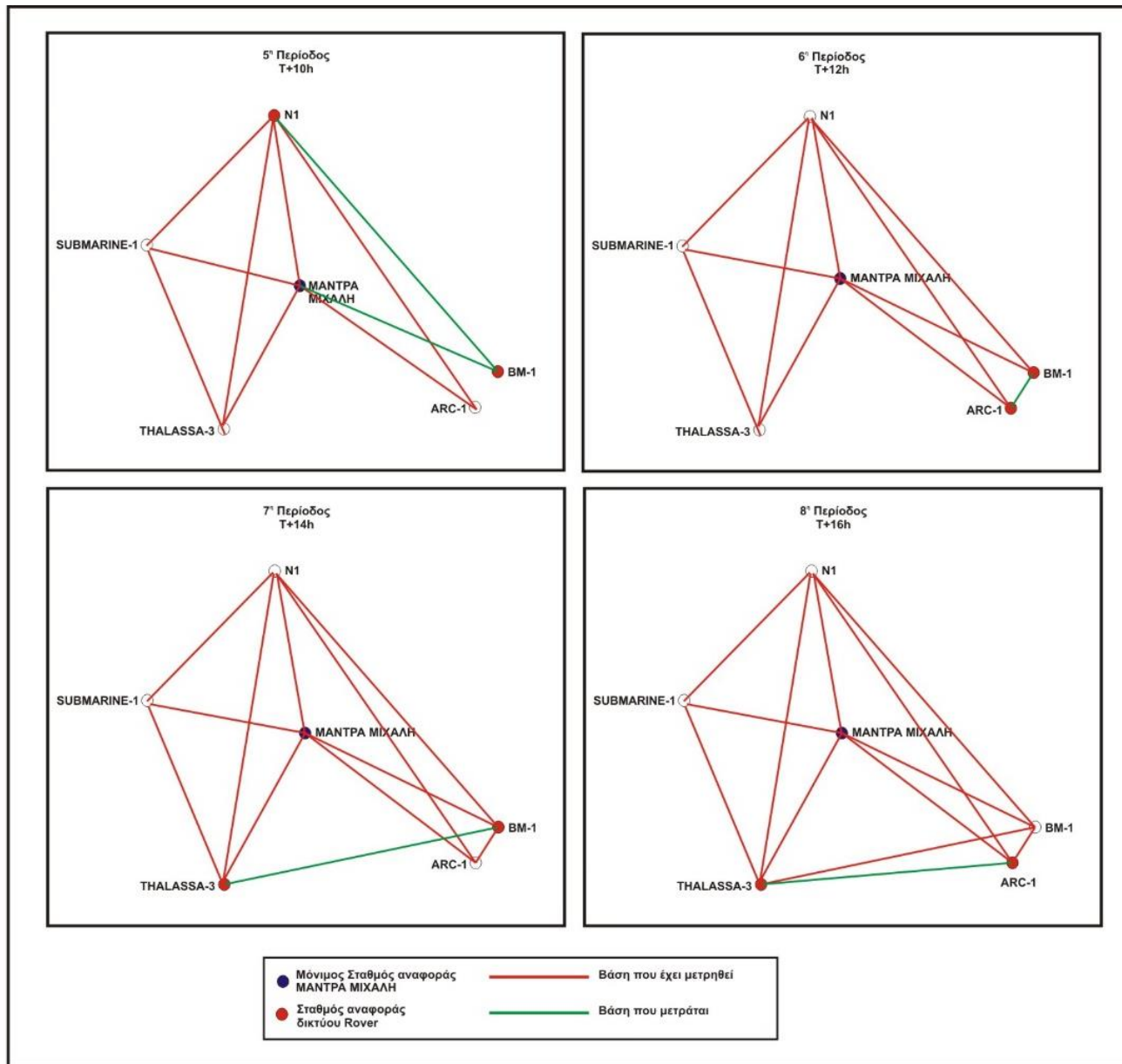
# Σχετικός Στατικός προσδιορισμός



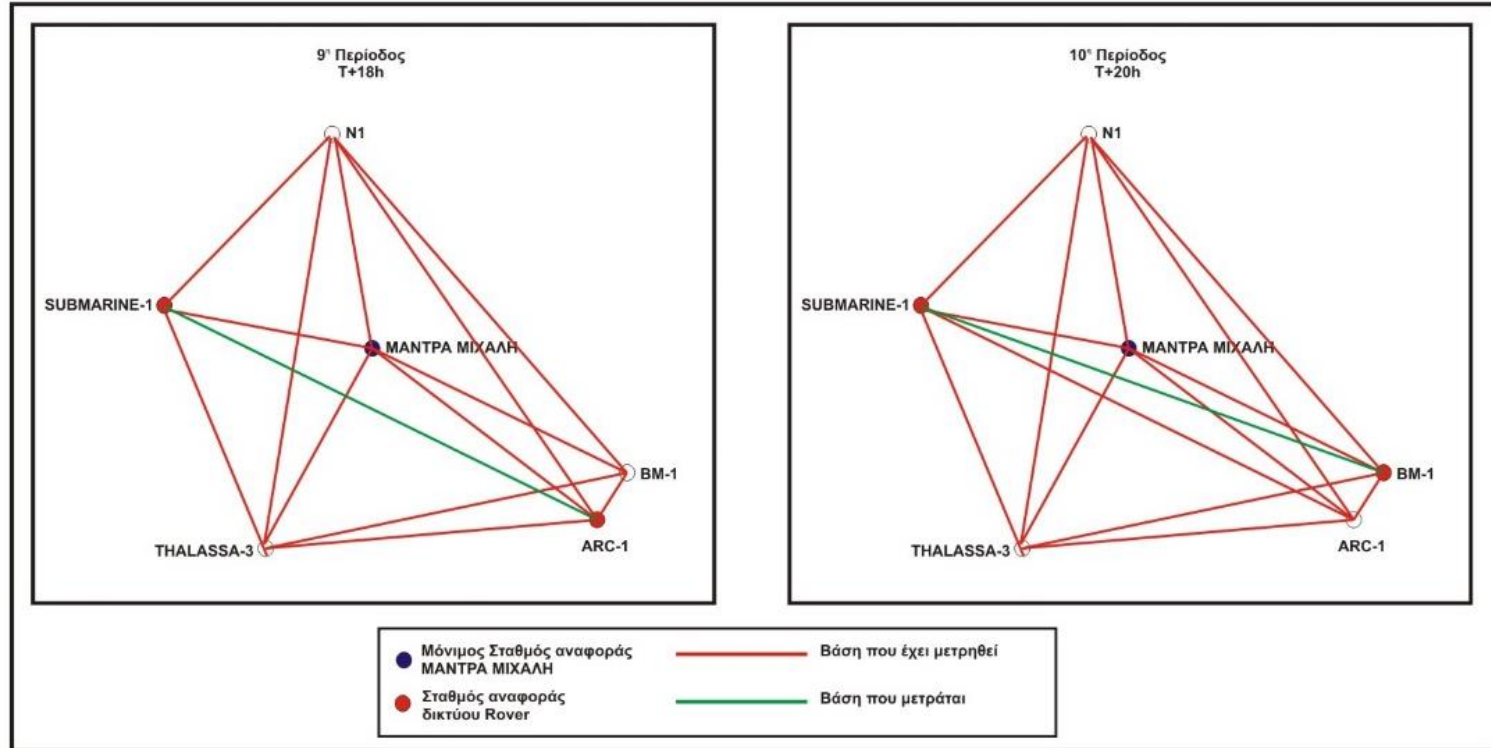
# Σχετικός Στατικός προσδιορισμός (παράδειγμα)



# Σχετικός Στατικός προσδιορισμός (παράδειγμα)



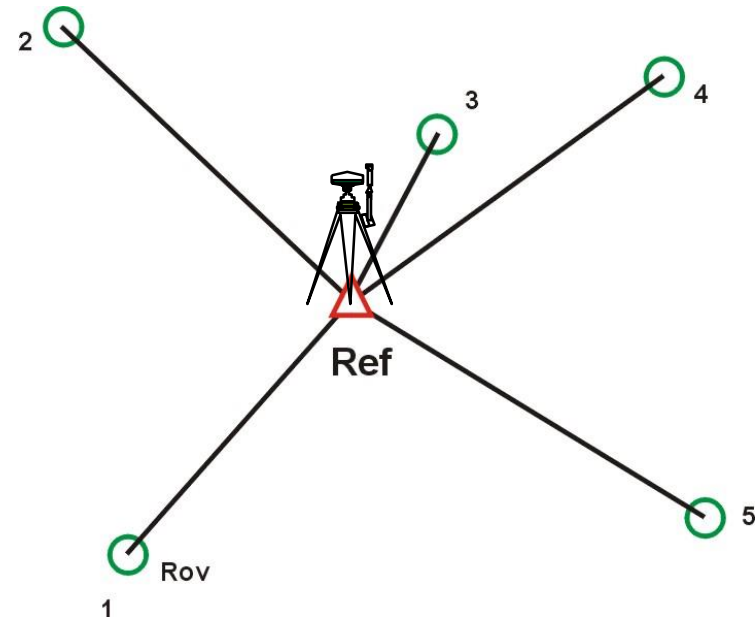
# Σχετικός Στατικός προσδιορισμός (παράδειγμα)





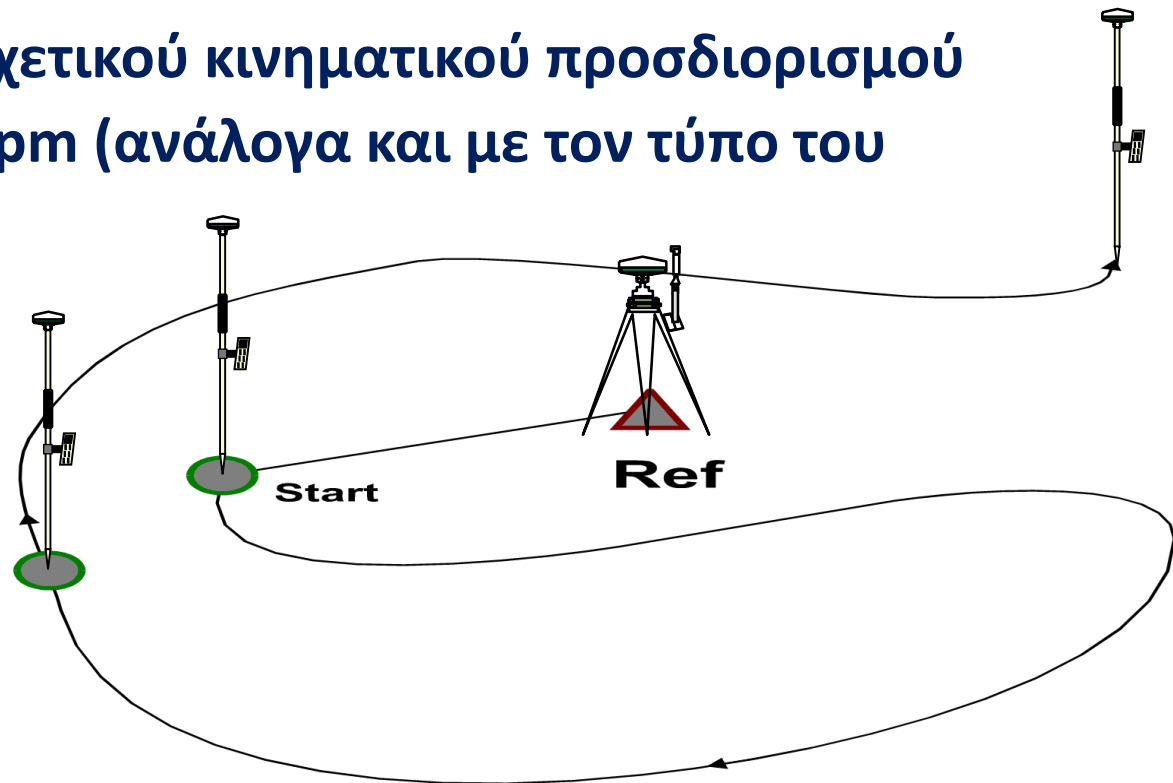
# Γρήγορος (Σχετικός) Στατικός προσδιορισμός

- Η μεθοδολογία που ακολουθείται είναι αυτή του σχετικού προσδιορισμού θέσης με μικρό χρόνο παρατήρησης (2-3 min) και μεγάλο ρυθμό καταγραφής (5-10 s).
- Ο σταθερός δέκτης (Ref) τοποθετείται σε γνωστό τριγωνομετρικό σημείο και ο(οι) άλλος(οι) δέκτης(ες) μετακινείται στα υπόλοιπα τριγωνομετρικά.
- Η ακρίβεια του γρήγορου στατικού προσδιορισμού είναι  $\approx 1-2\text{cm} \pm 5\text{ppm}$  (ανάλογα και με τον τύπο του δέκτη).



# Κινηματικός προσδιορισμός

- Η μεθοδολογία που ακολουθείται είναι αυτή του σχετικού προσδιορισμού θέσης.
- Ο σταθερός δέκτης (Ref) τοποθετείται σε γνωστό τριγωνομετρικό σημείο και ο άλλος δέκτης μετακινείται κατά μήκος μιας προς αποτύπωση διαδρομής.
- Η ακρίβεια του σχετικού κινηματικού προσδιορισμού είναι  $\approx 1 \text{ cm} \pm 5 \text{ ppm}$  (ανάλογα και με τον τύπο του δέκτη).



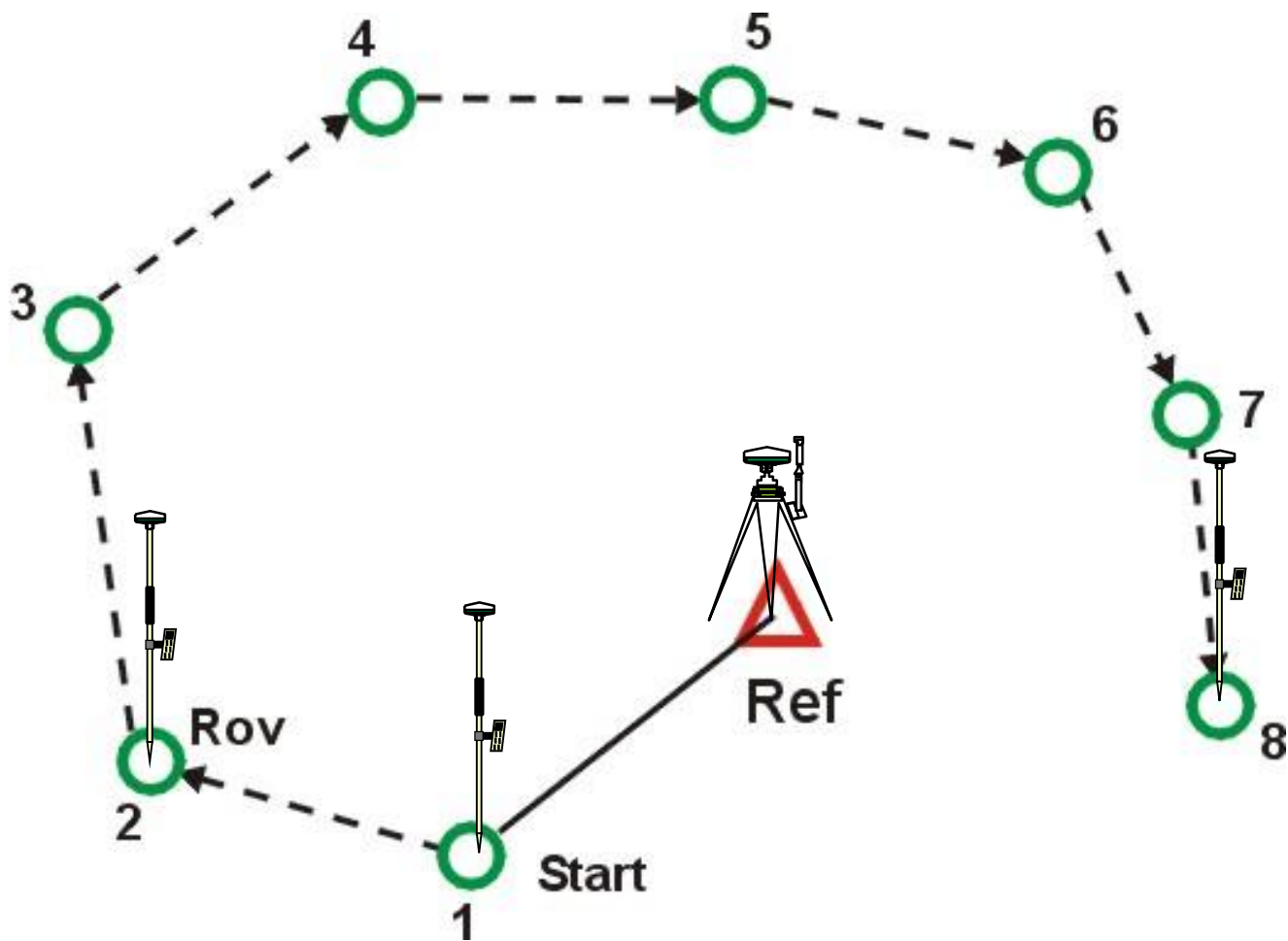
## Κινηματικός εκ των υστέρων προσδιορισμός

- Δεν απαιτείται αμοιβαία ορατότητα δεκτών αλλά δορυφόρων
- Ο ρυθμός εγγραφής (Logging rate) θα πρέπει να είναι μικρός, 1-3 sec
- Πριν την έναρξη της διαδικασίας αποτύπωσης στο πεδίο καλό θα είναι ο κινητός δέκτης να παραμείνει αρχικά στο πρώτο σημείο μερικά λεπτά (Static initialization) και στην συνέχεια αρκούν μερικά δευτερόλεπτα για τα υπόλοιπα.
- Στα σημεία με κακή λήψη θα πρέπει ο δέκτης να παραμένει περισσότερο χρόνο.
- Σε καμία περίπτωση δεν πρέπει η λήψη να είναι με λιγότερους από 4 δορυφόρους, διαφορετικά θα πρέπει να ξανακάνουμε Static initialization
- Οι τελικές συντεταγμένες των σημείων λεπτομερειών προκύπτουν ύστερα από επίλυση στο γραφείο

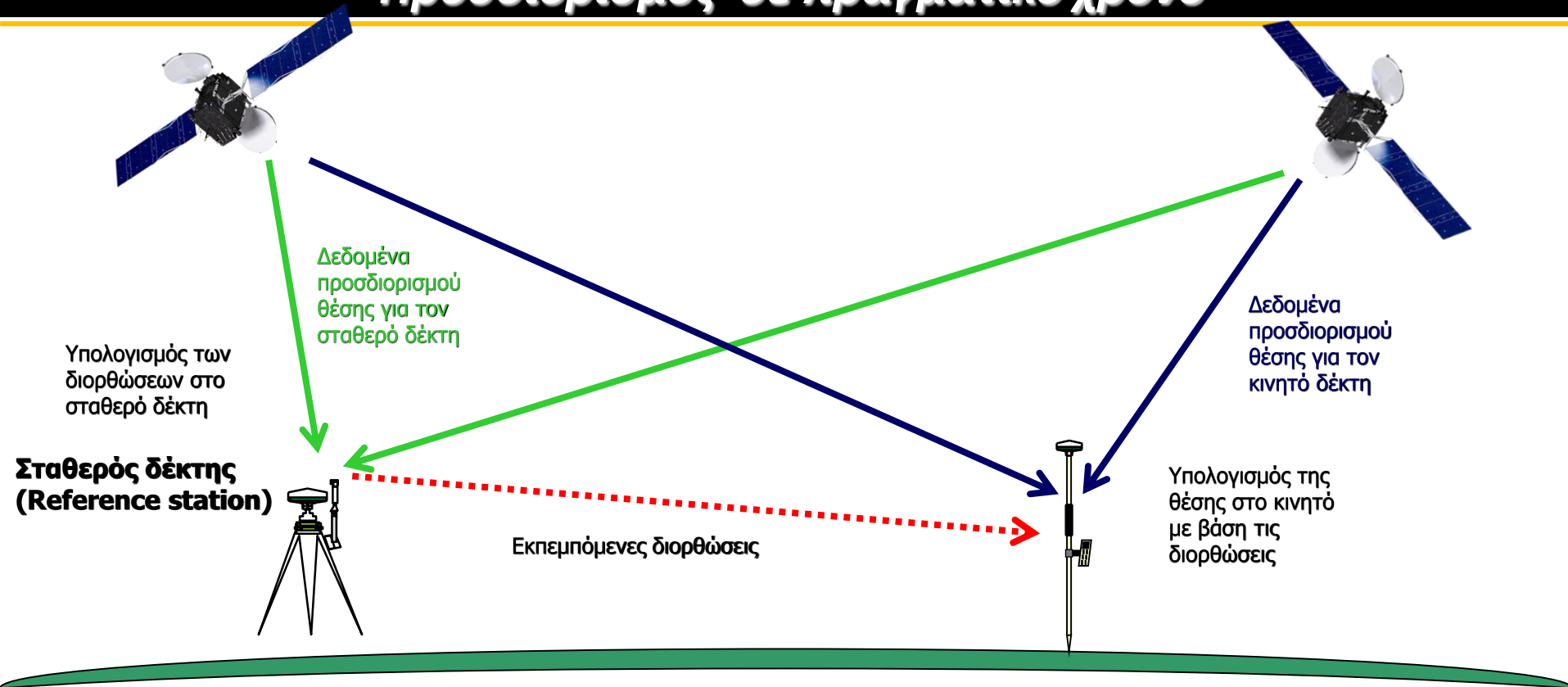
## Ημι-κινηματικός προσδιορισμός

- Ο ημικινηματικός προσδιορισμός θέσης ή STOP & GO είναι ο συνηθέστερος τρόπος αποτύπωσης με GPS.
- Η μεθοδολογία που ακολουθείται είναι αυτή του σχετικού προσδιορισμού θέσης.
- Ο ένας δέκτης τοποθετείται σε γνωστό τριγωνομετρικό σημείο και ο άλλος δέκτης μετακινείται σε διακεκριμένα προς αποτύπωση σημεία.
- Η ακρίβεια του ημικινηματικού προσδιορισμού είναι  $\approx 1 \text{ cm} \pm 5ppm$  (ανάλογα και με τον τύπο του δέκτη)

# Ημι-κινηματικός προσδιορισμός



# Προσδιορισμός σε πραγματικό χρόνο



- Ο σταθερός δέκτης έχει εκ' των προτέρων γνωστές συντεταγμένες.
- Υπολογίζει διορθώσεις οι οποίες εκπέμπονται στο κινητό δέκτη.
- Οι διορθώσεις εκπέμπονται από τον σταθερό δέκτη στον κινητό με ραδιοζεύξη
- Το μήκος της βάσης συνήθως είναι μικρότερο των 30 km
- Ακρίβεια της τάξεως  $\approx 1 \text{ cm} \pm 5 \text{ ppm}$  (ανάλογα και με τον τύπο του δέκτη)

## Προσδιορισμός σε πραγματικό χρόνο

Κατά την μεθοδολογία του κινηματικού ή του ημικινηματικού προσδιορισμού ο κινητός δέκτης αρχικά θα πρέπει να παραμείνει κάποια λεπτά στο πρώτο σημείο αποτύπωσης έτσι ώστε να επιλυθούν οι ασάφειες.

- Η εφαρμογή με GPS που διαθέτουν τεχνολογία RTK ο αρχικός χρόνος παραμονής υπολογίζεται στο πεδίο και συνεπώς γνωρίζουμε πλήρως με τι ακρίβεια αποτυπώνουμε.
- Η εφαρμογή με GPS που δεν διαθέτουν τεχνολογία RTK δεν είναι δυνατό να υπολογιστεί ο αρχικός χρόνος παραμονής στο πρώτο σημείο οπότε τον υποθέτουμε κατά προσέγγιση με βάση τιμή του DOP και το μήκος της βάσης.
- Χωρίς τεχνολογία RTK δεν μπορούμε να γνωρίζουμε αν η βάση μεταξύ σταθερού και κινητού δέκτη επιλύεται και με ποια ακρίβεια.

Συνεπώς >>>>

- **Δέκτης GPS δύο Συχνοτήτων.**
  - Ένας σταθερός δέκτης σε σημείο γνωστών συντεταγμένων.
  - Ένας κατ' ελάχιστο κινητός δέκτης.
- **Σχετικός προσδιορισμός θέσης με λύση απευθείας στο πεδίο, απαραίτητο το Software επίλυσης στον κινητό δέκτη.**
- **Απαραίτητη η επικοινωνία μεταξύ των δεκτών και η μεταφορά δεδομένων :**
  - Με ραδιοζεύξη (radiolink).
  - Μέσω κινητής τηλεφωνίας (GPRS, GSM).



## Εκ' των υστέρων προσδιορισμός.

- Απαιτείται επίλυση στο Γραφείο.
- Δεν μπορούμε να έχουμε άμεση γνώση της κατάστασης στο πεδίο, άρα και του χρόνου παραμονής.
- Δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε χαράξεις, μπορεί όμως να χρησιμοποιηθεί σε αποτυπώσεις.

## Προσδιορισμός σε πραγματικό Χρόνο.

- Η επίλυση γίνεται στο Πεδίο.
- Έχουμε άμεση γνώση της κατάστασης στο Πεδίο.
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε χαράξεις και αποτυπώσεις με μεγάλη ακρίβεια.