

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ**

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

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

Δορυφορική Γεωδαισία (GPS)

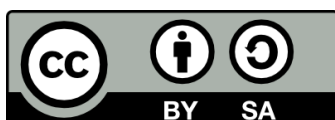
**Δρ. Κατσουγιαννόπουλος
Καθηγητής**

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

4^ο, 5^ο, 6^ο, 7^ο & 8^ο Μάθημα Θεωρίας (501Θ)

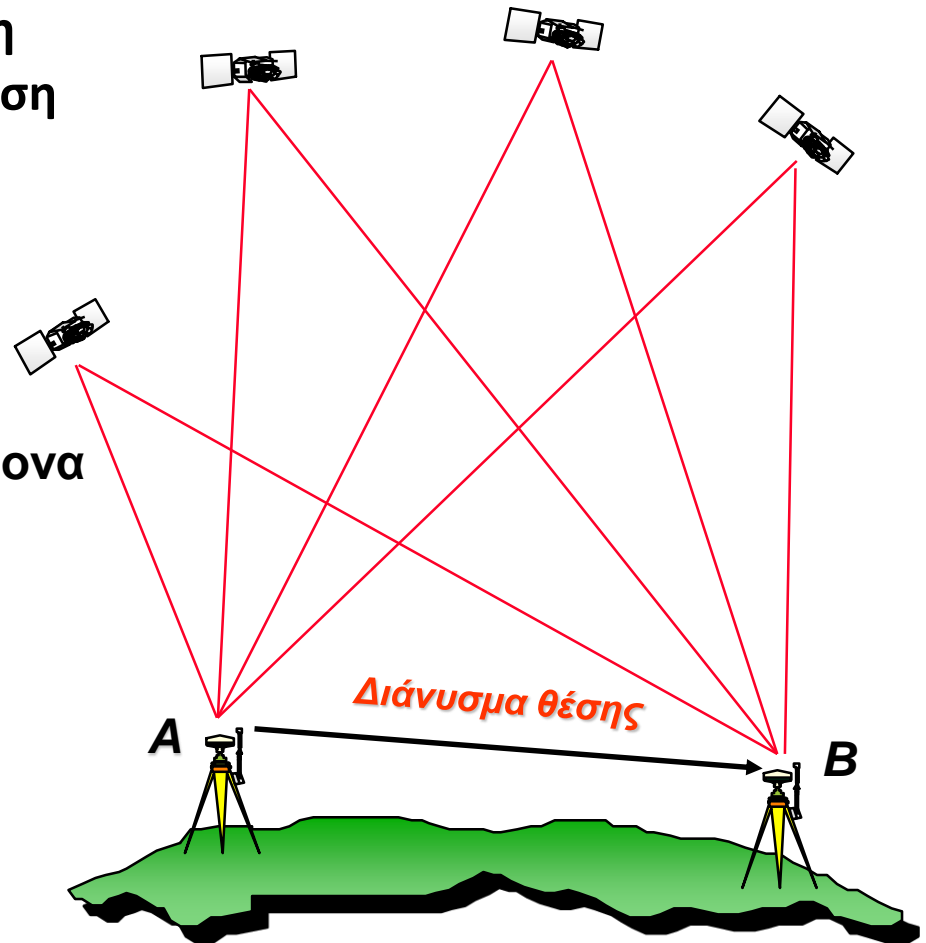
**Απλές, Διπλές και Τριπλές διαφορές
Γραμμικοί συνδυασμοί φορέων
Γεωμετρικά μέτρα ακρίβειας DOP
Βασική Γεωδαισία, συστήματα και πλαίσια
αναφοράς, μετασχηματισμοί συντεταγμένων**

**Πώς μπορώ
να βελτιώσω την ακρίβεια ?**

**Χρειάζομαι διαφορικό GPS δηλ.
DGPS**

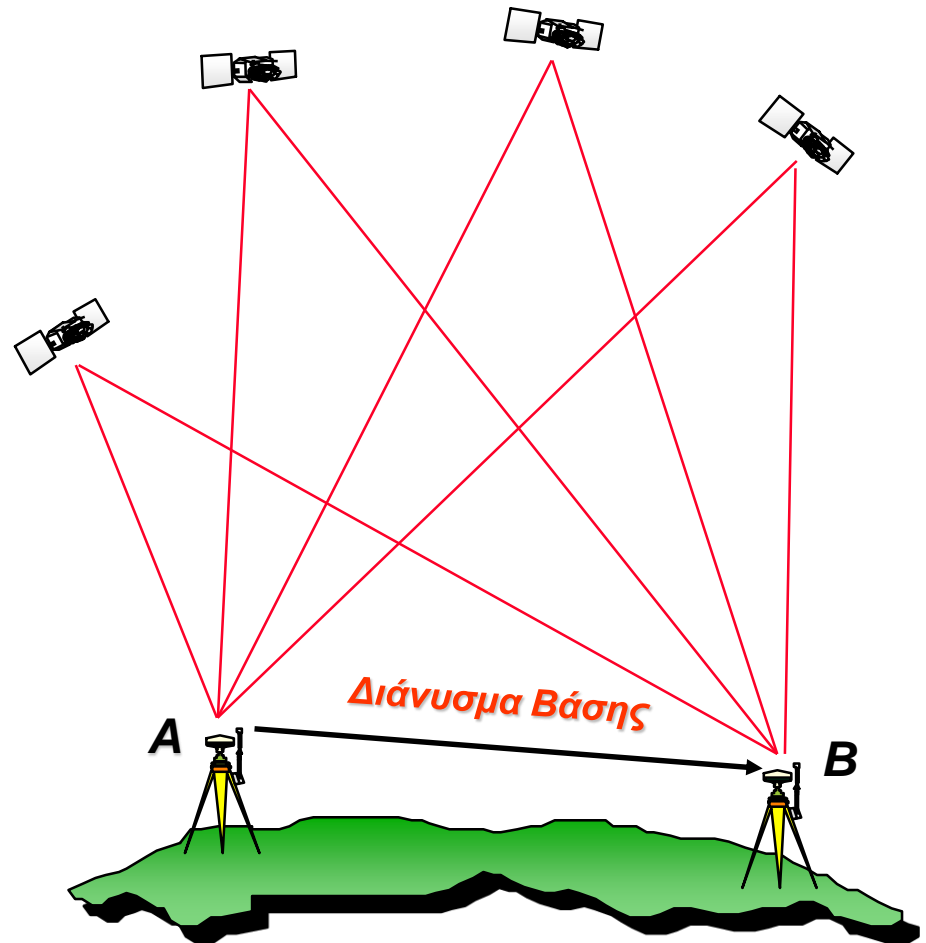
Διαφορικός προσδιορισμός θέσης με GPS

- 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



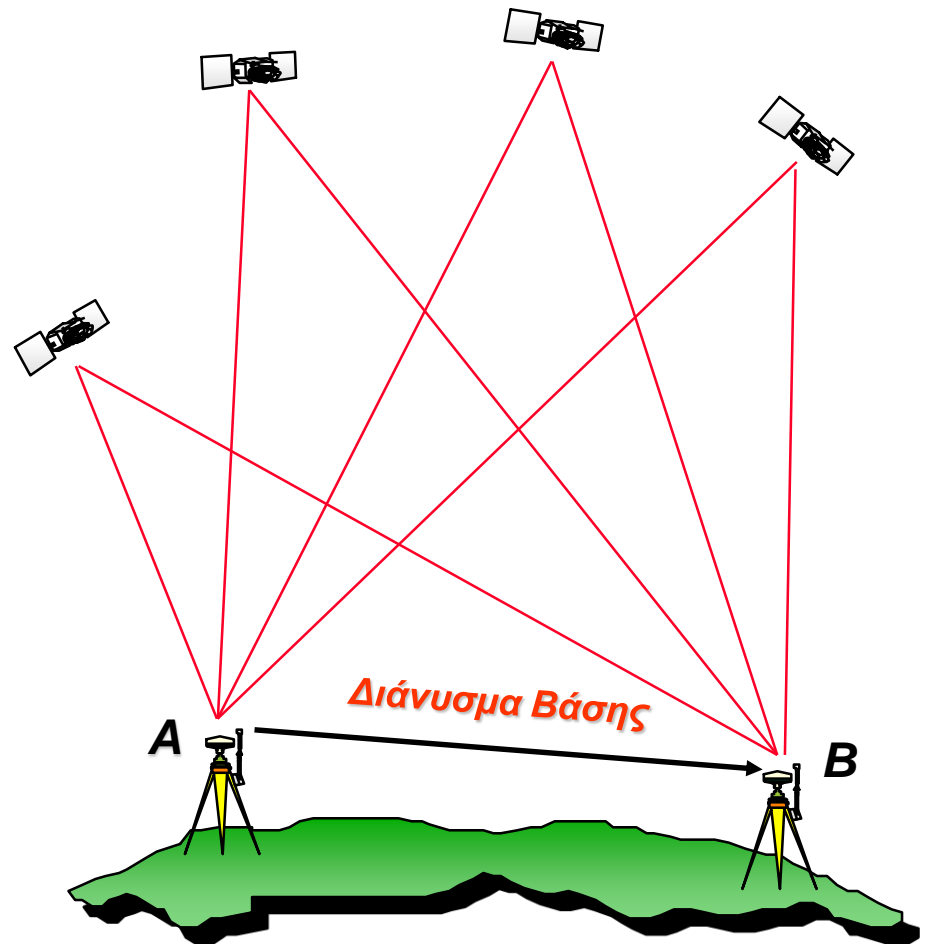
Διαφορικός προσδιορισμός θέσης με GPS

- 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

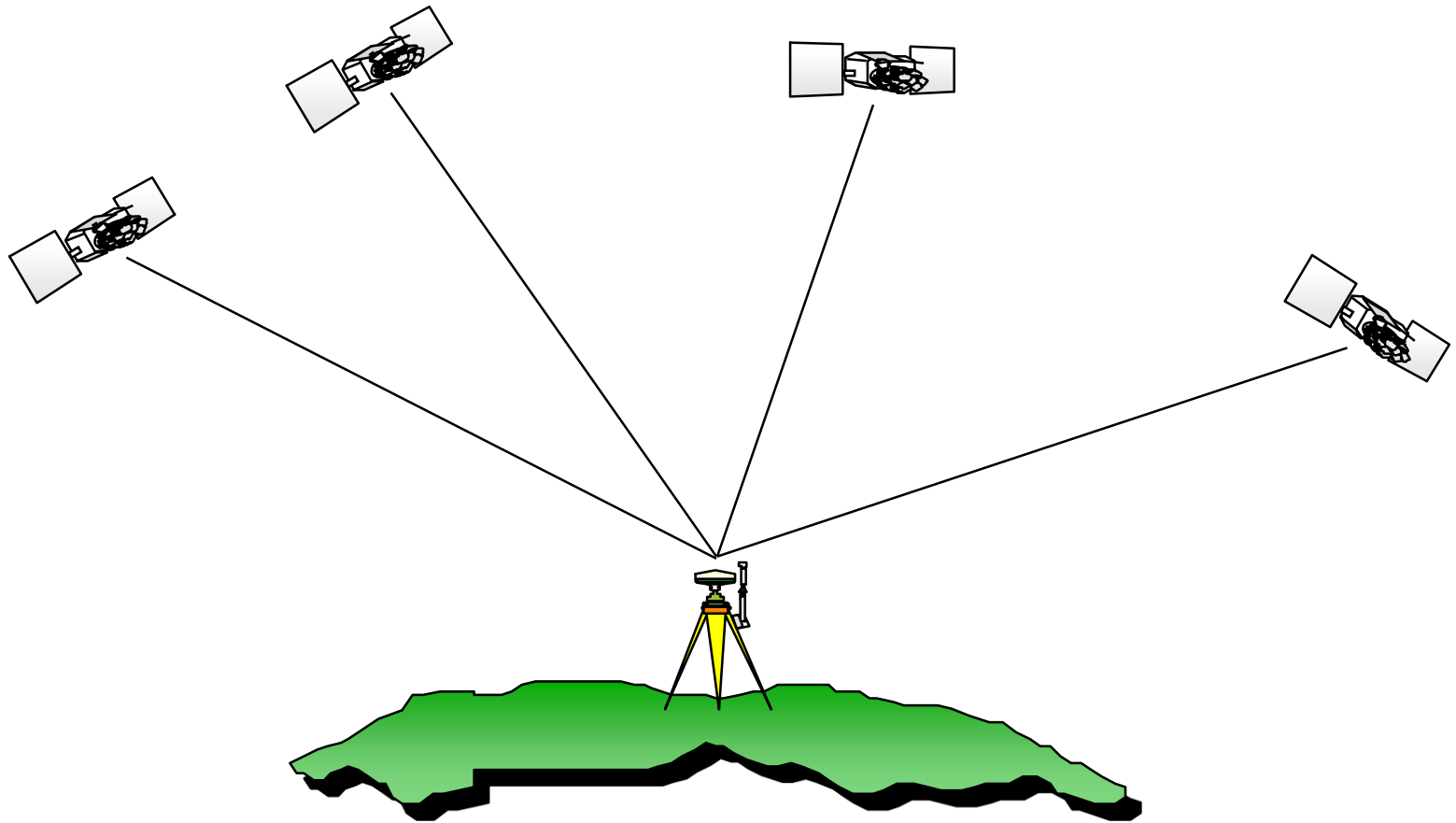
$$\rho = p + dp + c(dt - dT) + d_{ion} + d_{trop} + \epsilon_p$$
 Σφάλμα χρονομέτρου δορυφόρου
 Αληθής απόσταση μεταξύ δορυφόρου και δέκτη
 Σφάλμα χρονομέτρου δέκτη
 Θόρυβος παρατήρησης
 Επίδραση της τροπόσφαιρας
 Διαφορετικό πρόσημο!!!!

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

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

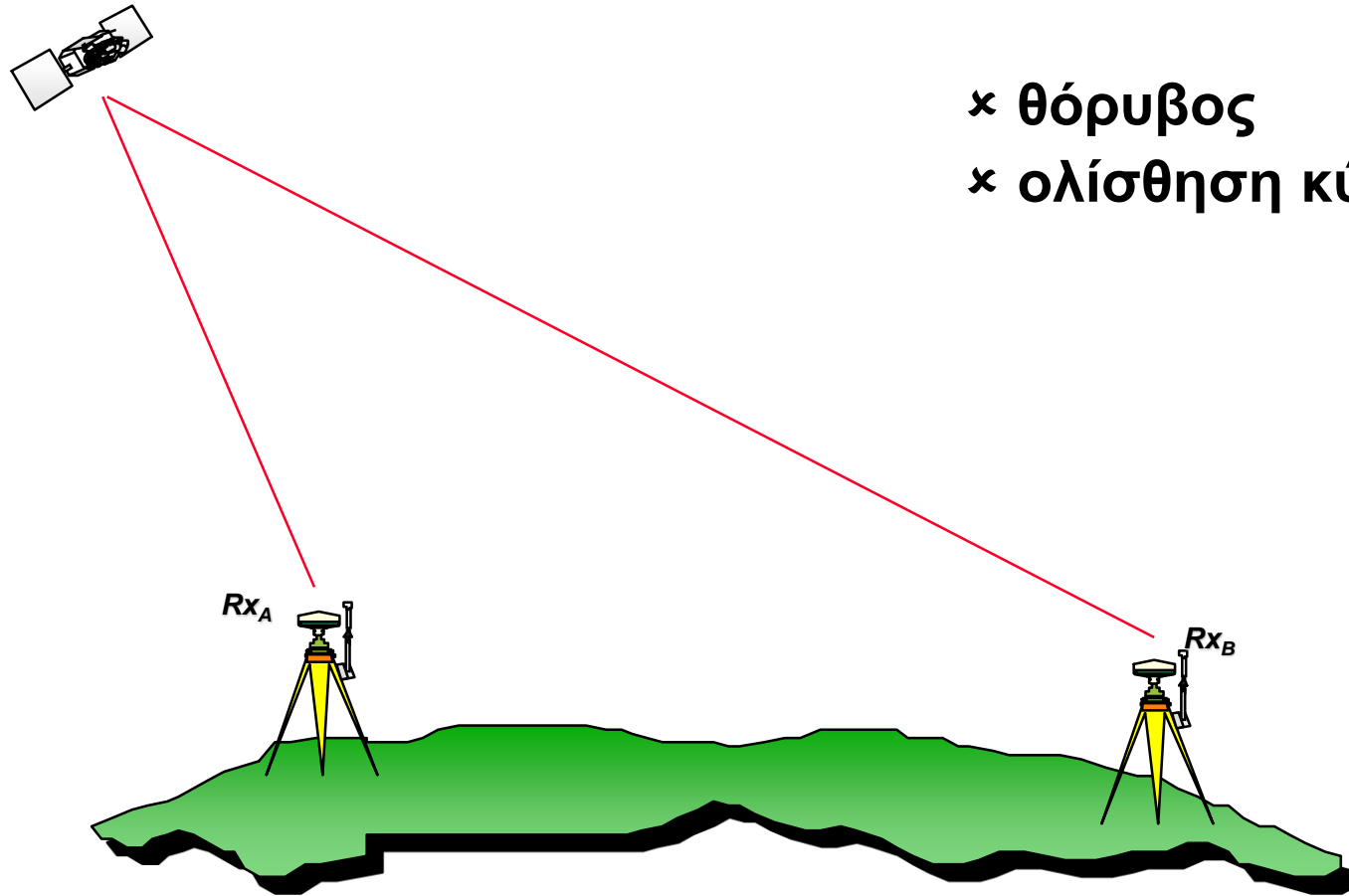
$$\Phi(\text{μονάδες μήκους}) = \lambda\phi(\text{κύκλοι})$$

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 (Δ)



- × θόρυβος
- × ολίσθηση κύκλων

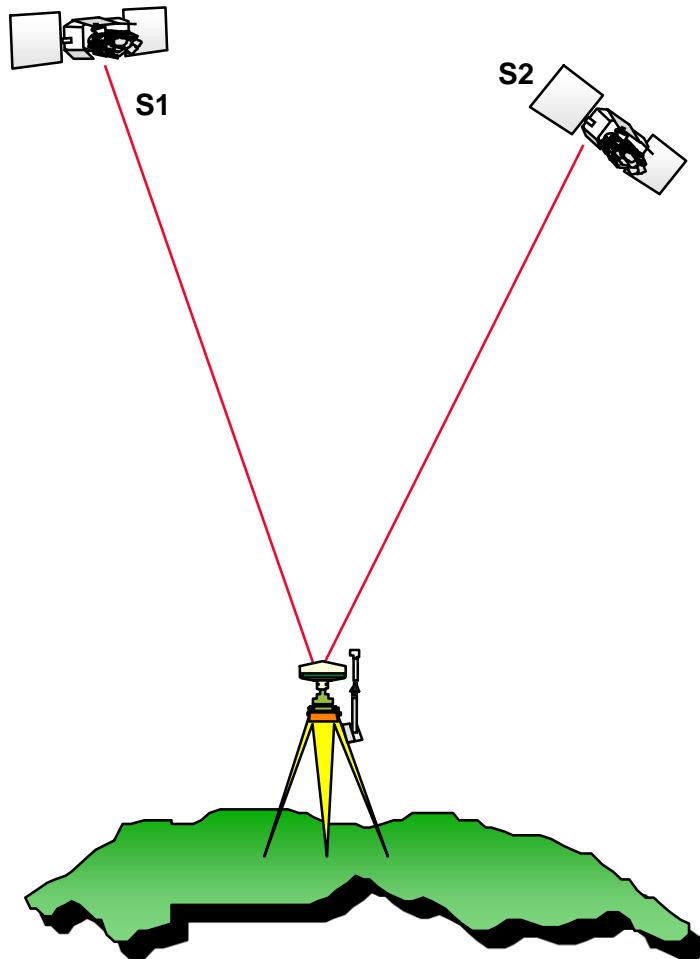
- ✓ εξαλείφουν το σφάλμα του χρονομέτρου του δορυφόρου
- ✓ για μικρές βάσεις (<1000 km) μειώνουν τα ατμοσφαιρικά και τροχιακά σφάλματα

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

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

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

Απλές διαφορές ανάμεσα σε δύο δορυφόρους (∇)



- × θόρυβος
- × ολίσθηση κύκλων
- × σφάλματα χρονομέτρων δορυφόρων

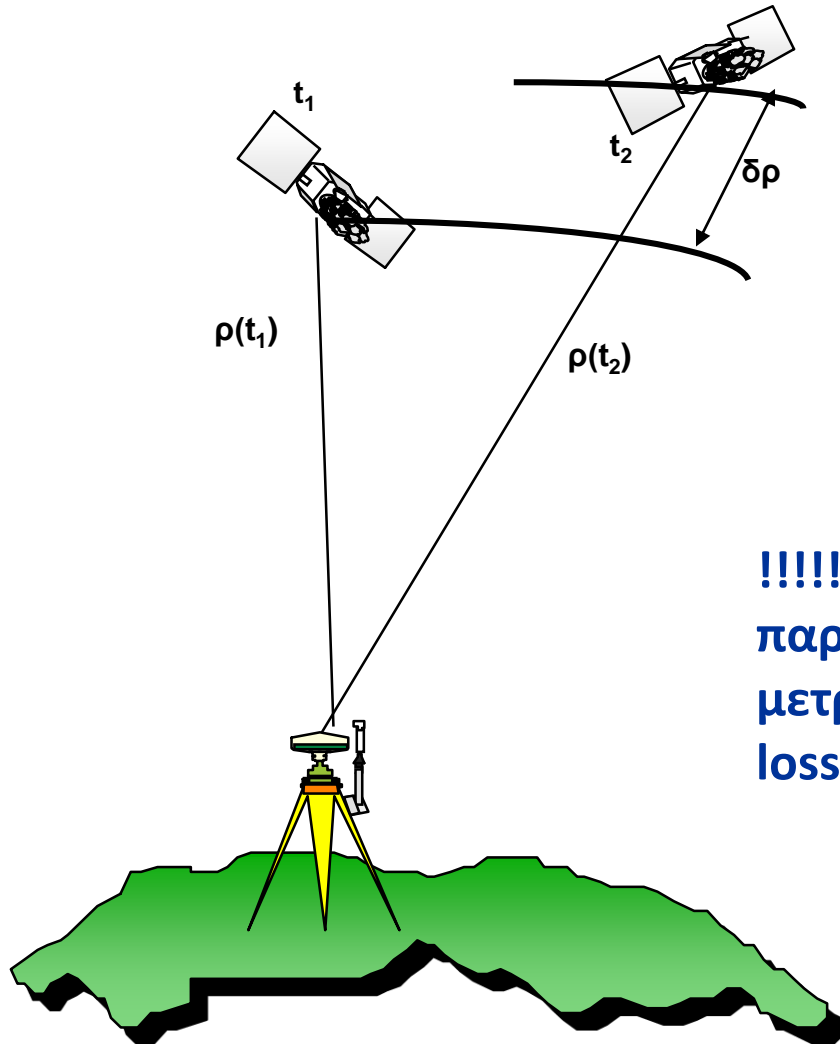
- ✓ εξαλείφουν το σφάλμα του χρονομέτρου του δέκτη
- ✓ χρησιμοποιούνται για το σχηματισμό διπλών διαφορών

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

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

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

Απλές διαφορές μεταξύ εποχών (δ)



× 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

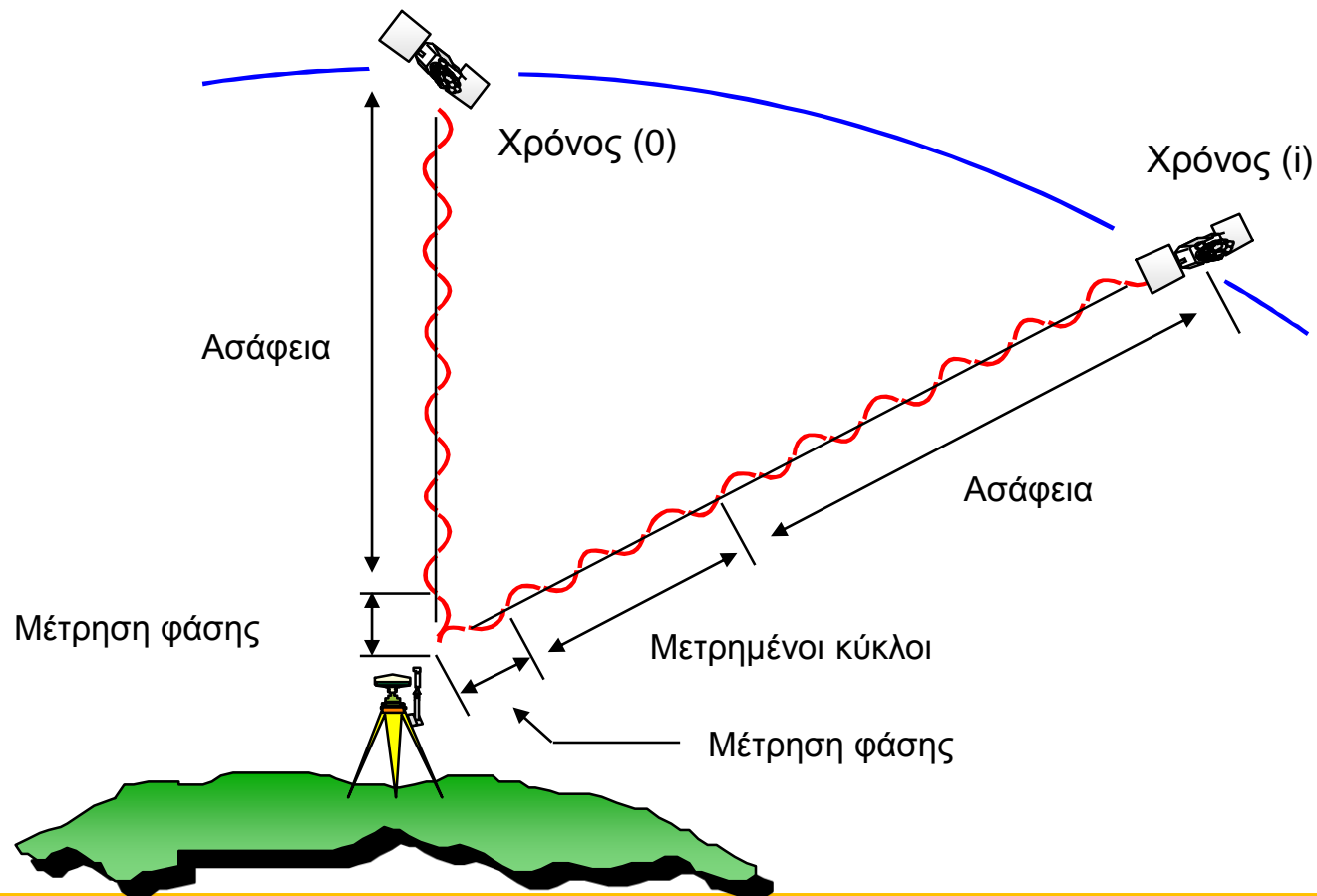
$$\delta = (\bullet)_{t2} - (\bullet)_{t1}$$

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

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

Αρχική ασάφεια φάσης

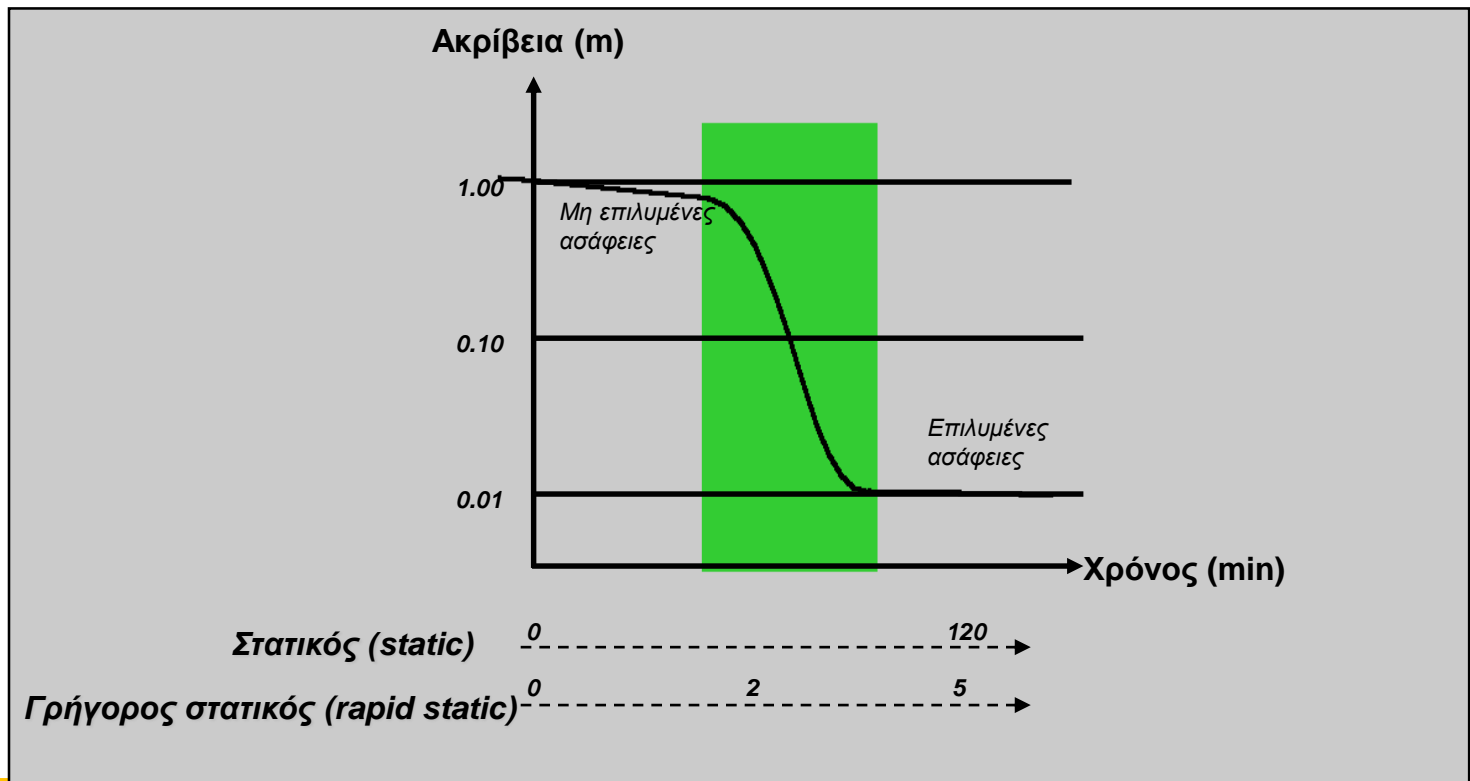
- Η αρχική ασάφεια φάσης πρέπει να προσδιοριστεί για να χρησιμοποιηθούν τα δεδομένα φάσης ως μετρήσεις αποστάσεων



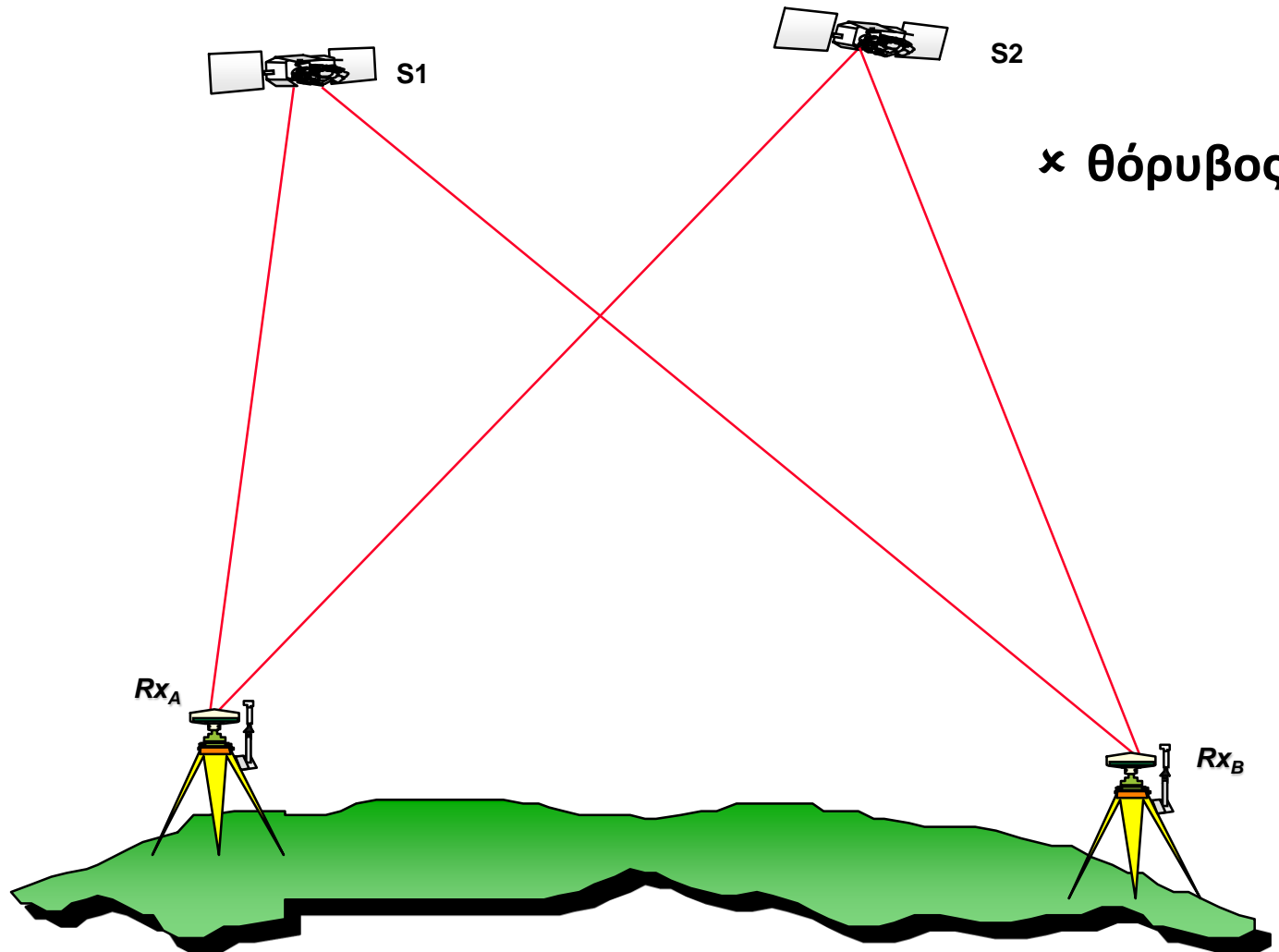
Απλές διαφορές μεταξύ εποχών (δ)

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 ($\Delta \nabla$)



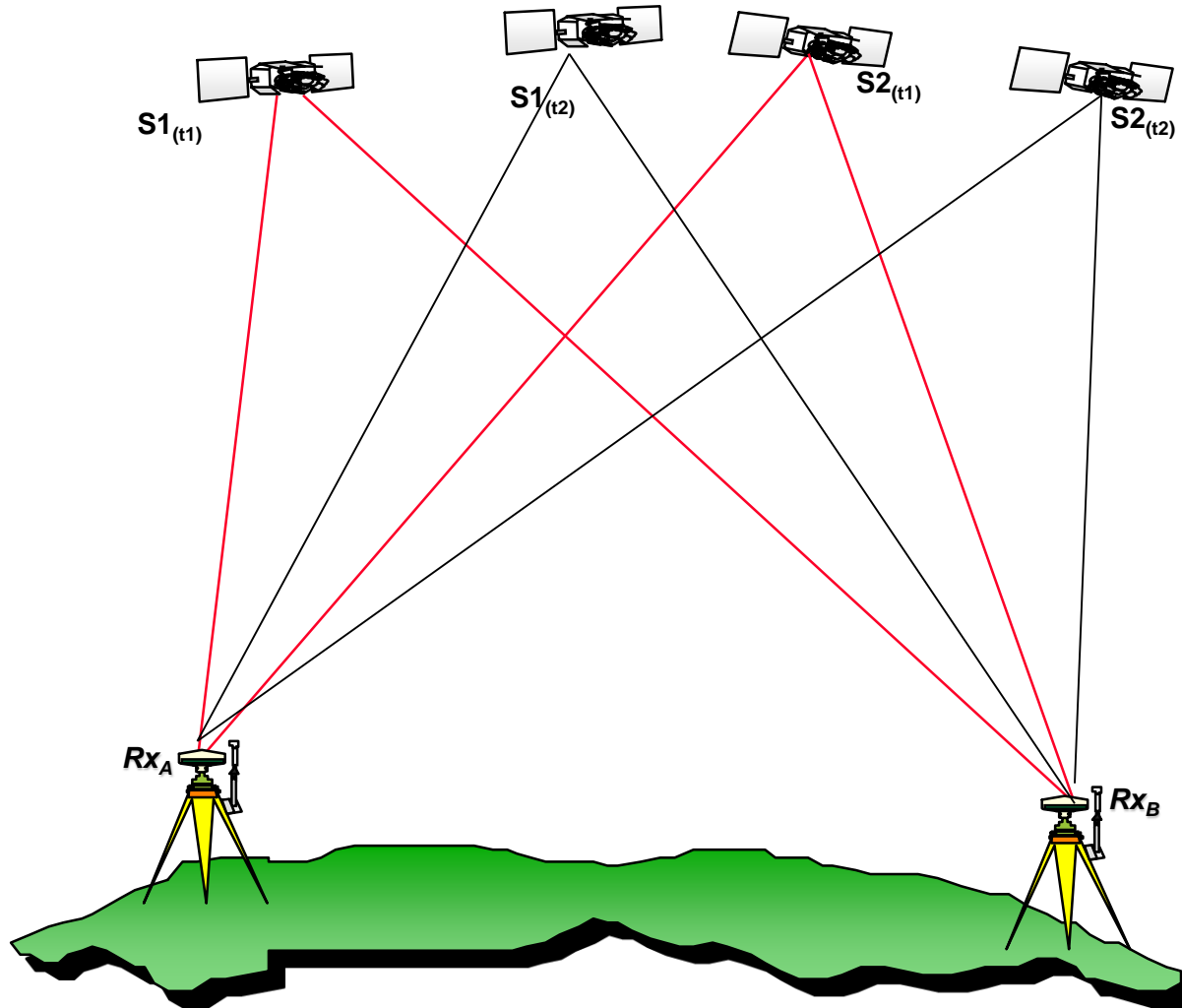
- ✓ εξαλείφουν τα σφάλματα χρονομέτρων δορυφόρων και δεκτών
- ✓ μειώνουν τα τροχιακά και ατμοσφαιρικά σφάλματα

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

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

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

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

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

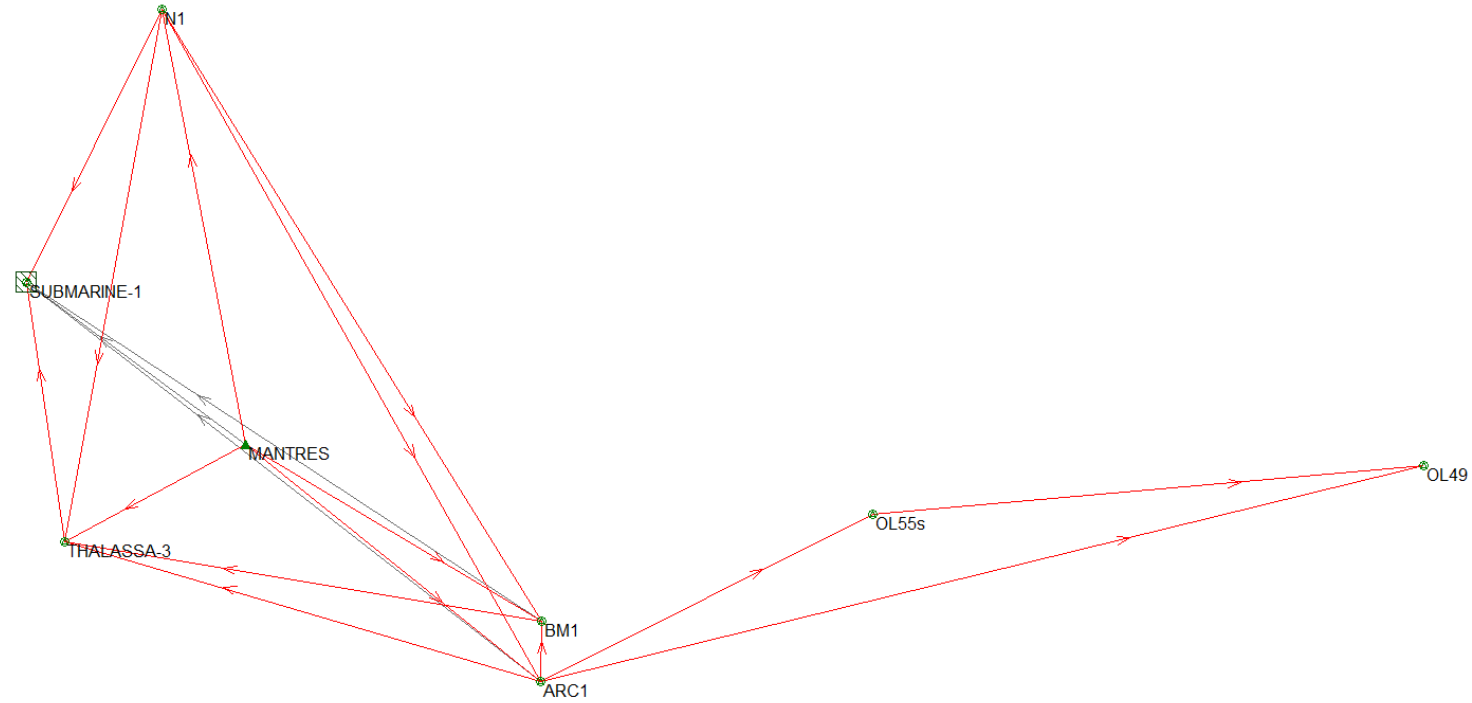
$$\delta\Delta\nabla\rho = \delta\Delta\nabla\rho + \delta\Delta\nabla d\rho + \delta\Delta\nabla dion + \delta\Delta\nabla dtrop + \varepsilon\delta\Delta\nabla\rho$$

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

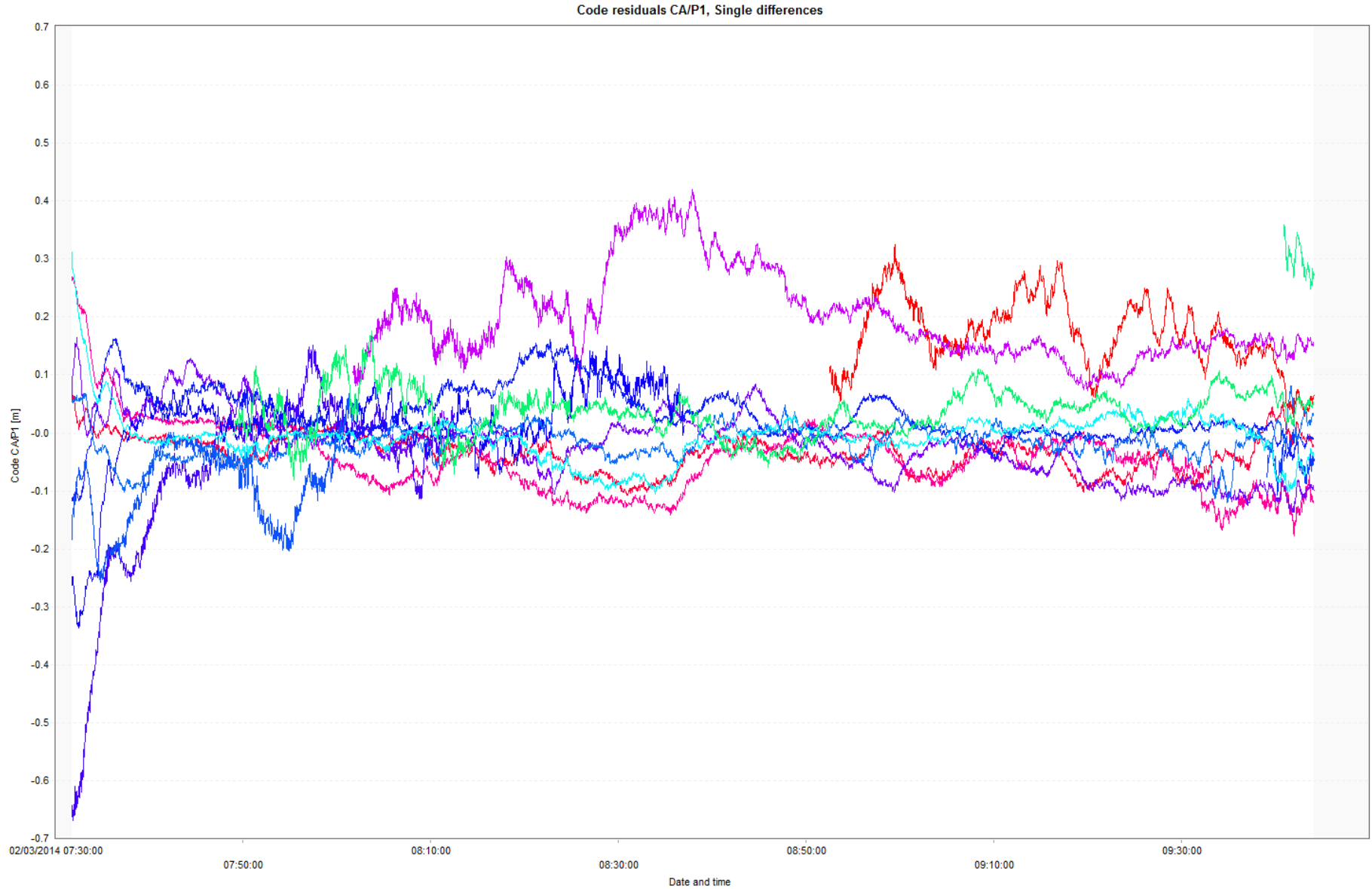
Παρατήρηση 1: Στην περίπτωση των ψευδοαποστάσεων δεν υπάρχει κάποιο πλεονέκτημα με τη χρήση τριπλών διαφορών έναντι των διπλών. Στις μετρήσεις φάσεως όμως απαλείφεται ο όρος της ολίσθησης

Παρατήρηση 2: Σε όλες τις περιπτώσεις, όταν σχηματίζουμε τριπλές διαφορές μειώνουμε τις παρατηρήσεις οπότε και ο πίνακας σχεδιασμού των κανονικών εξισώσεων A θα έχει λιγότερα στοιχεία. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα να γίνεται γρηγορότερα η συνόρθωση των παρατηρήσεων (λύση)

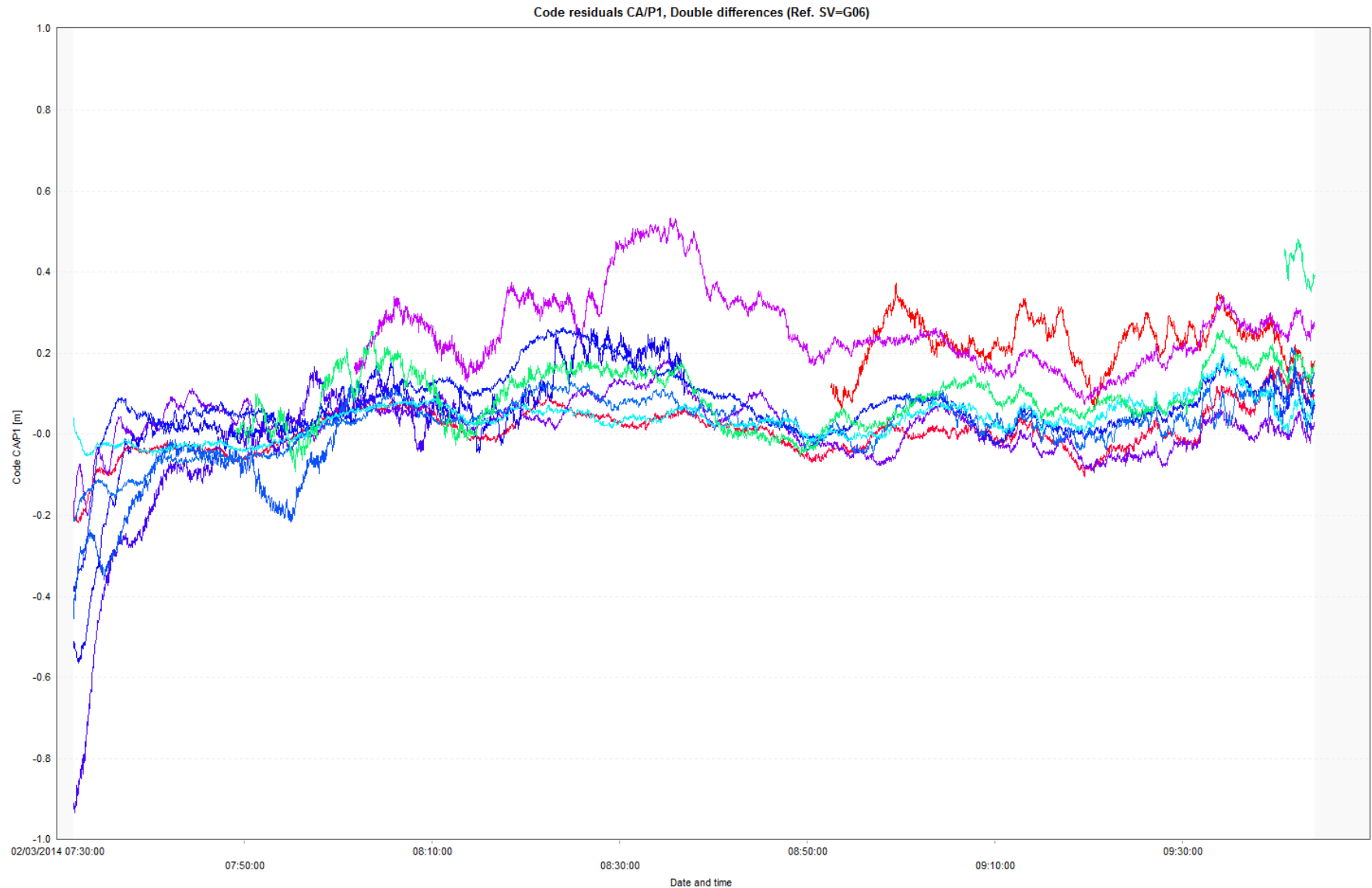
Παράδειγμα βάσεων GPS & απλών, διπλών τριπλών διαφορών



Παράδειγμα βάσεων GPS & απλών, διπλών τριπλών διαφορών

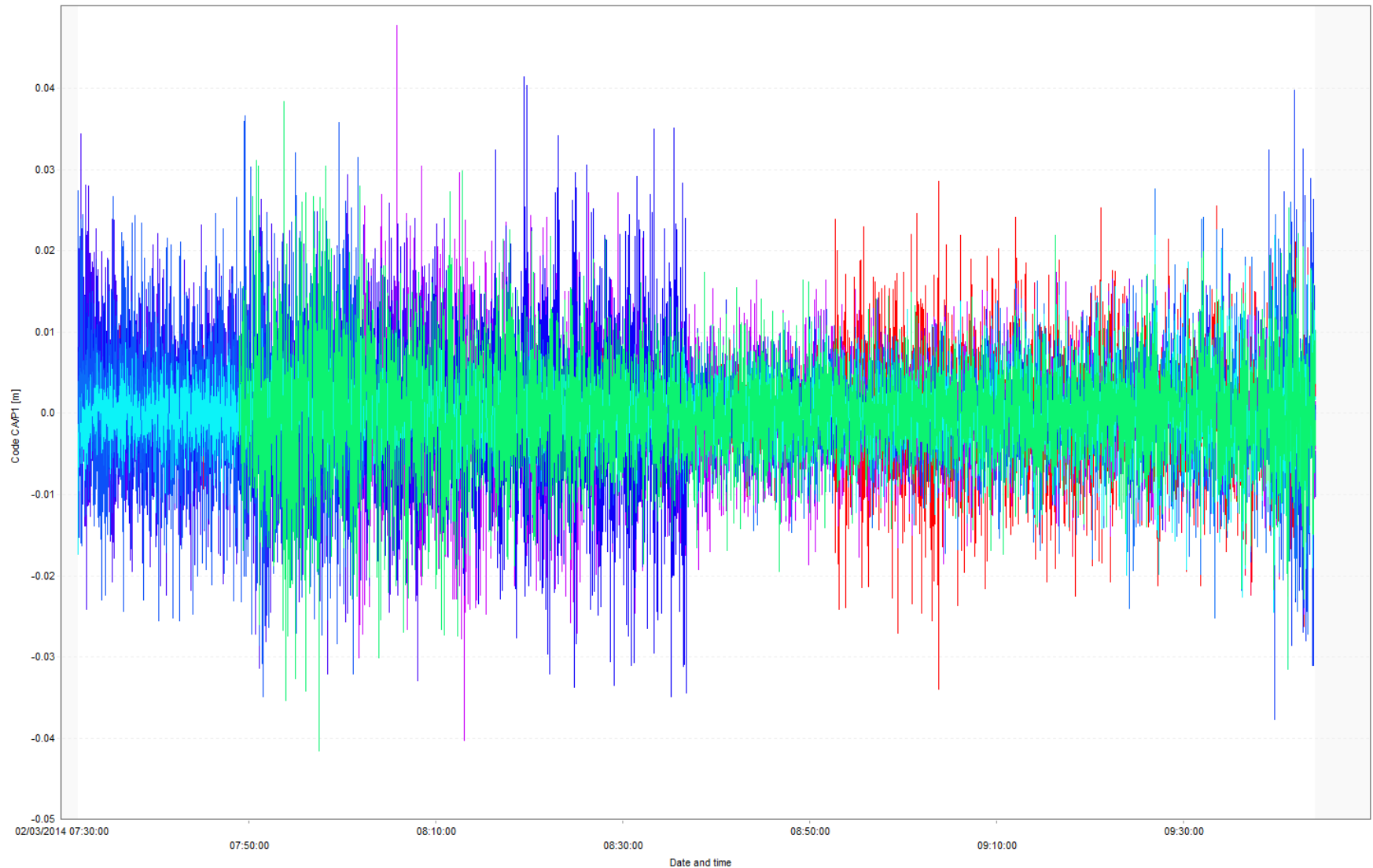


Παράδειγμα βάσεων GPS & απλών, διπλών τριπλών διαφορών

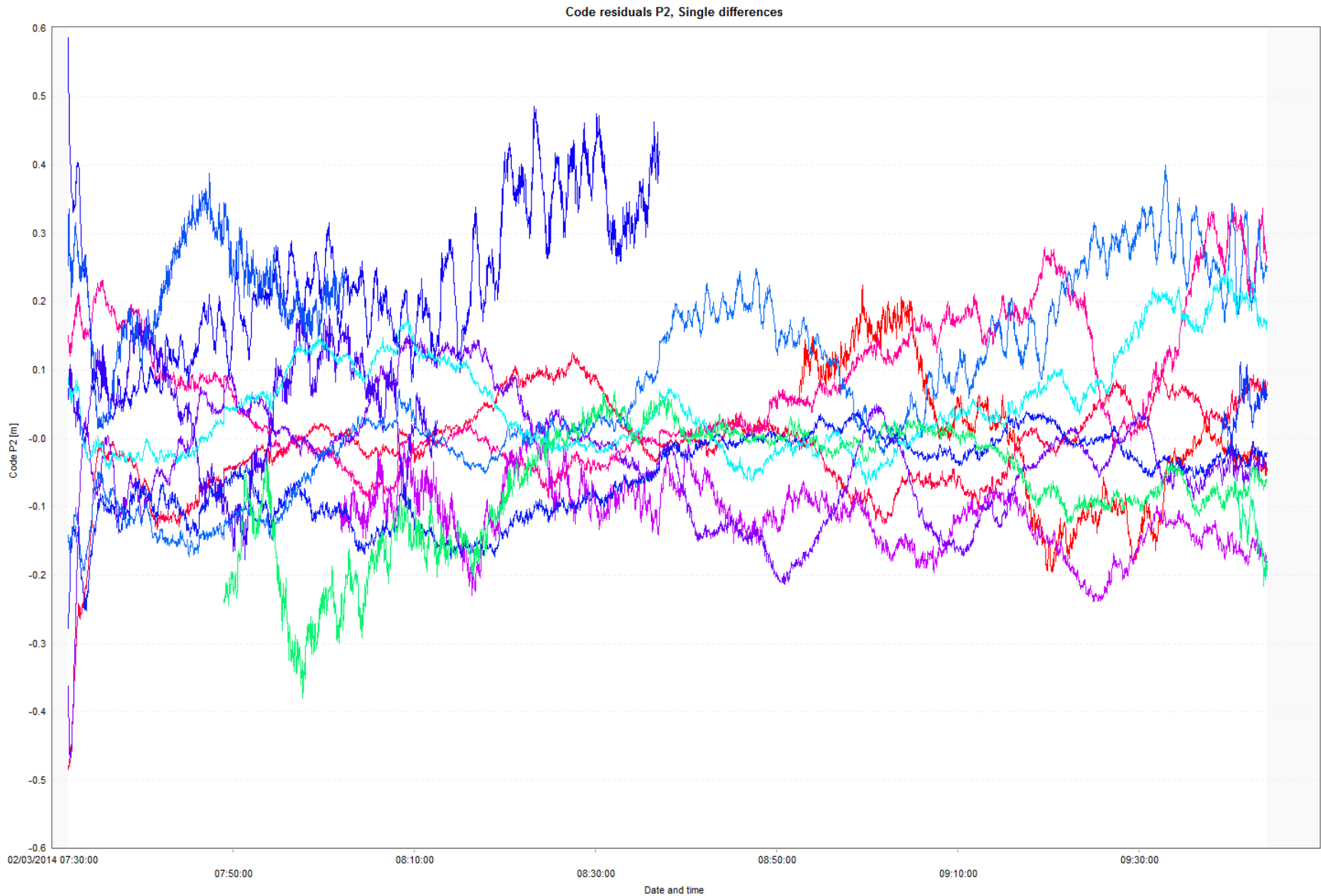


Παράδειγμα βάσεων GPS & απλών, διπλών τριπλών διαφορών

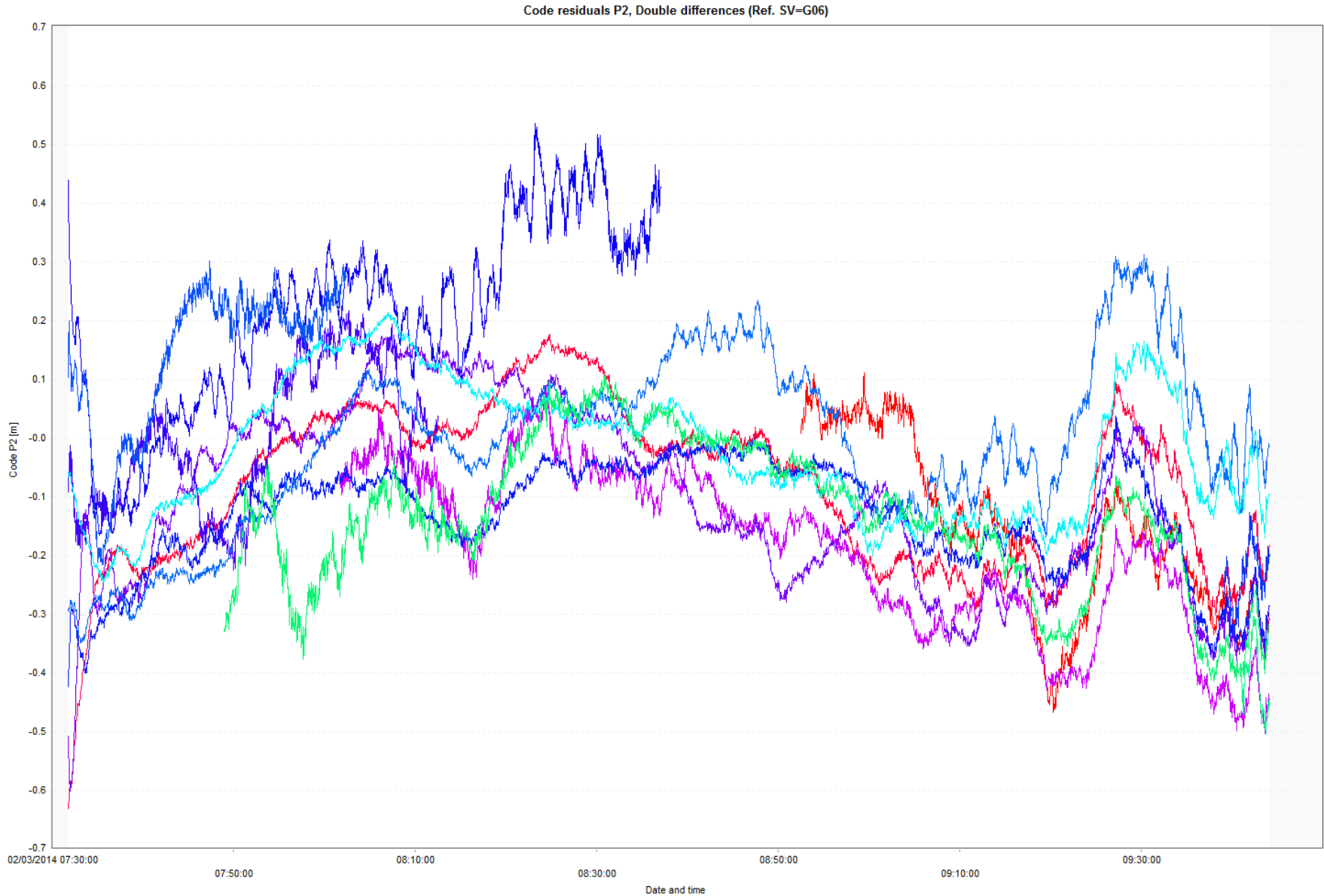
Code residuals CA/P1, Triple differences (Ref. SV=G06)



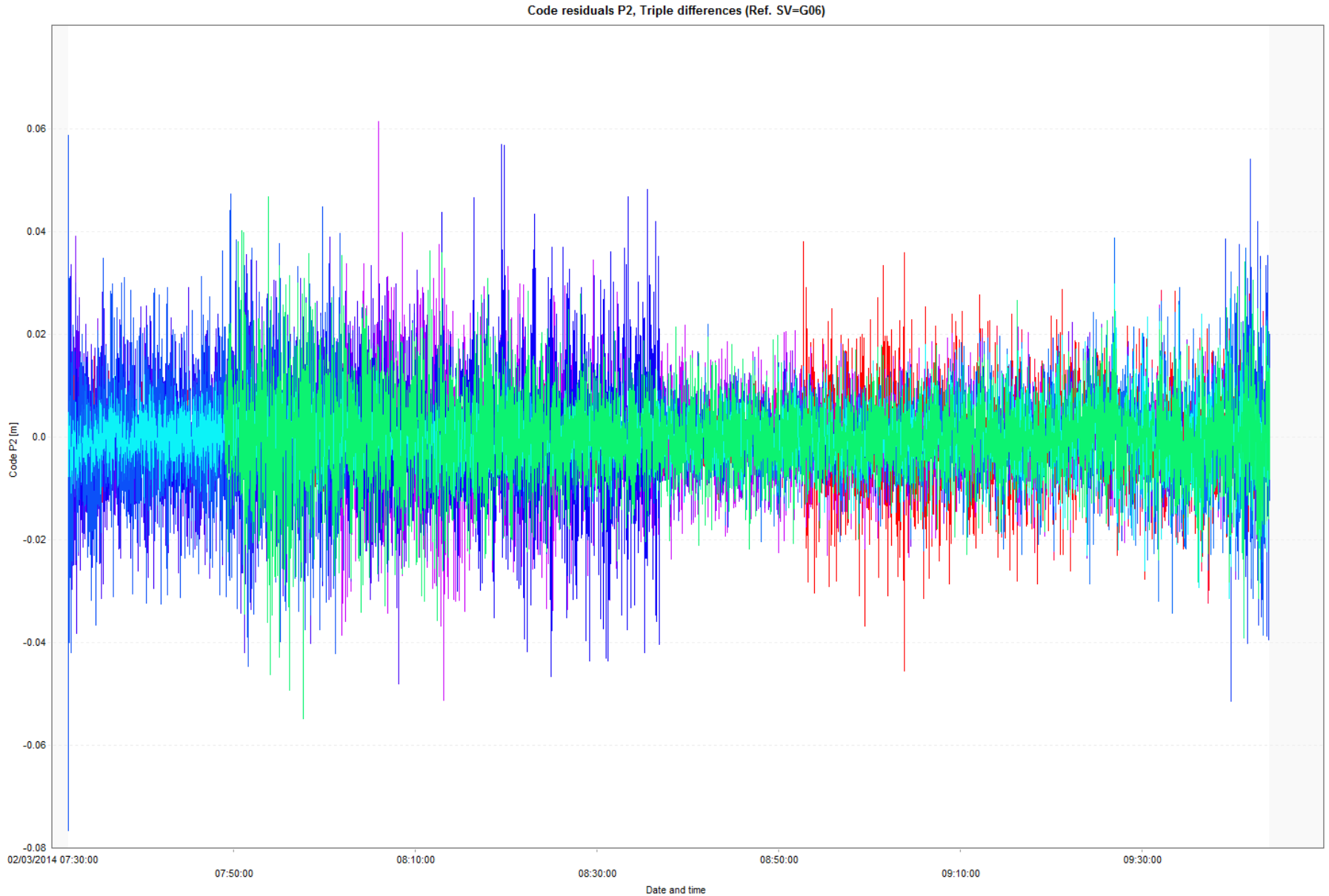
Παράδειγμα βάσεων GPS & απλών, διπλών τριπλών διαφορών



Παράδειγμα βάσεων GPS & απλών, διπλών τριπλών διαφορών



Παράδειγμα βάσεων GPS & απλών, διπλών τριπλών διαφορών



- Αφορούν συνδυασμούς φάσεων και παρατηρήσεις ίδιου τύπου αλλά διαφορετικών φορέων (L1 & L2):
 - Συνδυασμός ευρείας οδού (L_{WL})
 - Συνδυασμός στενής οδού (L_{NL})
 - Συνδυασμός ανεξάρτητος της ιονόσφαιρας ($L_3 - \text{iono free}$)
 - Συνδυασμός ανεξάρτητος της γεωμετρίας (LC & $L_4 - \text{geometry free}$)
 - Συνδυασμός L_5
 - Συνδυασμός L_6 (Melbourne-Wuebbena)

- Αφορούν συνδυασμούς φάσεων και παρατηρήσεις ίδιου τύπου αλλά διαφορετικών φορέων (L1 & L2):
 - Συνδυασμός ευρείας οδού (L_{WL})
 - Συνδυασμός στενής οδού (L_{NL})
 - Συνδυασμός ανεξάρτητος της ιονόσφαιρας ($L_3 - \text{iono free}$)
 - Συνδυασμός ανεξάρτητος της γεωμετρίας (LC & $L_4 - \text{geometry free}$)
 - Συνδυασμός L_5
 - Συνδυασμός L_6 (Melbourne-Wuebbena)

- Χρήσιμοι στην προεπεξεργασία των παρατηρήσεων, την απομάκρυνση του σφάλματος της ιονόσφαιρας, την επίλυση των ασαφειών φάσης

- Αφορούν συνδυασμούς φάσεων και παρατηρήσεις ίδιου τύπου αλλά διαφορετικών φορέων (L1 & L2):

$$LC_a^1[m] = a\Phi_{a,1}^1 + \beta\Phi_{a,2}^1$$

$$LC_a^1[cyrc] = i\varphi_{a,1}^1 + j\varphi_{a,2}^1$$

- Αφορούν συνδυασμούς φάσεων και παρατηρήσεις ίδιου τύπου αλλά διαφορετικών φορέων (L1 & L2):

$$f_{LC} = \frac{d\phi}{dt} = i \frac{d\phi_1}{dt} + j \frac{d\phi_2}{dt} = if_1 + jf_2$$

$$\lambda_{LC} = \frac{c}{f_{LC}} = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{i\lambda_2 + j\lambda_1}$$

$$\sigma_{\varphi_{\alpha,\beta}} = \sqrt{(\alpha^2 + \beta^2)} \times \sigma_{\varphi}$$

$$i = \frac{\alpha\lambda_1}{\lambda_{LC}}$$

$$j = \frac{\beta\lambda_2}{\lambda_{LC}}$$

$$\frac{\alpha\lambda_1}{\lambda_{LC}} N_1 + \frac{\beta\lambda_2}{\lambda_{LC}} N_2 = N_{LC}$$

- Αφορούν συνδυασμούς φάσεων και παρατηρήσεις ίδιου τύπου αλλά διαφορετικών φορέων (L1 & L2):

L	α	β	i	j	$\lambda_{LC}[\text{cm}]$	$\sigma_{LC}[\text{m}]$
L_{WL}	4.53	-3.53	1	-1	86.19	5.76
L_{NL}	0.56	0.44	1	1	10.70	0.71
L_{IF}	2.545	-1.545	77	-60	0.6	2.97
L_{GF}	1	-1	60	-77	∞	1.41

- Ενισχύει την επίλυση των ασαφειών φάσης ($N_5=N_1-N_2$) και ειδικά στην περίπτωση των διπλών διαφορών
- Μετά την επίλυση των ασαφειών είναι καλύτερη από τις απλές L1 & L2 σε float solution (εκτίμηση σαν πραγματικοί αριθμοί)
- Μετά την επίλυση σε L1 & L2 (fixed solution) υστερεί
- ~6 φορές μεγαλύτερος θόρυβος

$$L_{WL} = \frac{1}{f_1 - f_2} (f_1 L_1 - f_2 L_2)$$

- Μήκος κύματος πολύ μικρό ~ 10 cm.
- Οι ασάφειες φάσης είναι ακέραιες ($N_6 = N_1 + N_2$)
- Μετά την επίλυση των ασαφειών δίνει πολύ μεγάλη ακρίβεια στη θέση
- Λόγω του μικρού μήκους κύματος έχει μεγάλο SNR
- Οι ασάφειες επιλύονται δύσκολα

$$L_{NL} = \frac{1}{f_1 + f_2} (f_1 L_1 + f_2 L_2)$$

- Δεν υπάρχει η επίδραση της ιονόσφαιρας
- Περίπου τριπλάσιος θόρυβος
- Η ασάφεια φάσης δεν είναι ακέραια
- Πάρα πολύ χρήσιμος για την επίλυση των ασαφειών
- Η διαφορά $L_3 - P_3$ περιέχει μόνο το σφάλμα της πολυανάκλασης. Πολύ χρήσιμη για τον εντοπισμό του

$$L_{IF} = L_3 = \frac{1}{f_1^2 - f_2^2} (f_1^2 L_1 - f_2^2 L_2)$$

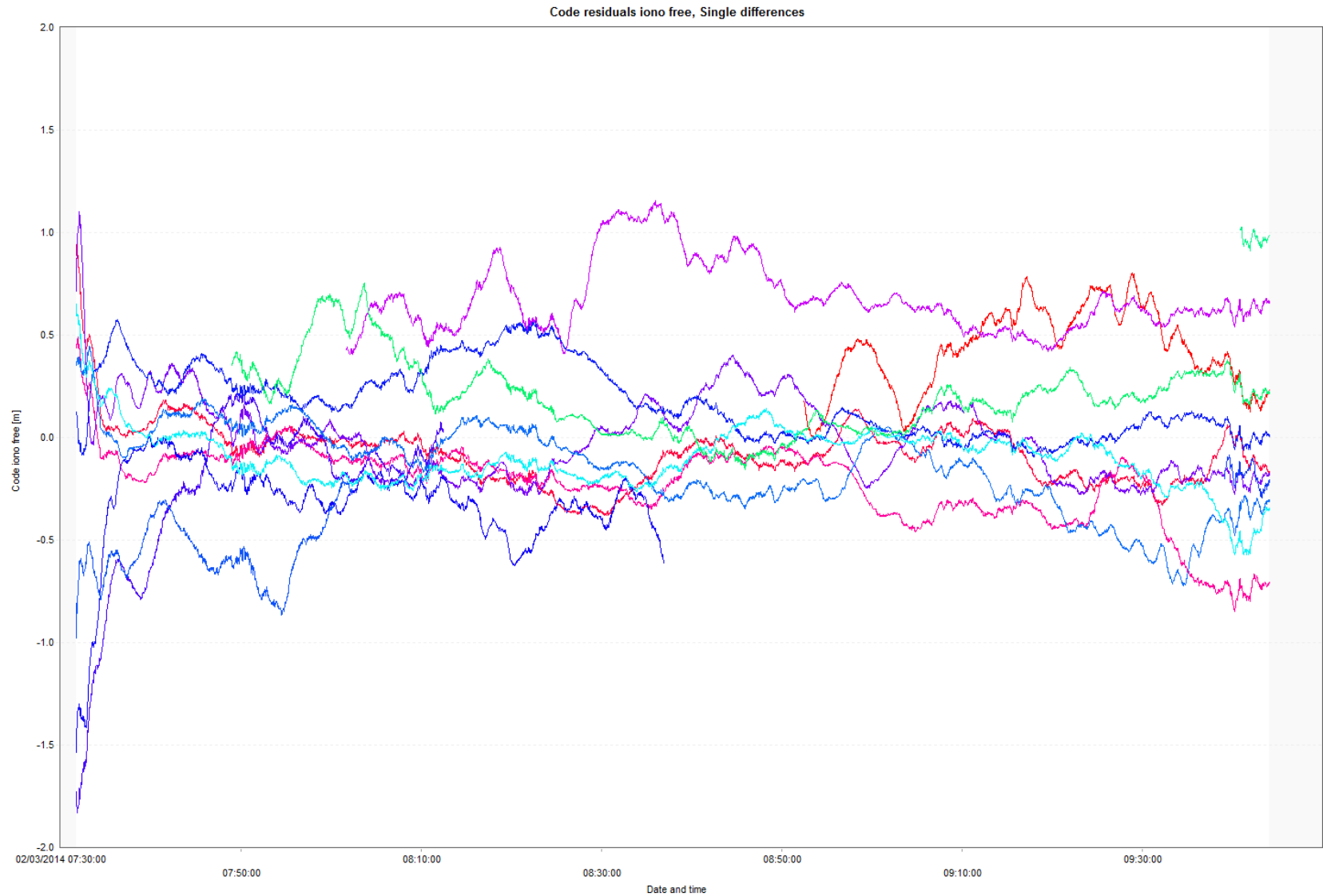
- Θεωρητικά άπειρο μήκος κύματος
- Είναι ανεξάρτητος των σφαλμάτων ρολογιών των δεκτών και της γεωμετρίας (τροχιές και θέση σημείων)
- Εξαρτάται μόνο από τις αρχικές ασάφειες και τις ιονοσφαιρικές υστερήσεις
- Χρησιμοποιείται σε μοντέλα ιονόσφαιρας και παρατηρήσεις ψευδοαποστάσεων

$$L_{GF} = L_4 = (L_1 - L_2)$$

- Συνδυασμός κώδικα και φάσεων
- Ισούται με τον συνδυασμό των WL & NL
- Απαλείφονται οι επιδράσεις των ρολογιών, της ιονόσφαιρας, της γεωμετρίας και της τροπόσφαιρας
- Ανεξάρτητος του μήκους των βάσεων
- Χρησιμοποιείται για επίλυση ασαφειών και έλεγχο ολίσθησης

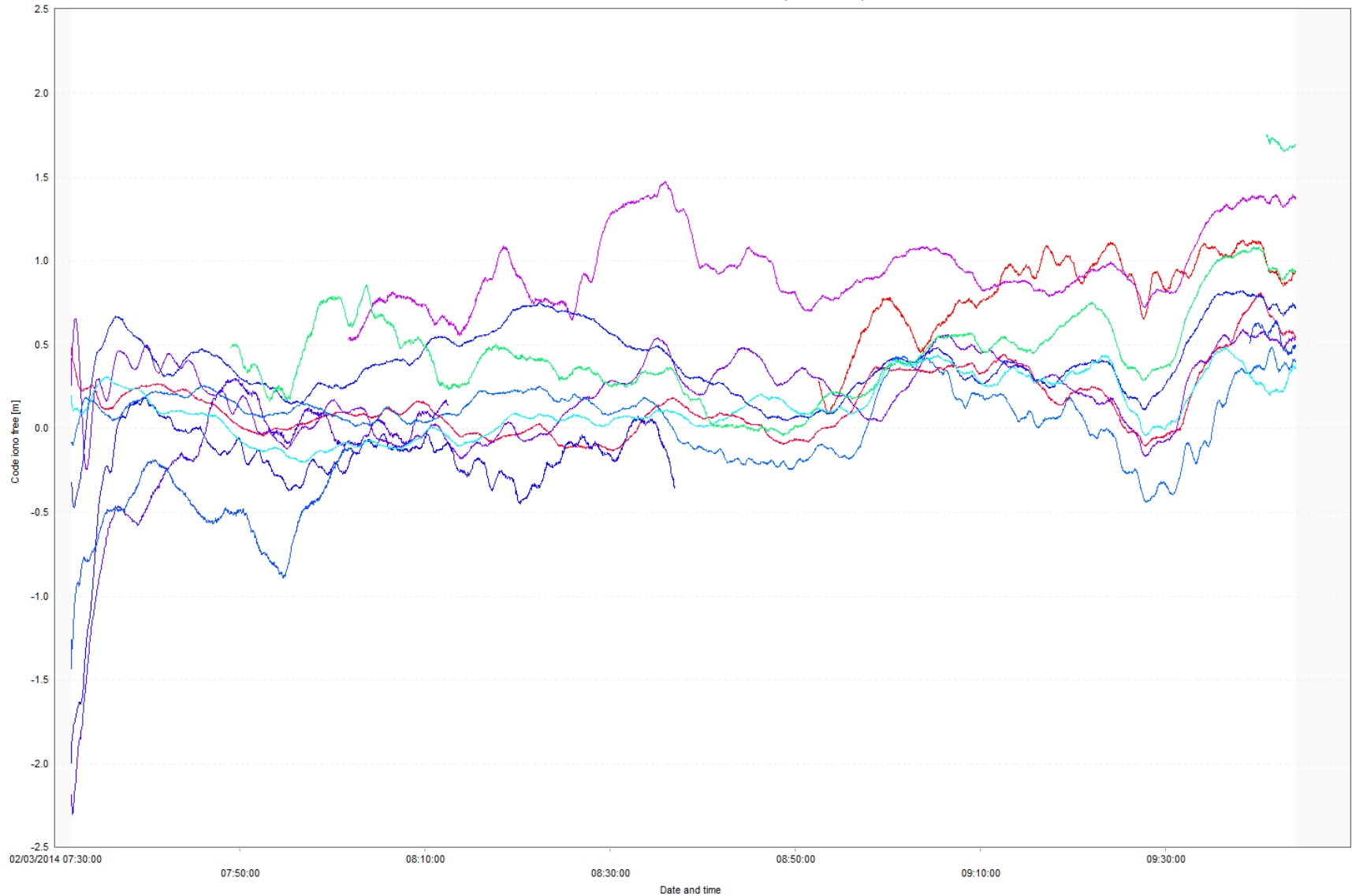
$$L_6 = \frac{1}{f_1 - f_2} (f_1 L_1 - f_2 L_2) - \frac{1}{f_1 + f_2} (f_1 P_1 + f_2 P_2)$$

Παράδειγμα βάσεων GPS & απλών, διπλών τριπλών διαφορών

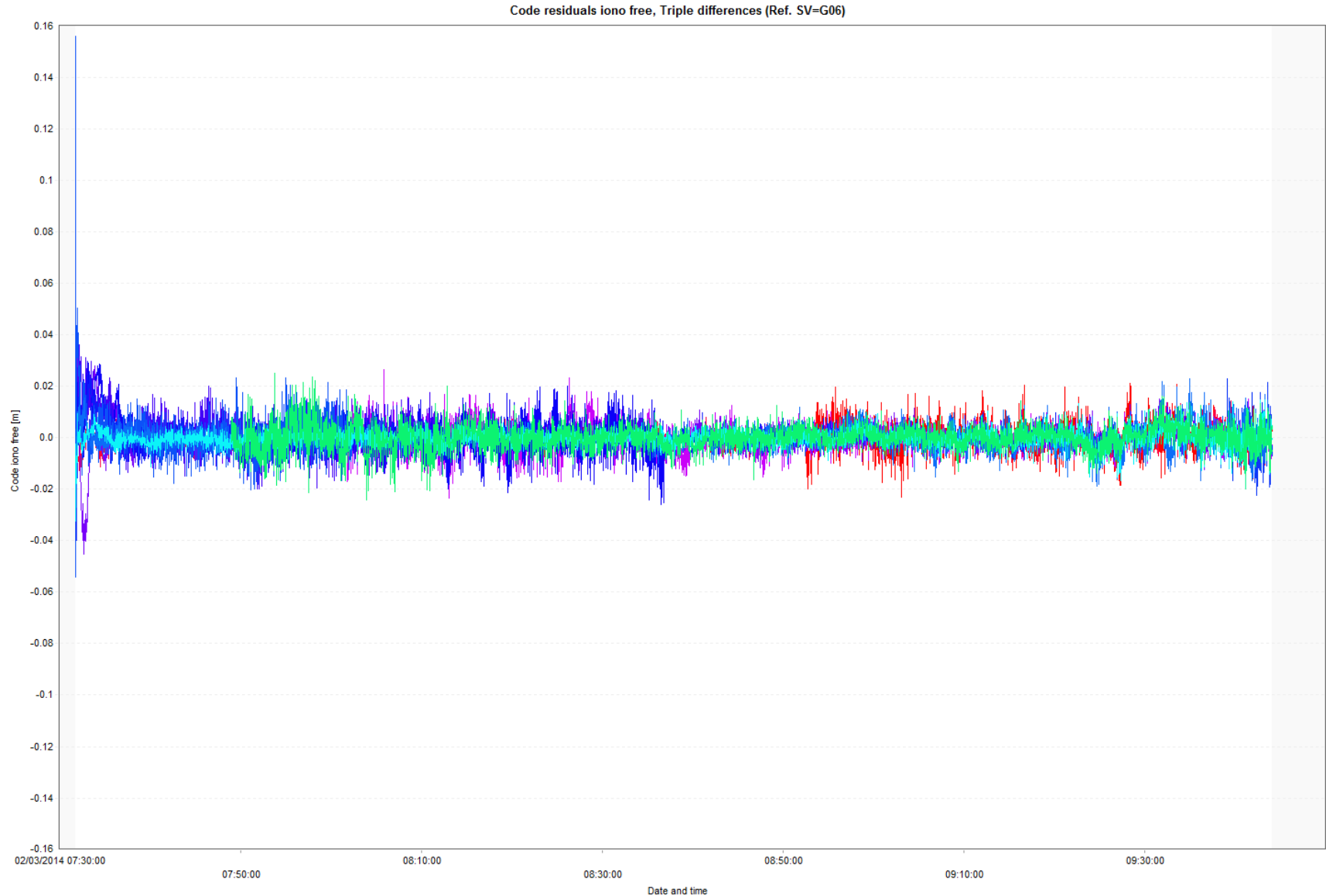


Παράδειγμα βάσεων GPS & απλών, διπλών τριπλών διαφορών

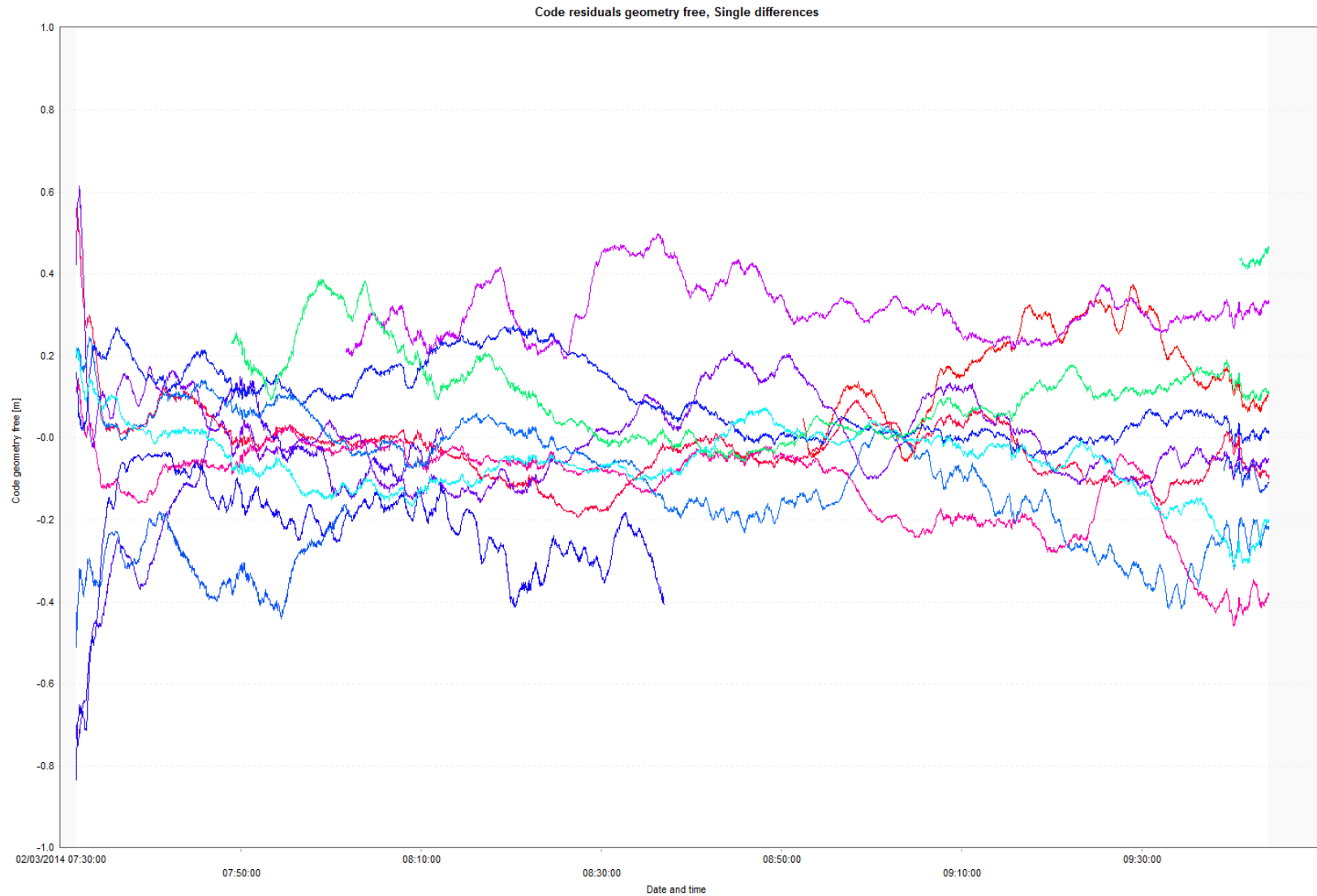
Code residuals iono free, Double differences (Ref. SV=G06)



Παράδειγμα βάσεων GPS & απλών, διπλών τριπλών διαφορών

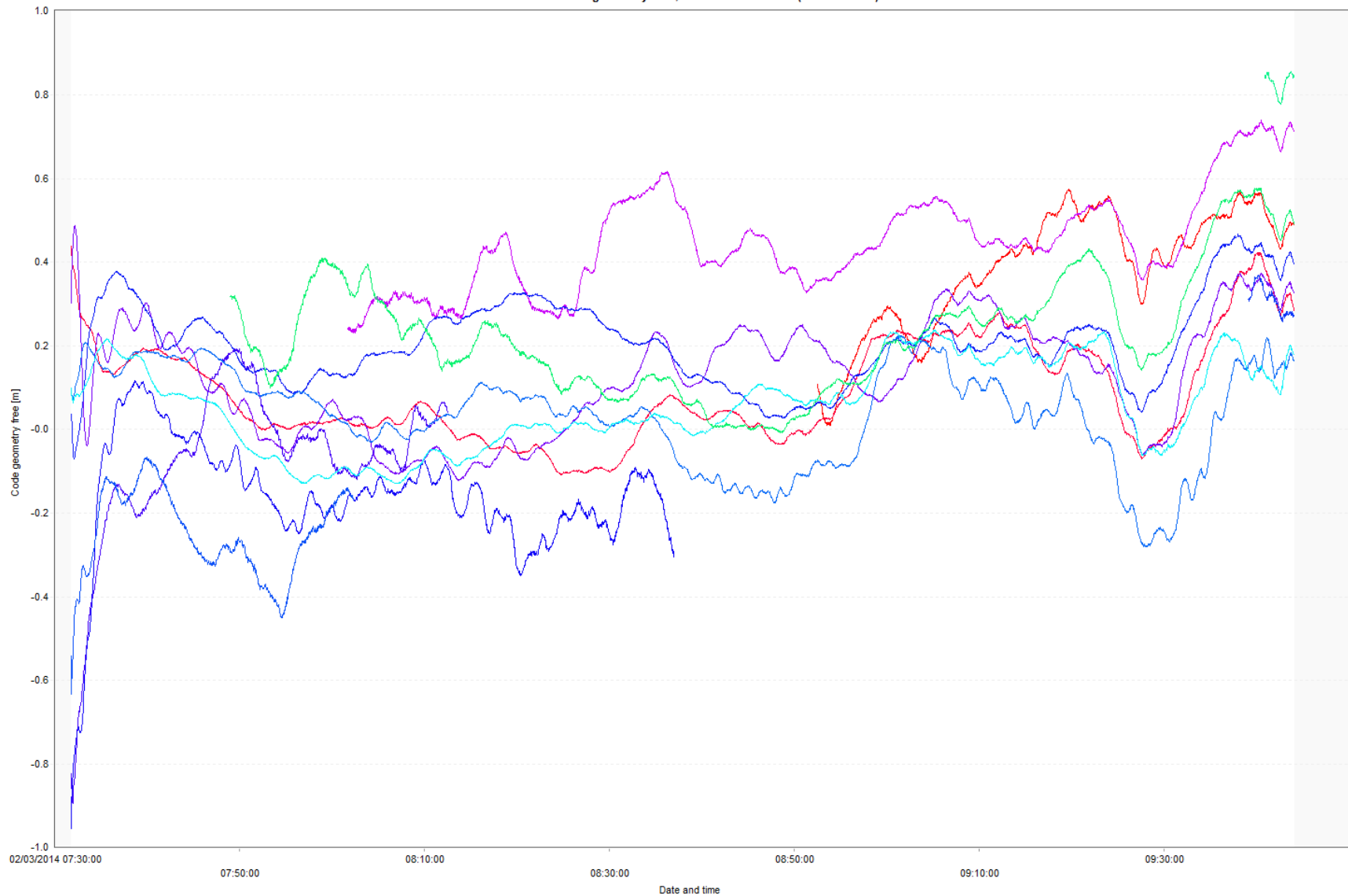


Παράδειγμα βάσεων GPS & απλών, διπλών τριπλών διαφορών

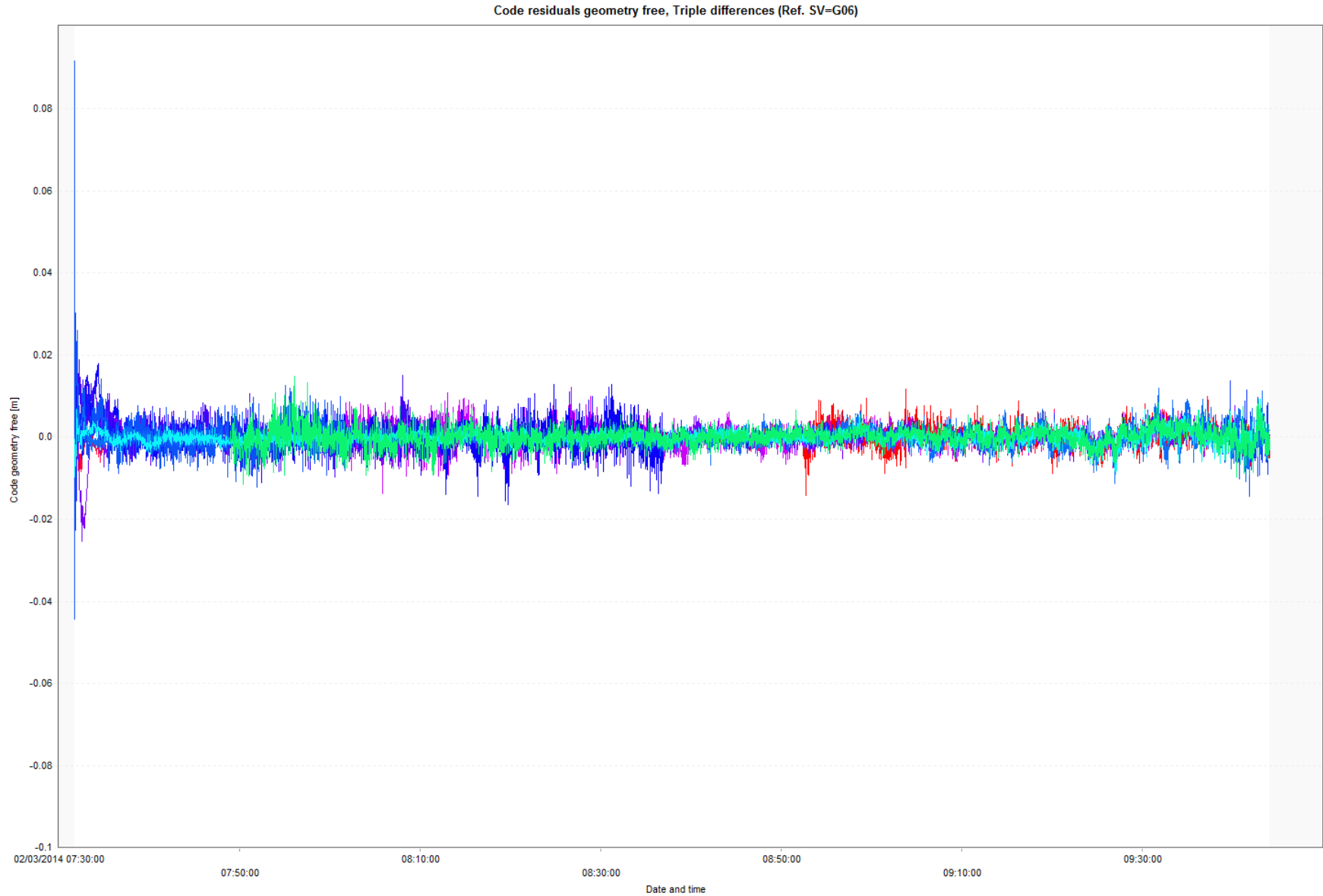


Παράδειγμα βάσεων GPS & απλών, διπλών τριπλών διαφορών

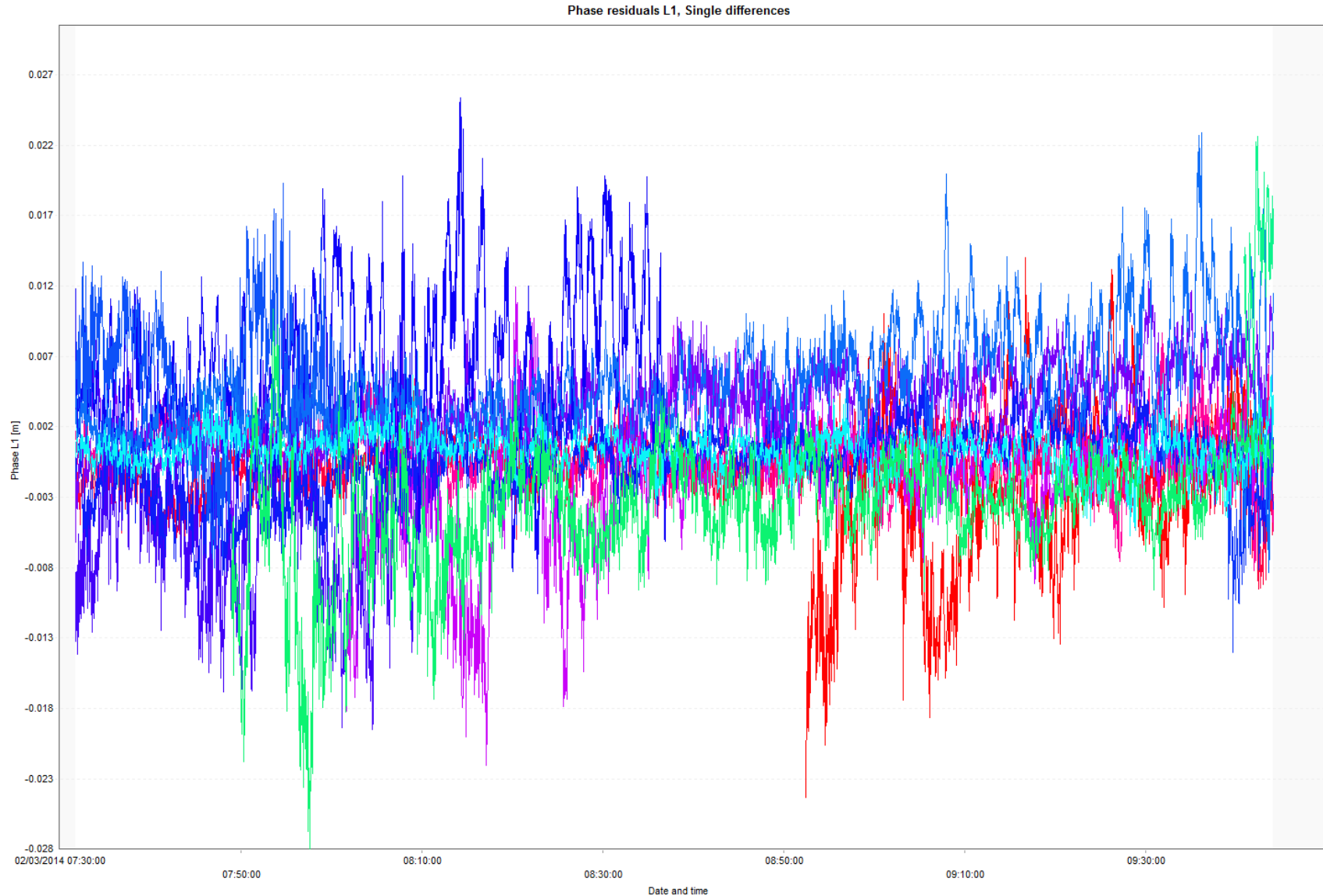
Code residuals geometry free, Double differences (Ref. SV=G06)



Παράδειγμα βάσεων GPS & απλών, διπλών τριπλών διαφορών

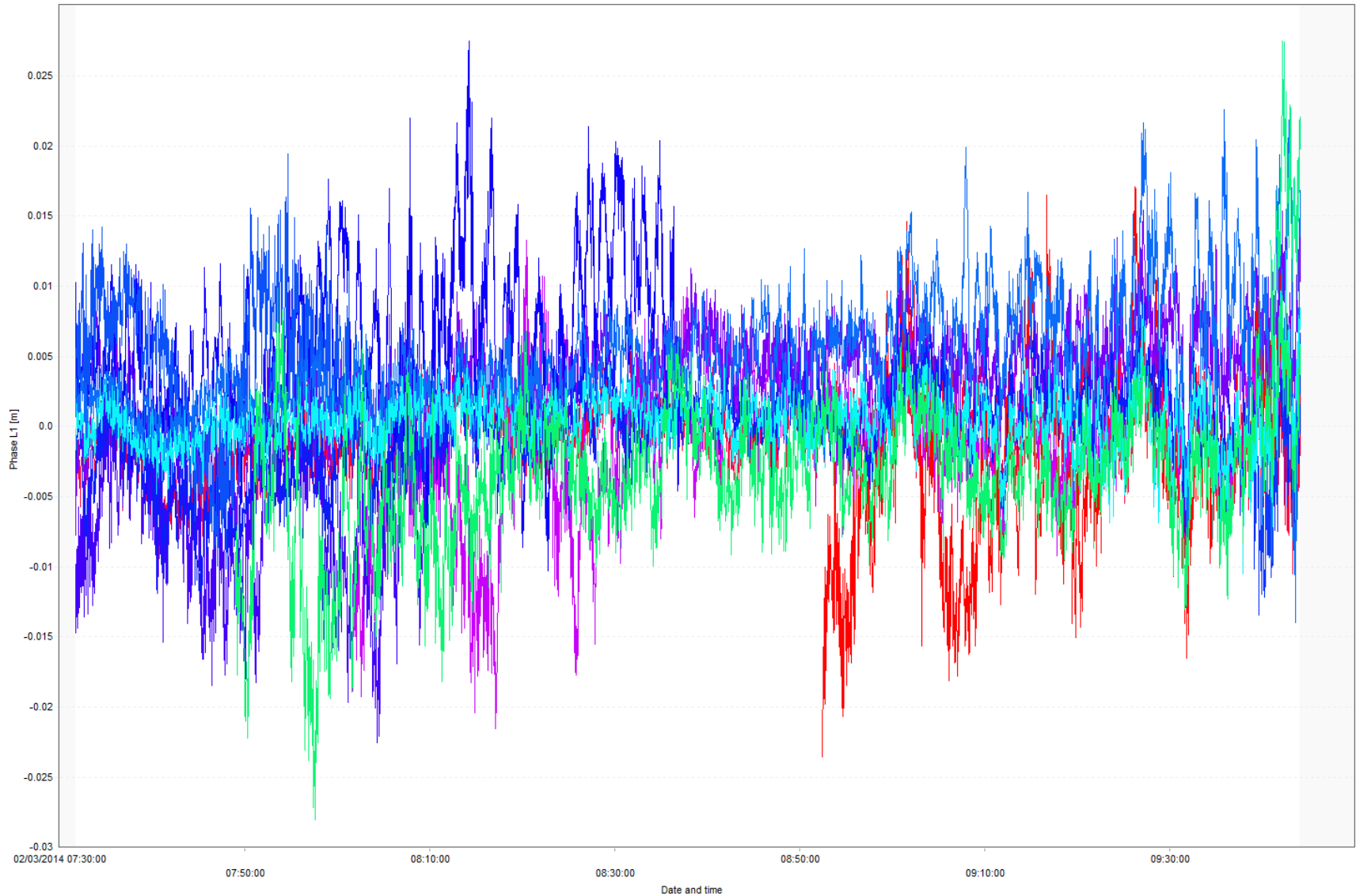


Παράδειγμα βάσεων GPS & απλών, διπλών τριπλών διαφορών



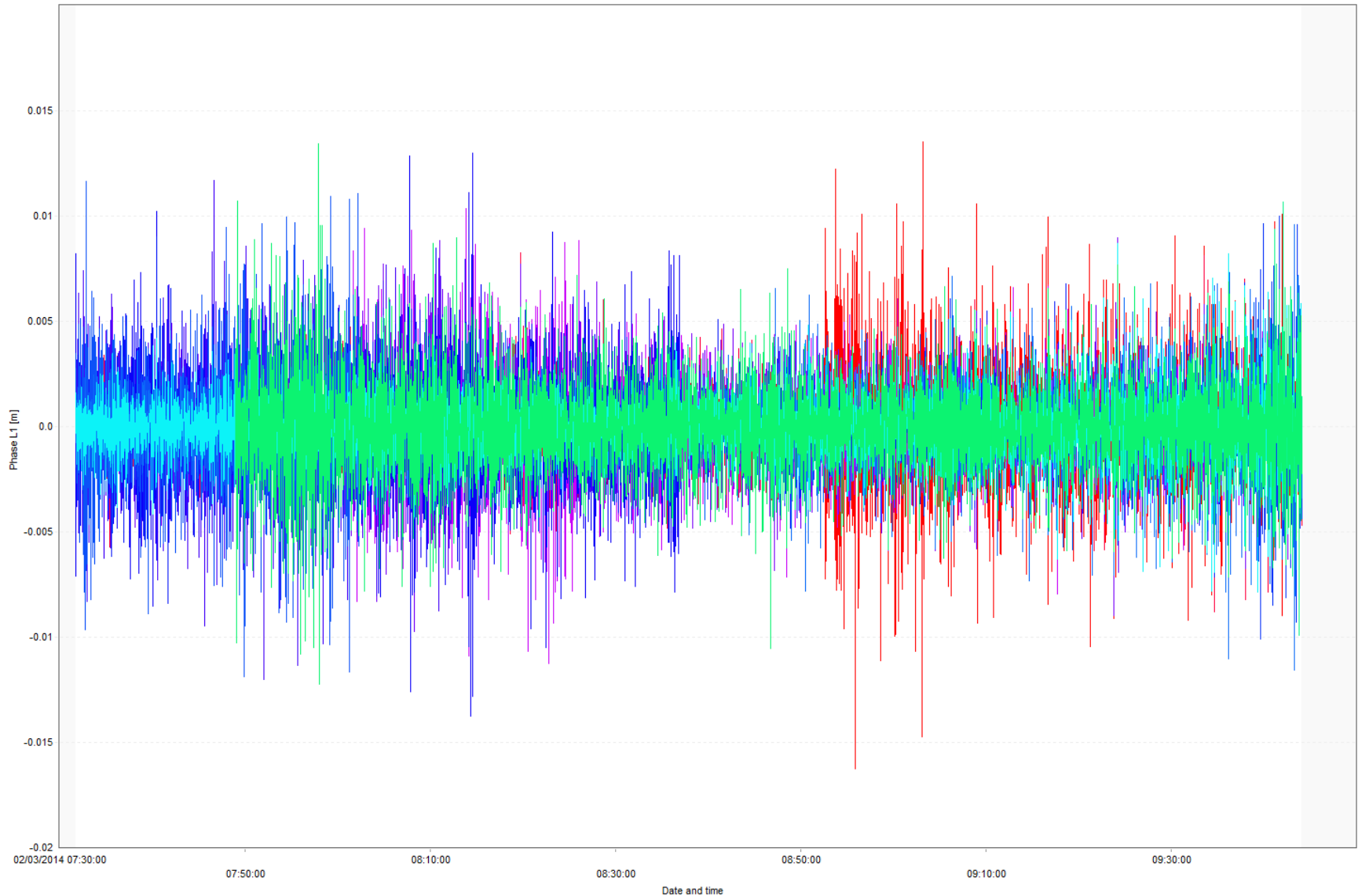
Παράδειγμα βάσεων GPS & απλών, διπλών τριπλών διαφορών

Phase residuals L1, Double differences (Ref. SV=G06)

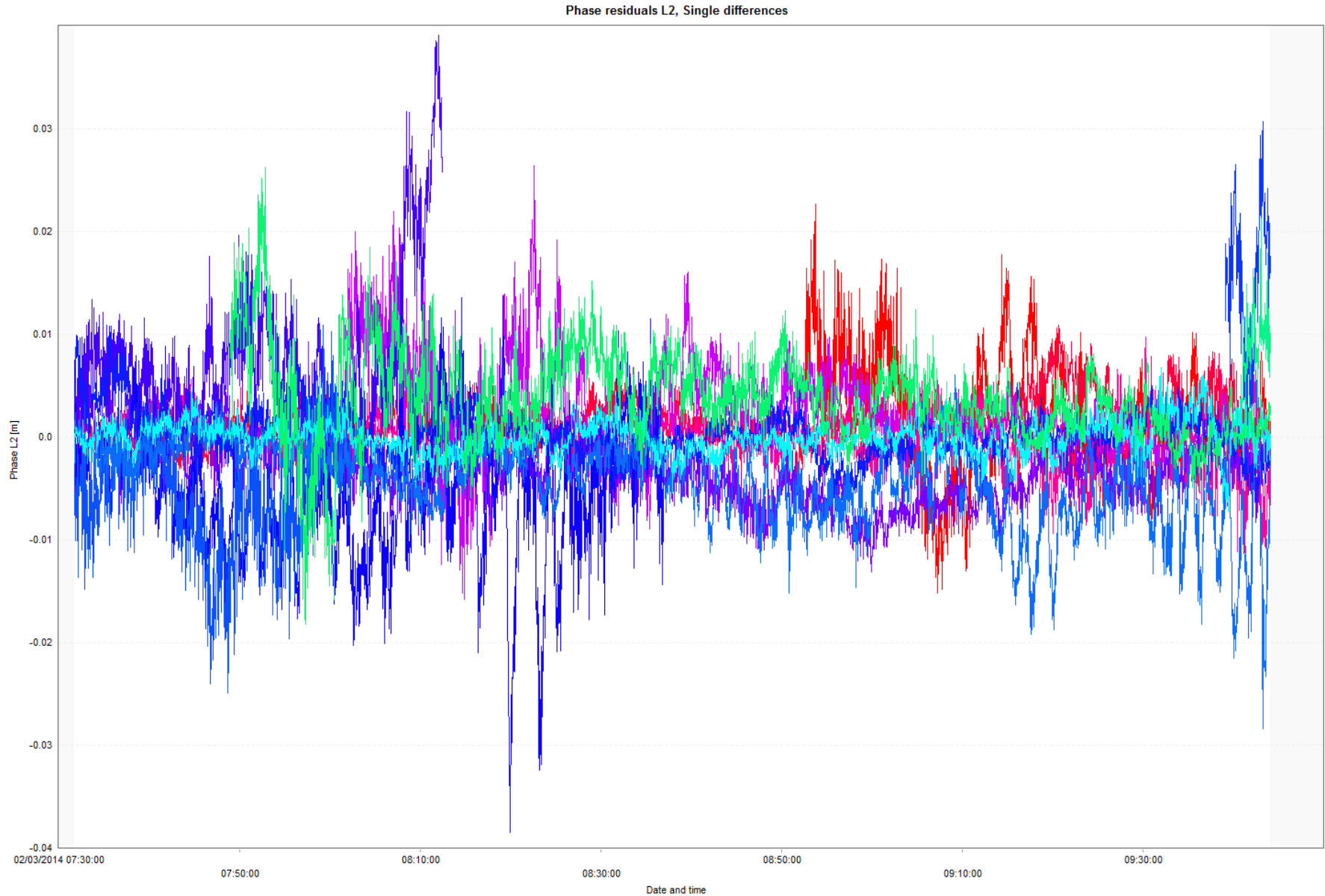


Παράδειγμα βάσεων GPS & απλών, διπλών τριπλών διαφορών

Phase residuals L1, Triple differences (Ref. SV=G06)

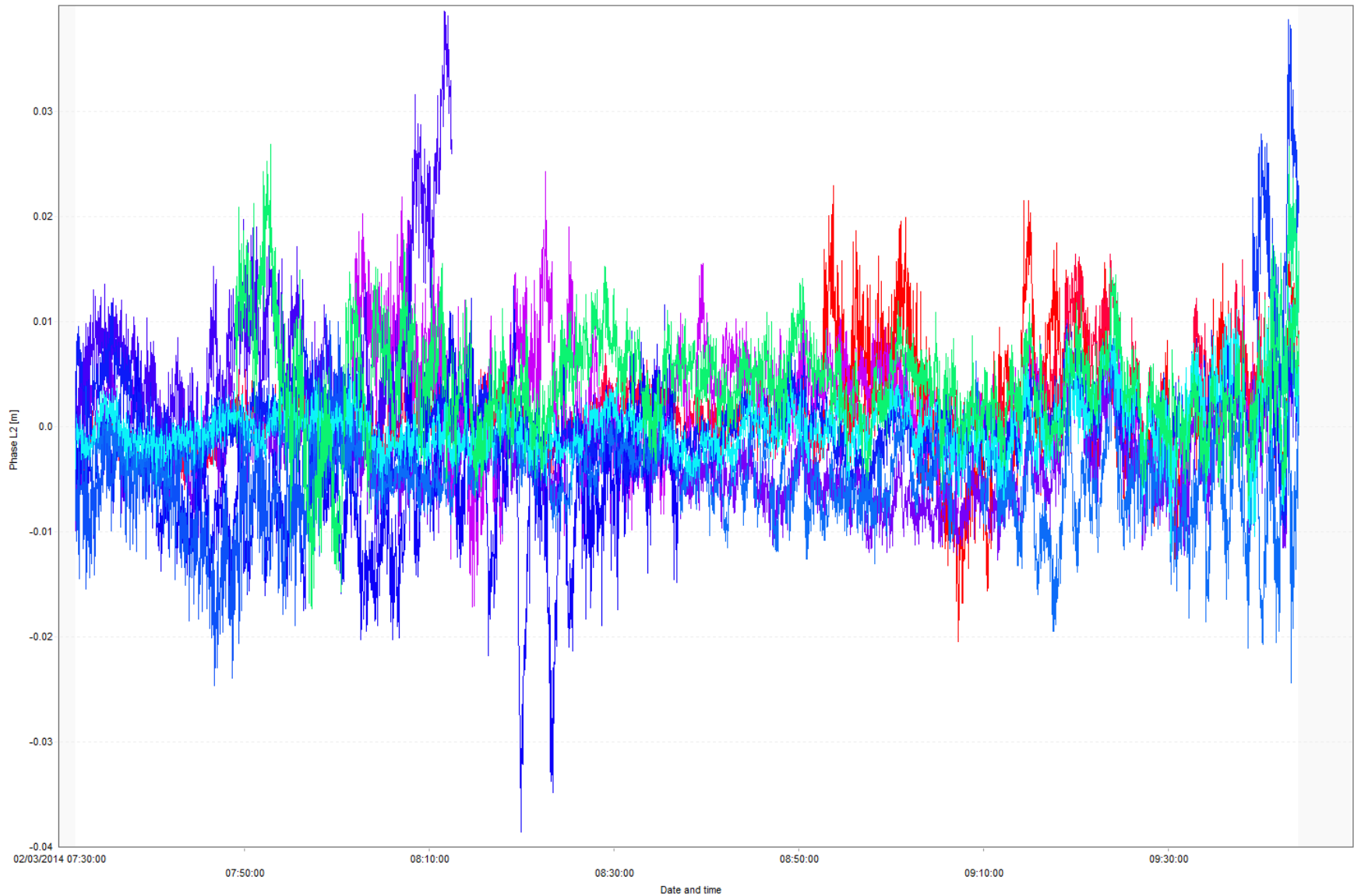


Παράδειγμα βάσεων GPS & απλών, διπλών τριπλών διαφορών

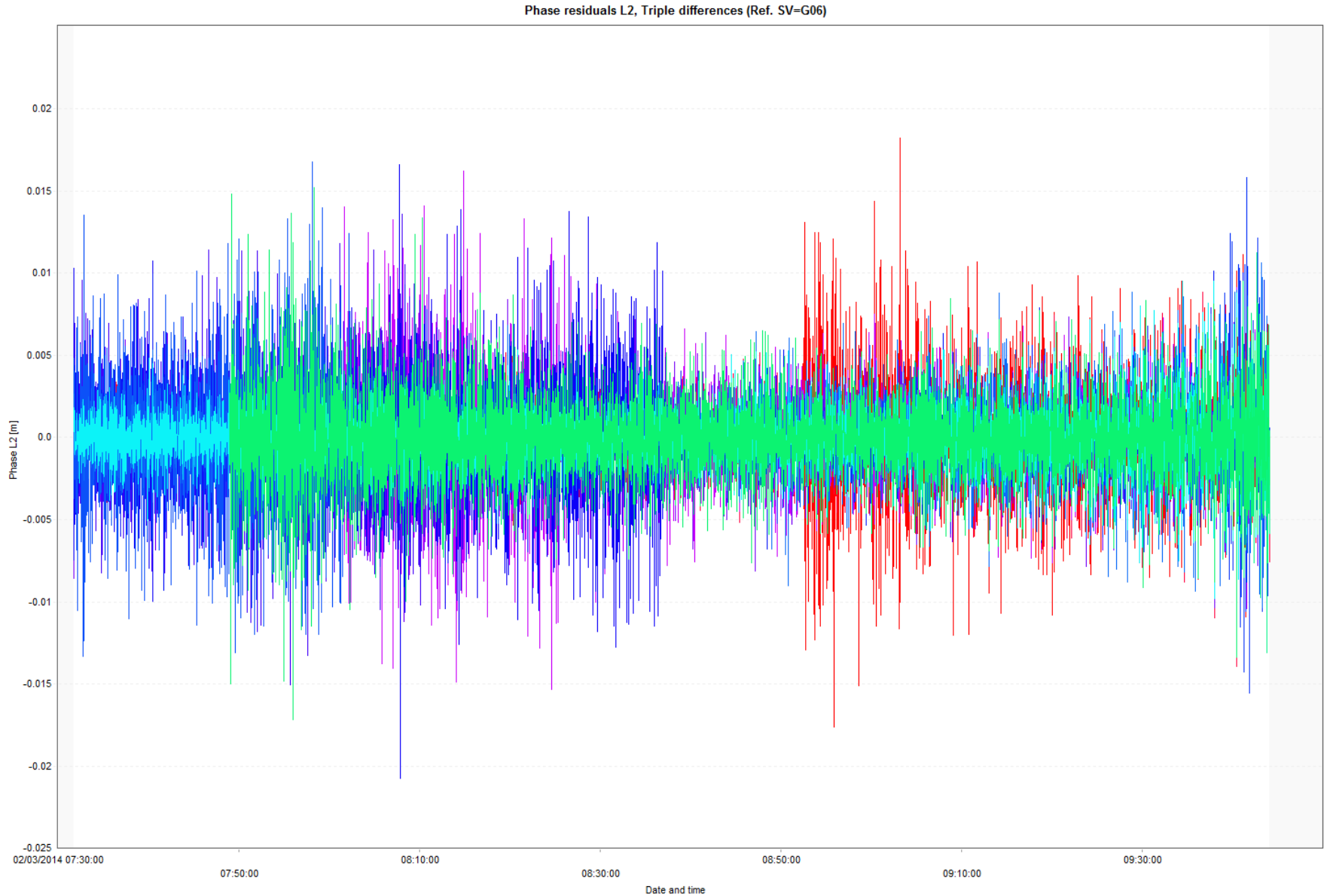


Παράδειγμα βάσεων GPS & απλών, διπλών τριπλών διαφορών

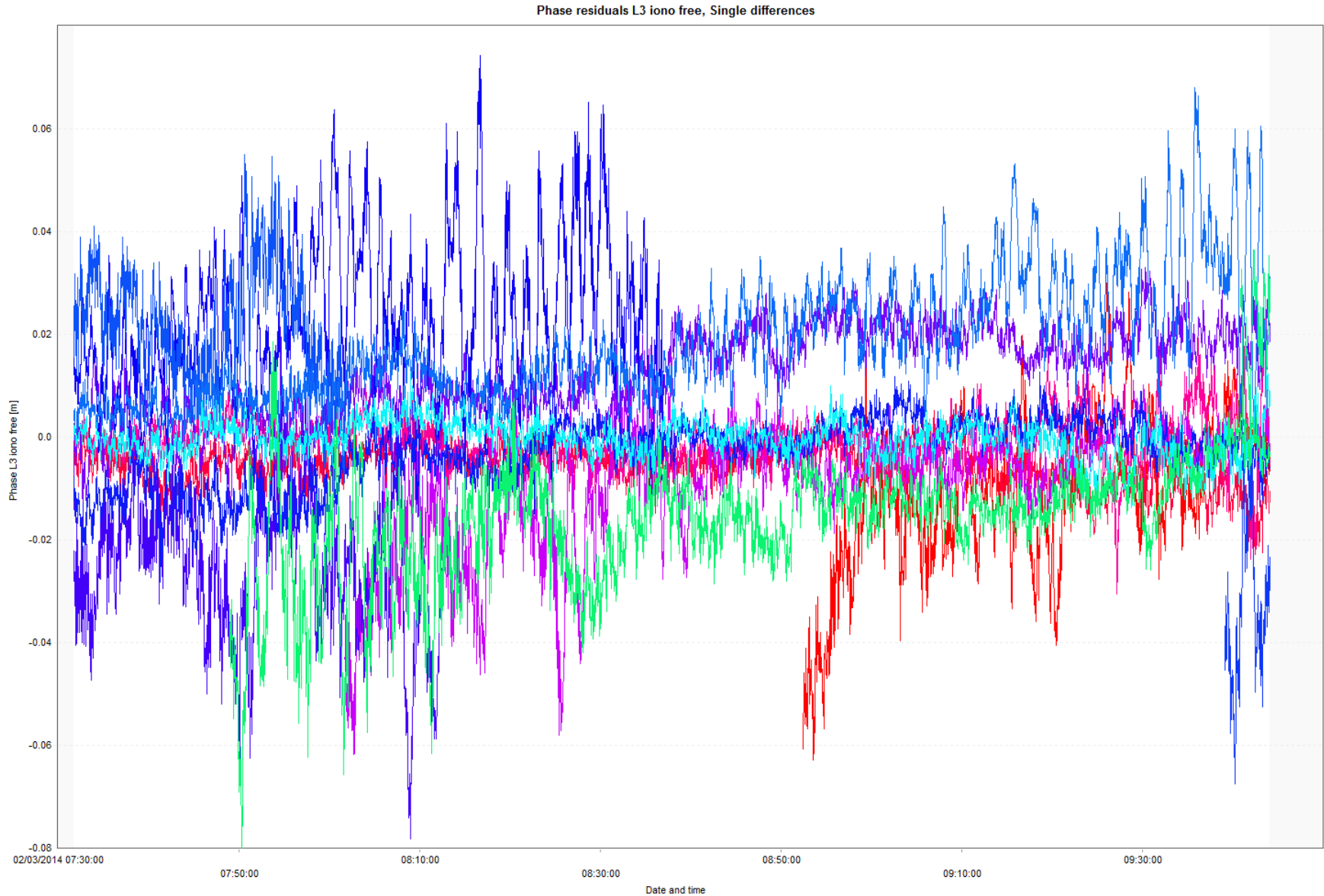
Phase residuals L2, Double differences (Ref. SV=G06)



Παράδειγμα βάσεων GPS & απλών, διπλών τριπλών διαφορών

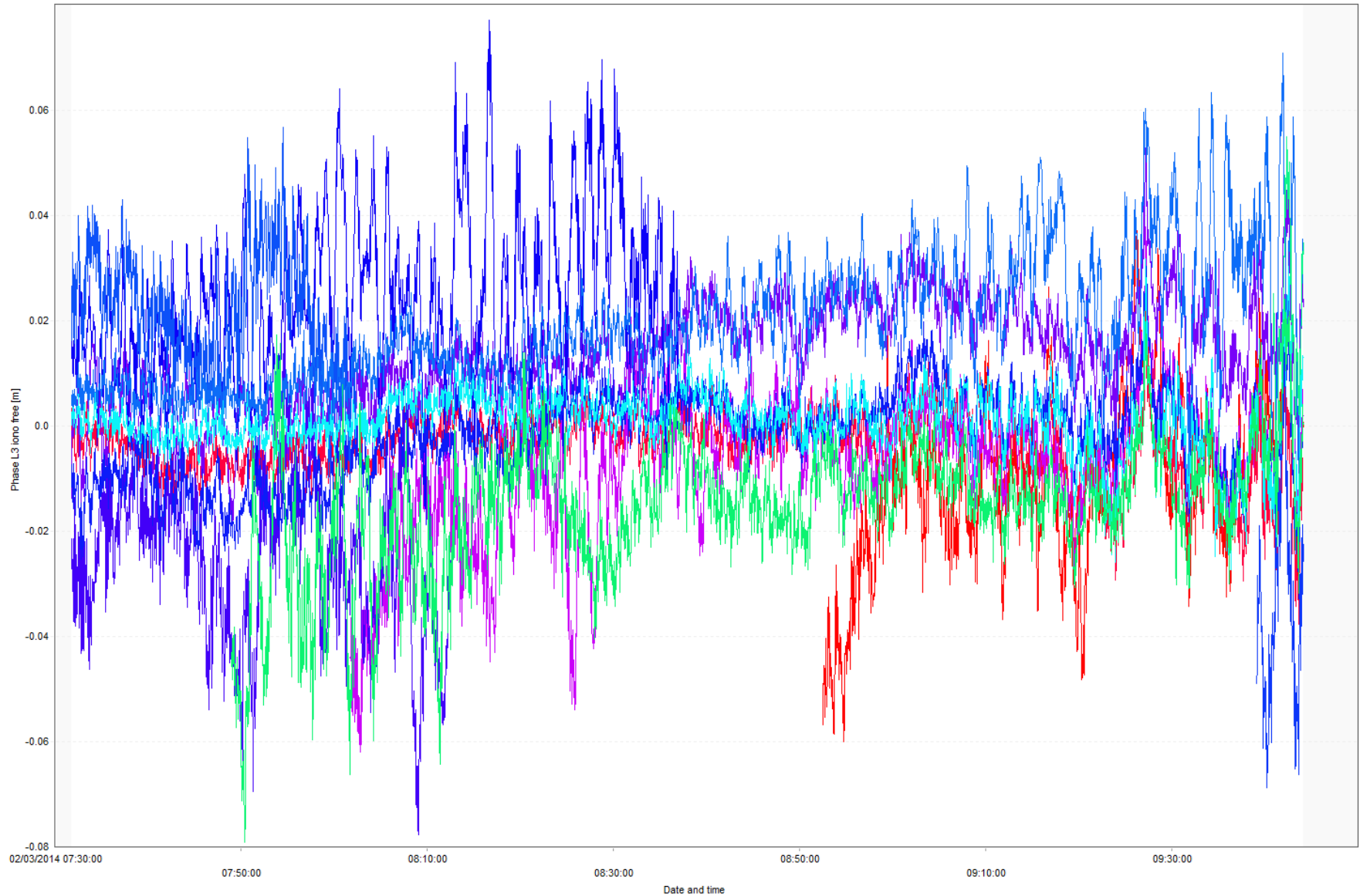


Παράδειγμα βάσεων GPS & απλών, διπλών τριπλών διαφορών



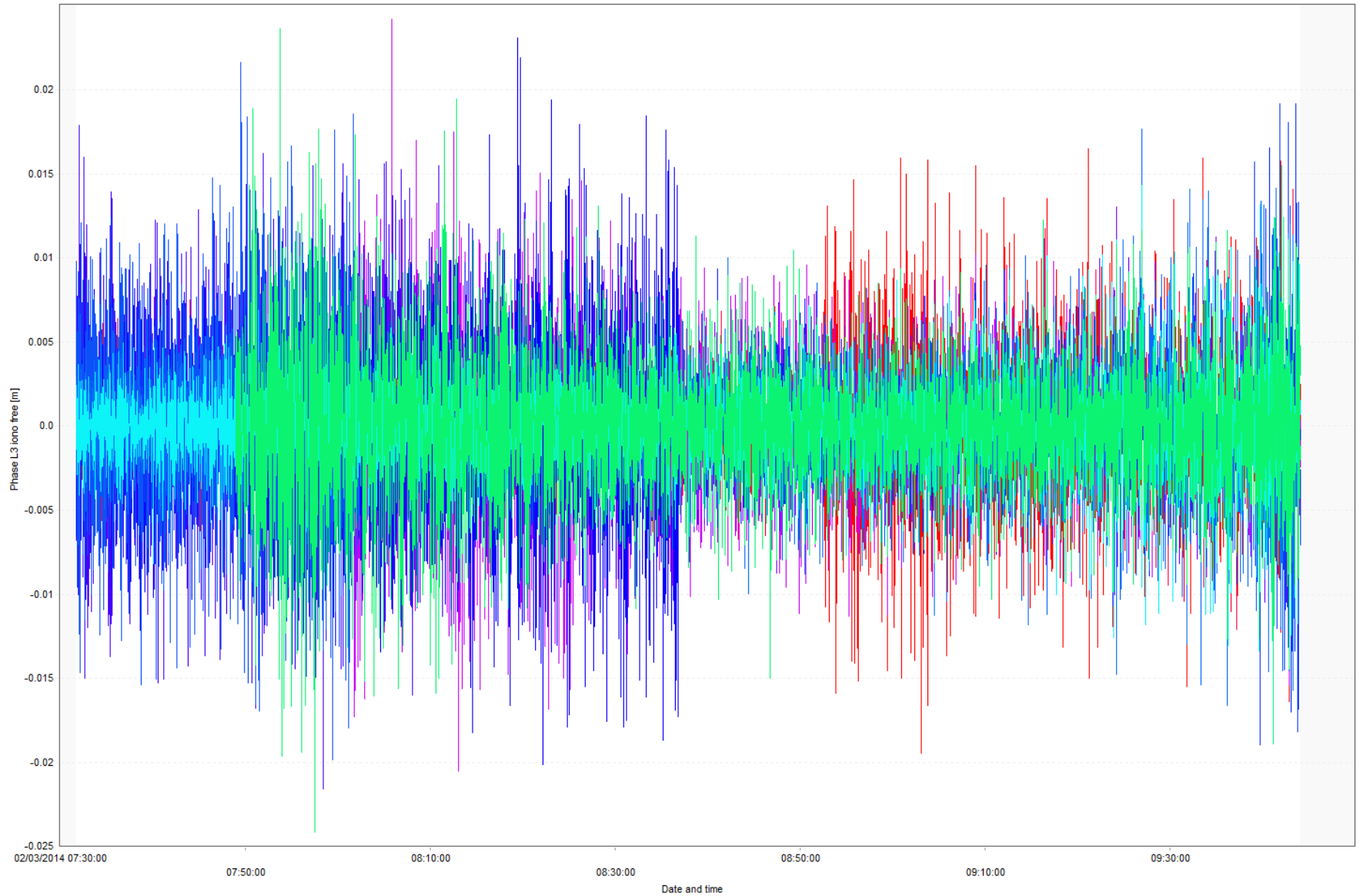
Παράδειγμα βάσεων GPS & απλών, διπλών τριπλών διαφορών

Phase residuals L3 iono free, Double differences (Ref. SV=G06)

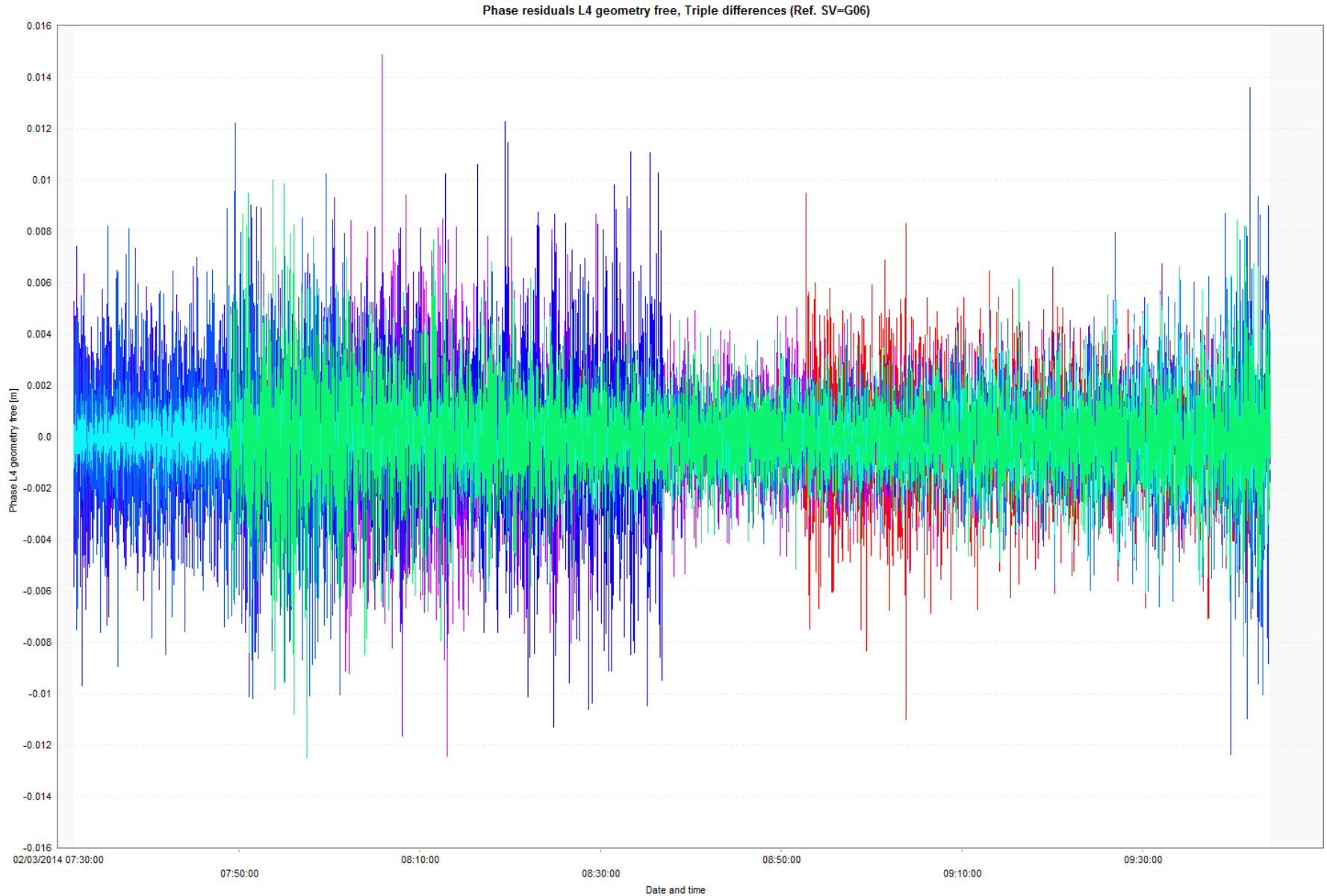


Παράδειγμα βάσεων GPS & απλών, διπλών τριπλών διαφορών

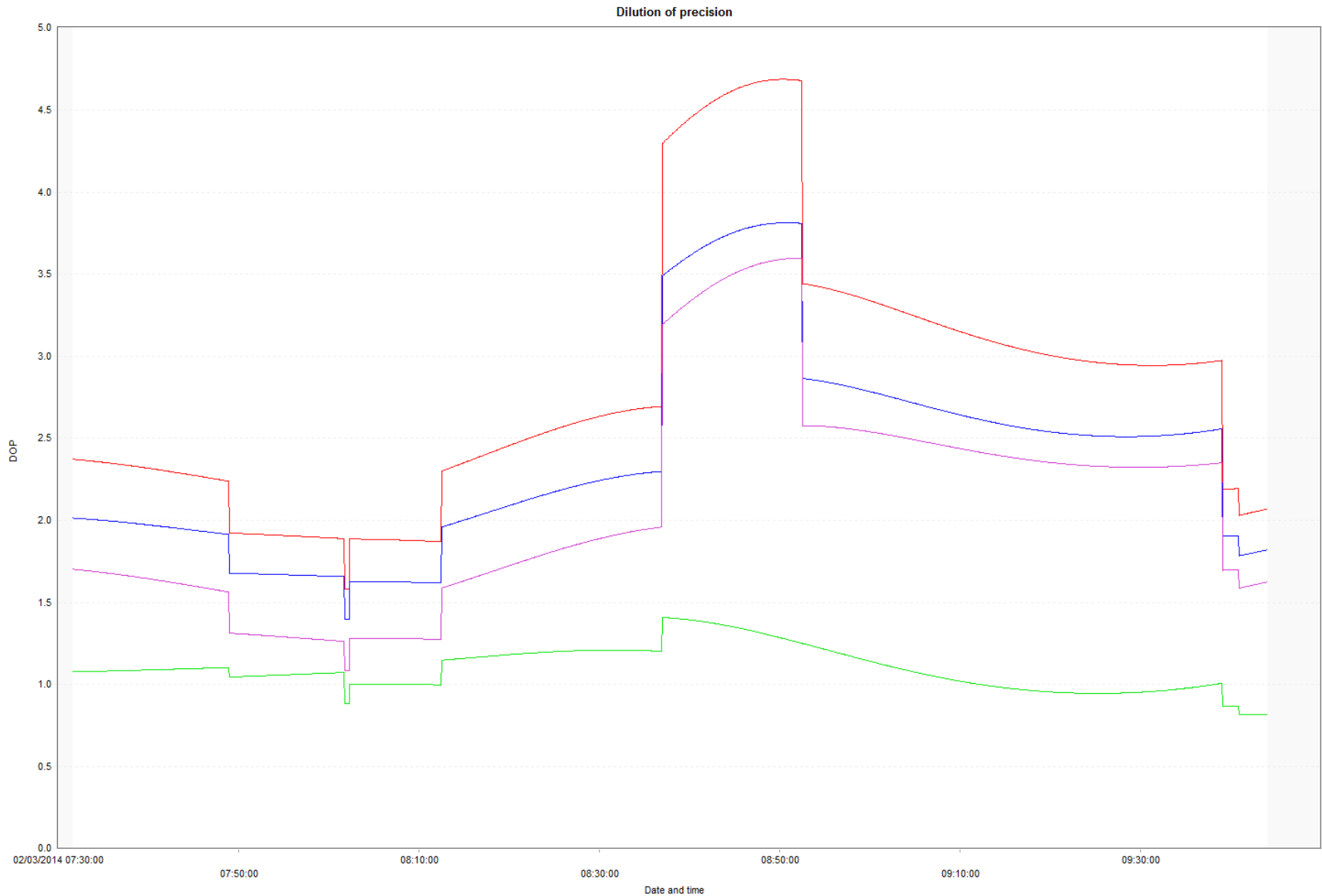
Phase residuals L3 iono free, Triple differences (Ref. SV=G06)



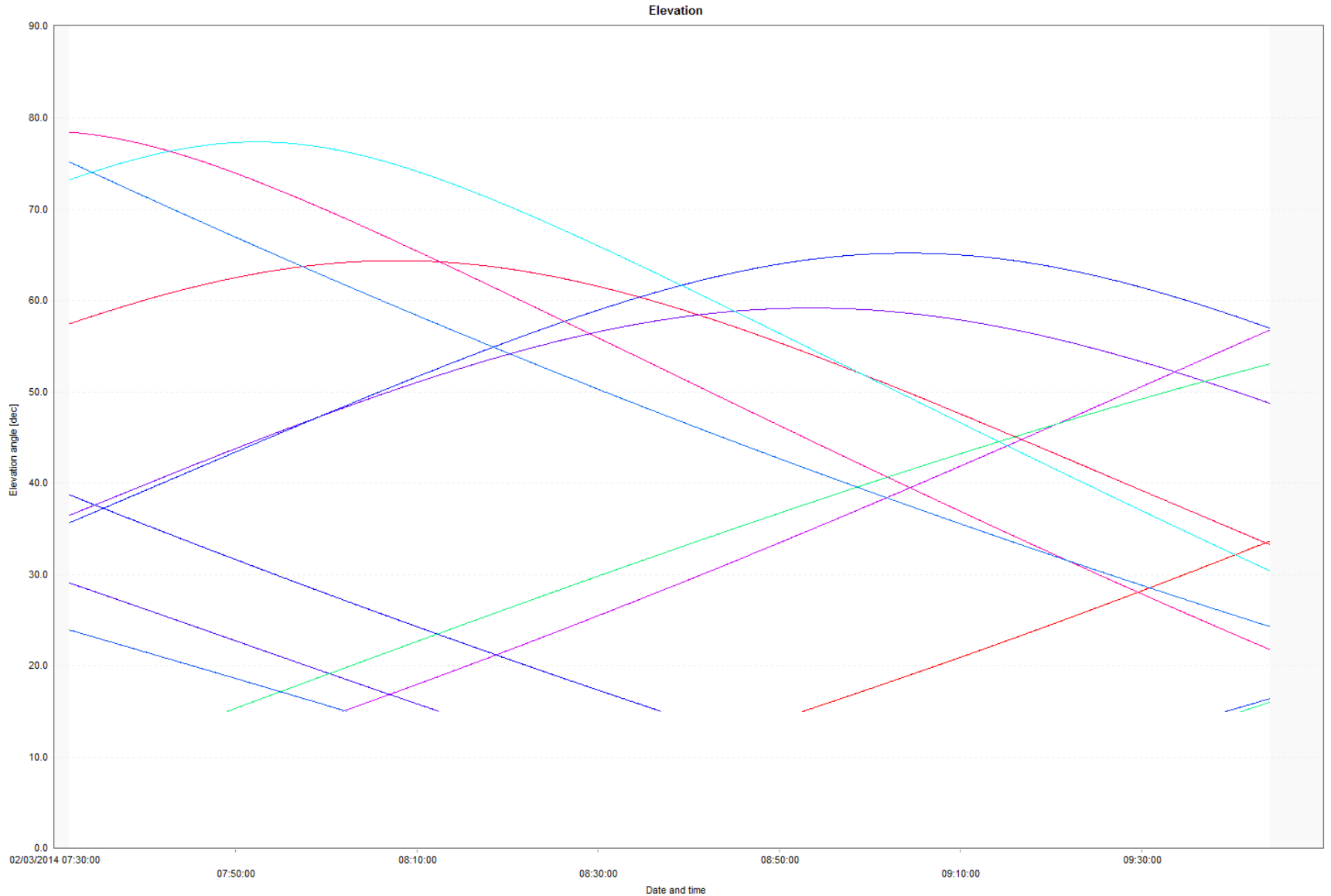
Παράδειγμα βάσεων GPS & απλών, διπλών τριπλών διαφορών



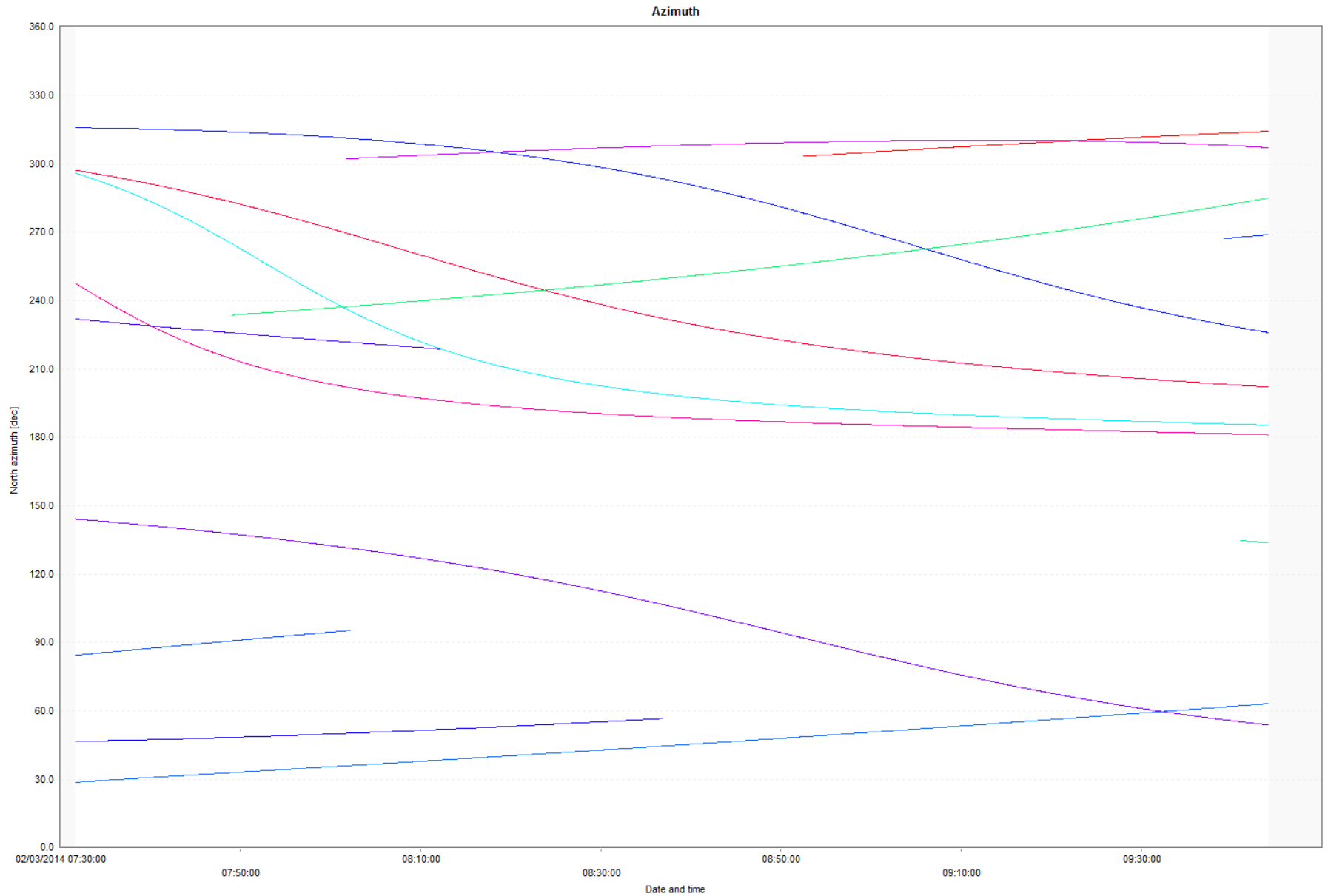
Παράδειγμα βάσεων GPS & απλών, διπλών τριπλών διαφορών



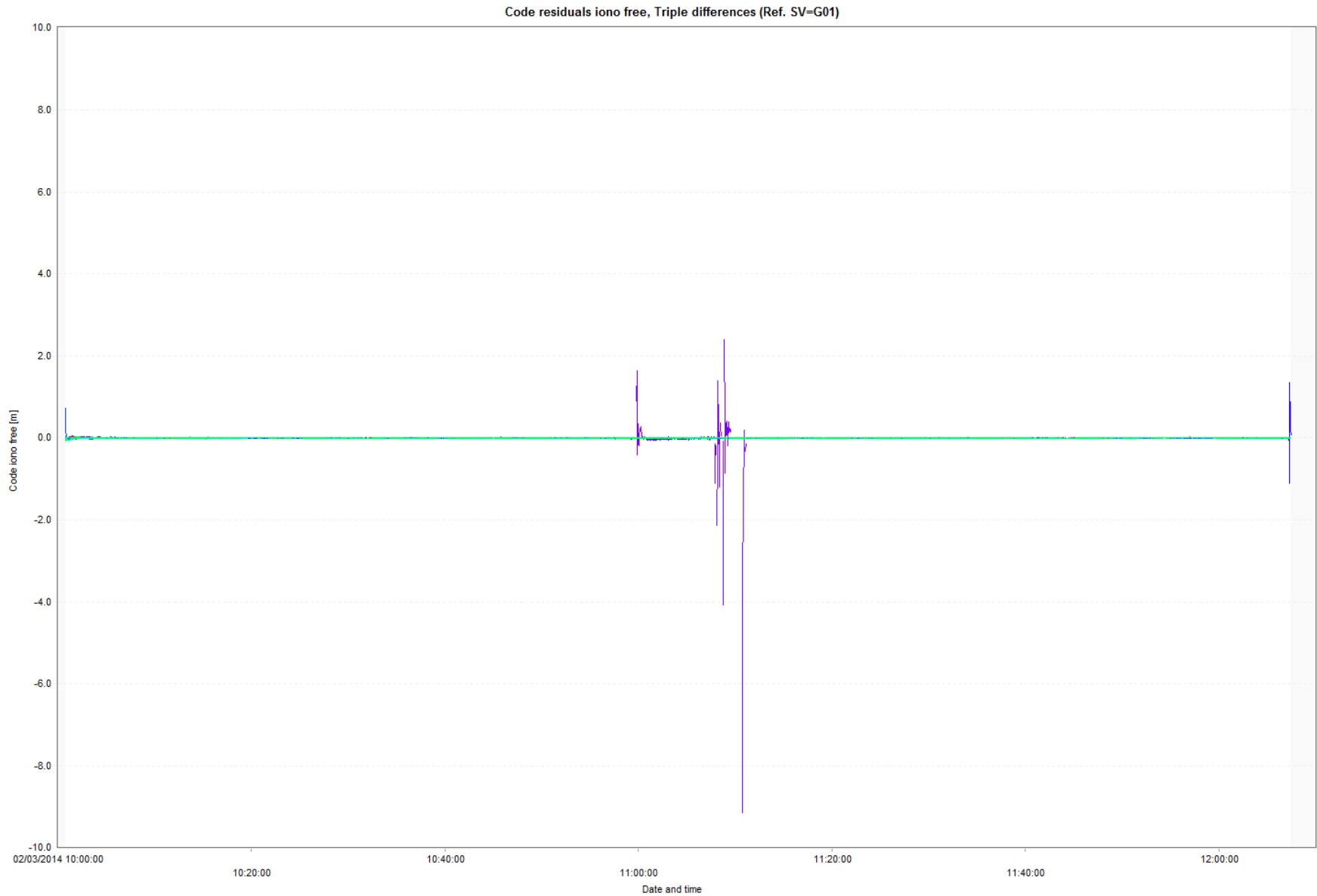
Παράδειγμα βάσεων GPS & απλών, διπλών τριπλών διαφορών



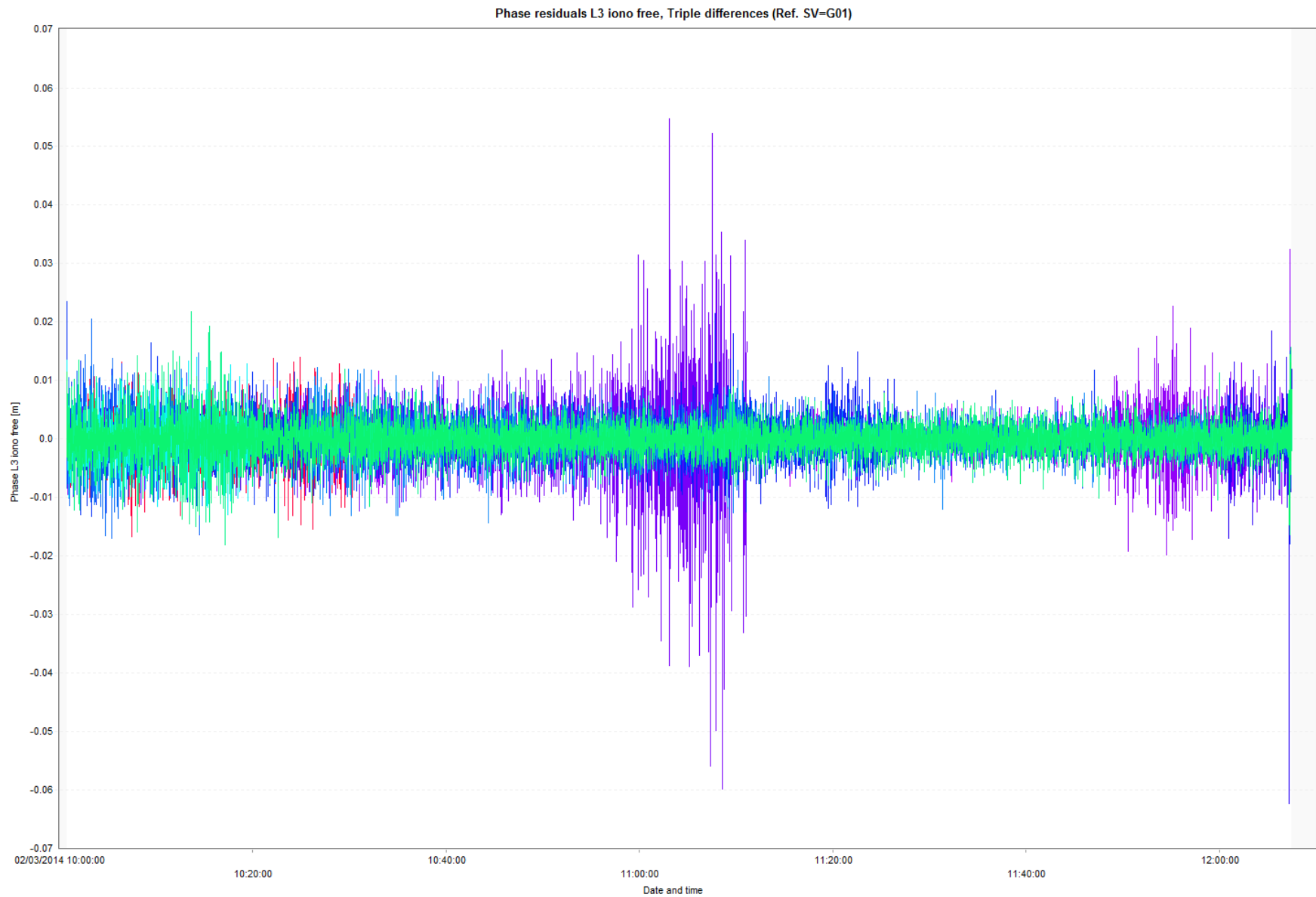
Παράδειγμα βάσεων GPS & απλών, διπλών, τριπλών διαφορών



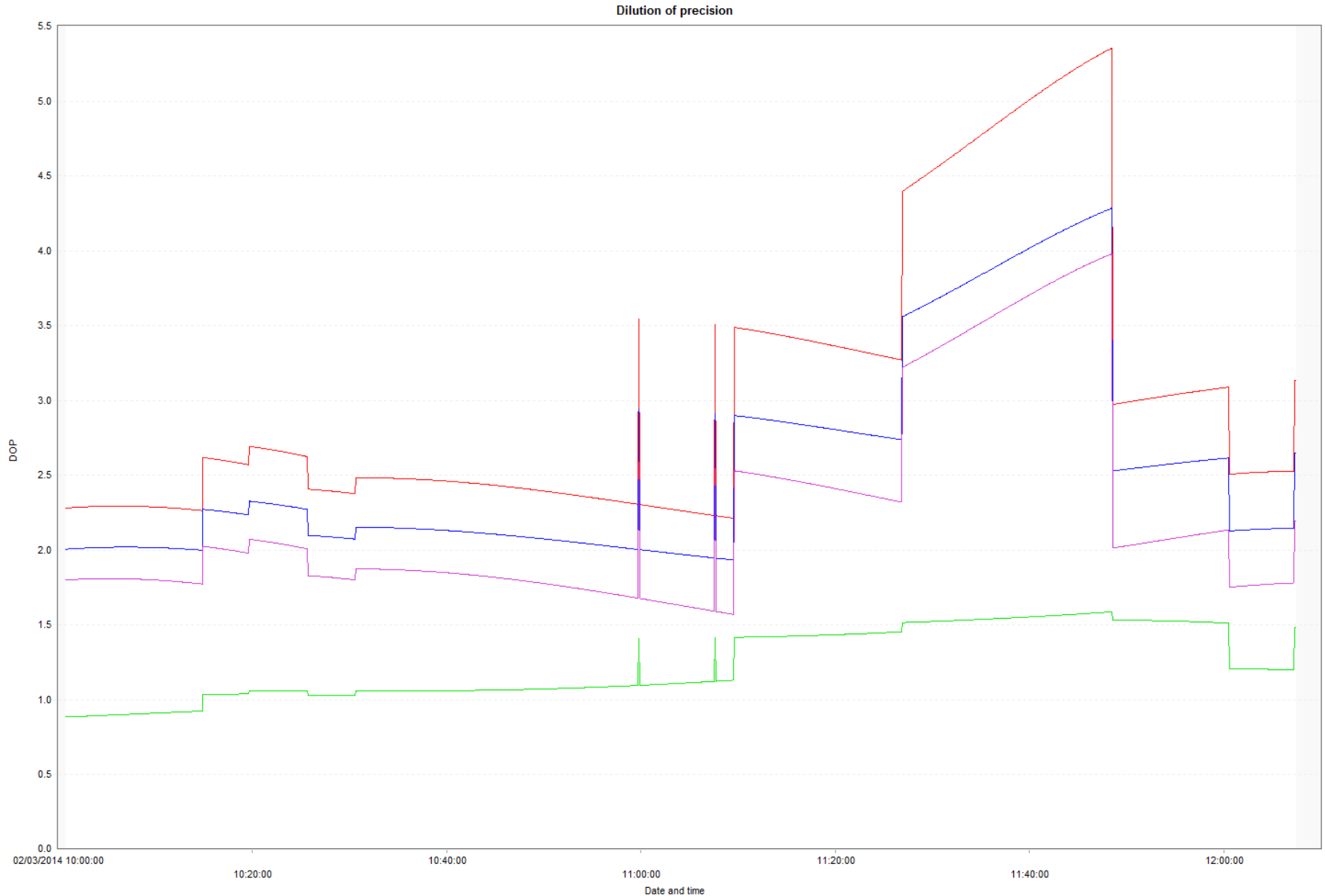
Παράδειγμα βάσεων GPS & απλών, διπλών τριπλών διαφορών



Παράδειγμα βάσεων GPS & απλών, διπλών τριπλών διαφορών

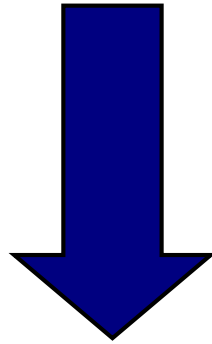


Παράδειγμα βάσεων GPS & απλών, διπλών, τριπλών διαφορών



Γεωμετρικά Μέτρα

Ακρίβειας των Μετρήσεων



*Μία ποσότητα που να εκφράζει την
ακρίβεια με την οποία έγιναν οι μετρήσεις
με το GPS, δηλ.*

ο προσδιορισμός των X_R, Y_R, Z_R, dT

- Είναι ένα βαθμωτό μέτρο της επίδρασης της γεωμετρίας των δορυφόρων στην εκτίμηση της ακρίβειας προσδιορισμού του διανύσματος θέσης και του σφάλματος του χρονομέτρου του δέκτη

$$DOP = \text{Dilution of Precision} = \sqrt{\text{tr}(\mathbf{C}_Q)} = \sqrt{\text{ίχνος}(\mathbf{C}_Q)}$$

$$\mathbf{C}_Q = \mathbf{N}^{-1} = (\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^{-1}$$

Ποιός είναι ο πίνακας C_Q ??

Ο πίνακας C_Q ονομάζεται πίνακας μεταβλητοτήτων-συμμεταβλητοτήτων και μας αποτελεί ένα μέτρο ακρίβειας των προσιοριζόμενων παραμέτρων

Για την περίπτωση που οι άγνωστοι είναι το διάνυσμα θέσης του δέκτη X_R και το σφάλμα του χρονομέτρου του δέκτη dT , τότε ο πίνακας είναι διαστάσεων 4×4 και έχει τη μοφή...

Γεωμετρική εκτίμηση ακρίβειας – Dilution of Precision (DOP)

$$\mathbf{C}_{\hat{x}} = \begin{bmatrix} C_{xx} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & C_{yy} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & C_{zz} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & C_{dTdT} \end{bmatrix}$$

Ακρίβεια στον προσδιορισμό του x_R

Ακρίβεια στον προσδιορισμό του y_R

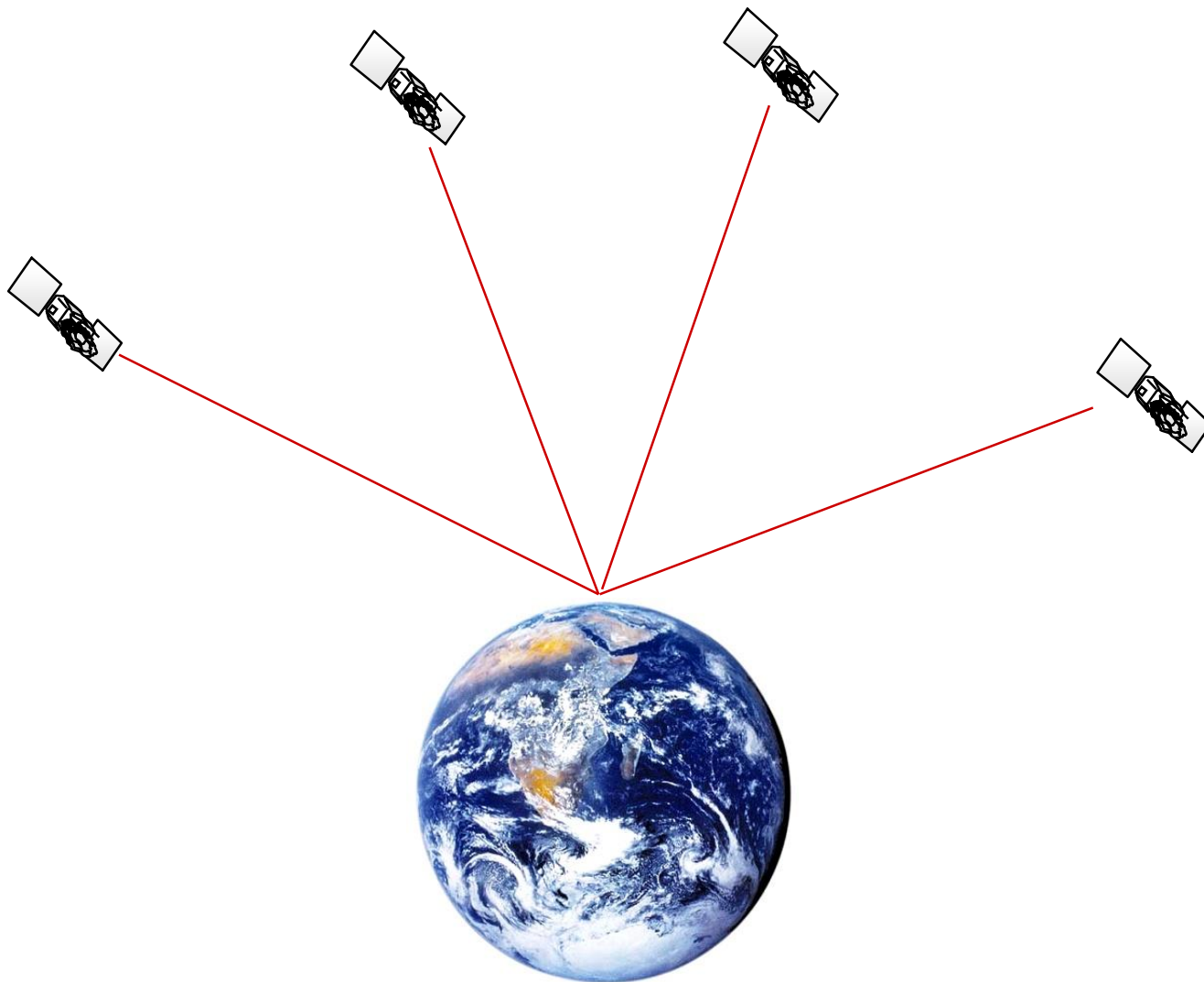
Ακρίβεια στον προσδιορισμό του z_R

Ακρίβεια στον προσδιορισμό του dT

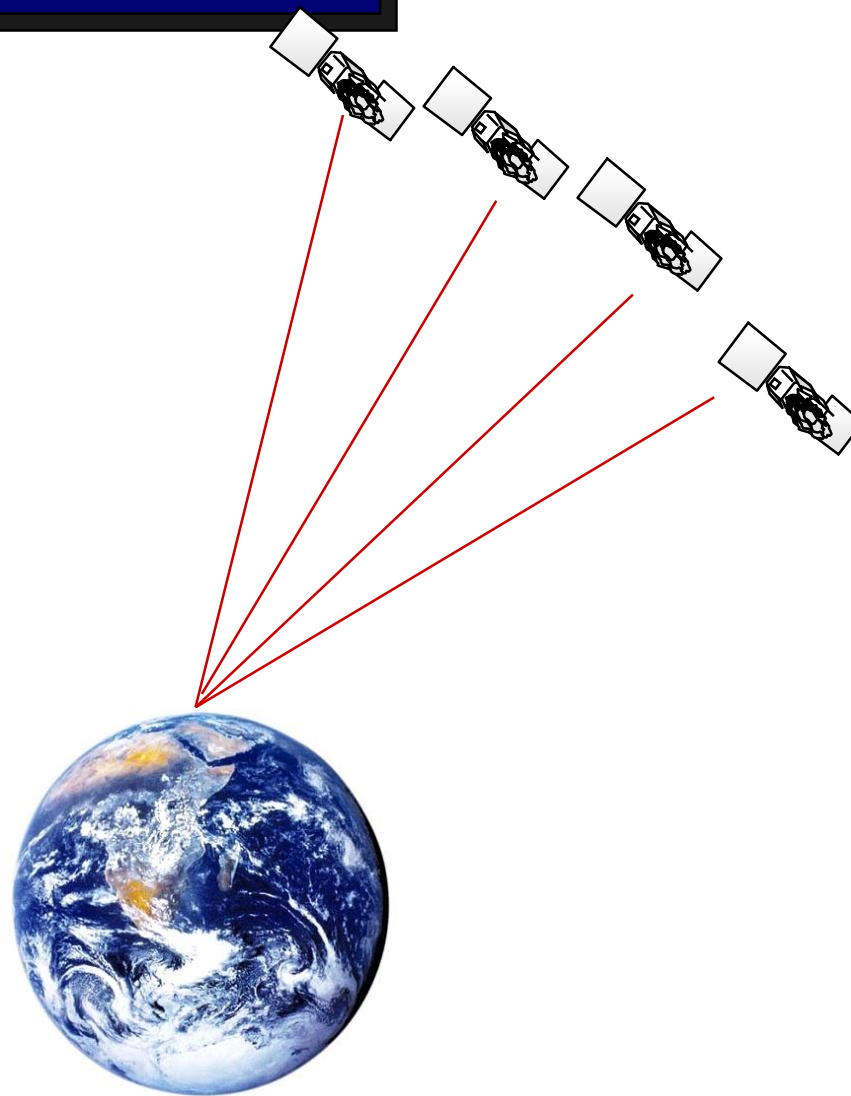
Γεωμετρική εκτίμηση ακρίβειας – *Dilution of Precision (DOP)*

- Ο “καλός” δορυφορικός γεωμετρικός σχηματισμός επιδρά στην ακρίβεια προσδιορισμού θέσης
- Το DOP είναι μία εκτίμηση της γεωμετρικής “ισχύος” των δορυφόρων τη 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
 - **HTDOP** (*Horizontal & Time DOP – Οριζόντιας θέσης και χρόνου DOP*)
 - Περιλαμβάνει γεωγραφικό πλάτος και μήκος και χρόνο

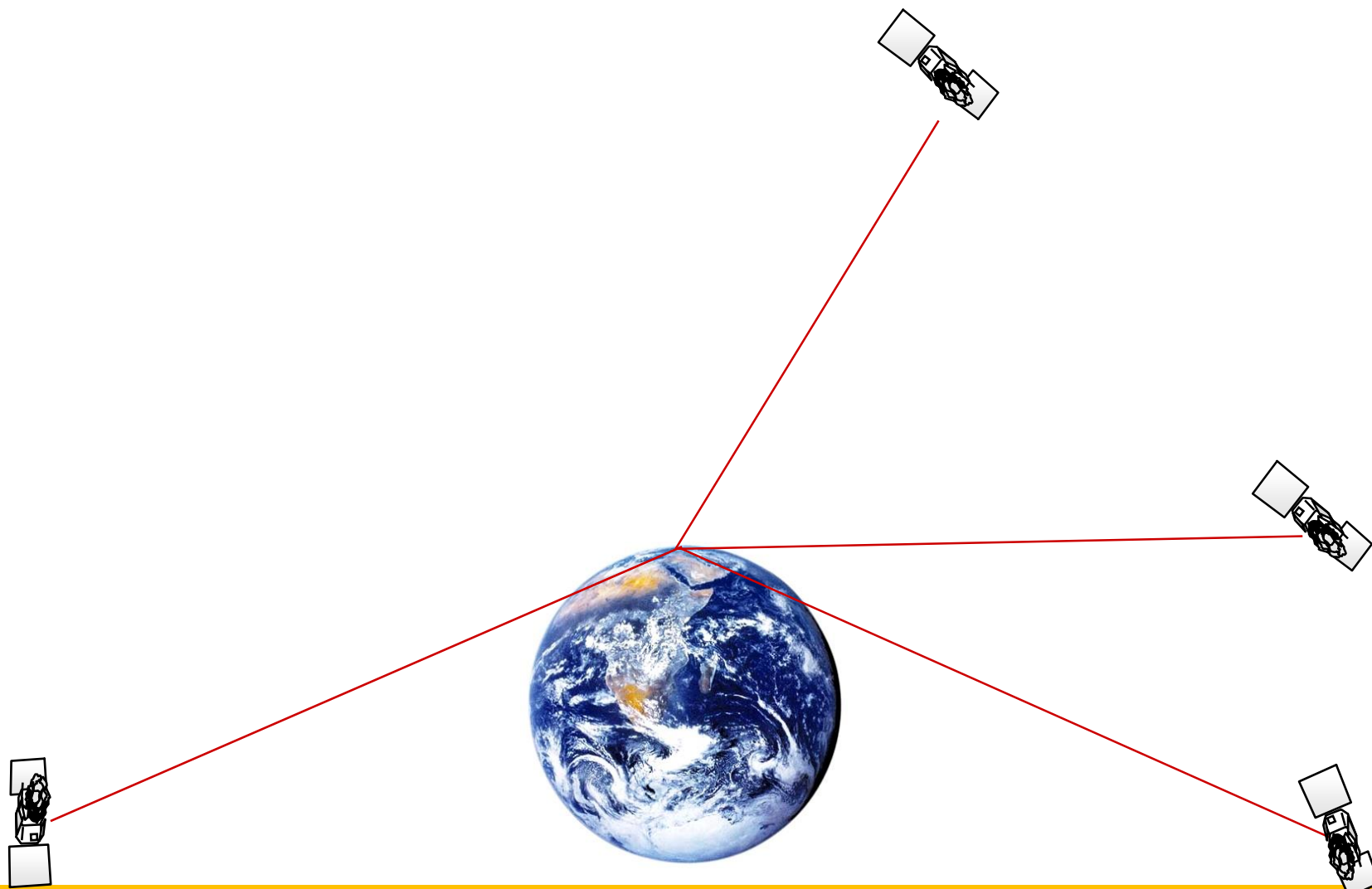
“Καλό” GDOP



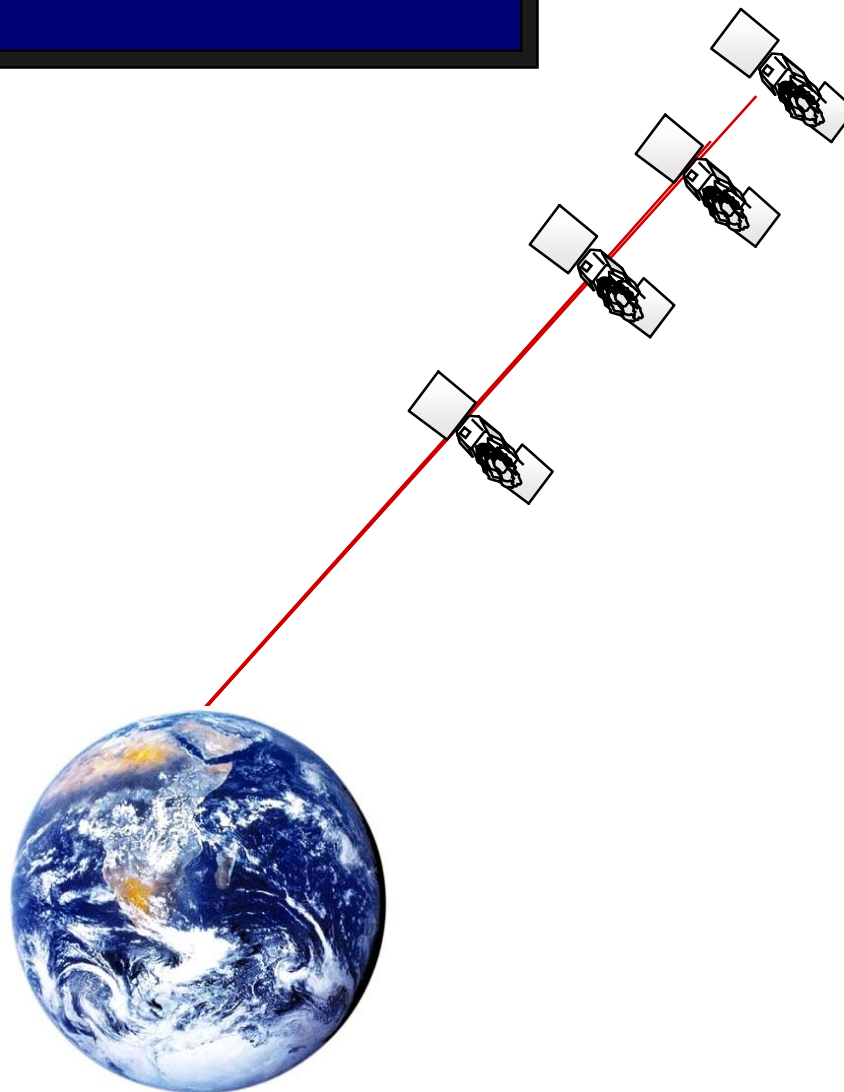
“Κακό” GDOP I



“Κακό” GDOP II



“Κακό” GDOP III



GDOP (Geometric DOP – Γεωμετρικό DOP)

Έχνος αβεβαιοτήτων στις συντεταγμένες της θέσης και τη διόρθωση του χρονομέτρου του δέκτη

(Περιλαμβάνει γεωγραφικό πλάτος, μήκος, υψόμετρο ή τις αντίστοιχες καρτεσιανές συν/νες και χρόνο)

$$GDOP = \pm \sqrt{C_{xx} + C_{yy} + C_{zz} + C_{dTdT}}$$

PDOP (*Position DOP* – Θέσης και υψομέτρου DOP)

Έχνος αβεβαιοτήτων στις συντεταγμένες της θέσης
(Περιλαμβάνει γεωγραφικό πλάτος, μήκος, υψόμετρο ή τις αντίστοιχες καρτεσιανές συν/νες)

$$PDOP = \pm \sqrt{C_{xx} + C_{yy} + C_{zz}}$$

TDOP (*Time DOP – Χρόνου DOP*)

Έχνος αβεβαιοτήτων στη διόρθωση του χρονομέτρου του δέκτη

(Περιλαμβάνει μόνο χρόνο)

$$TDOP = \pm \sqrt{C_{dTdT}}$$

Γεωμετρική εκτίμηση ακρίβειας – Dilution of Precision (DOP)

- Τα GDOP, PDOP και TDOP αναφέρονται στο παγκόσμιο γεωκεντρικό σύστημα αναφοράς που χρησιμοποιείται από το GPS δηλαδή στο WGS84
- Προκειμένου να υπολογίσουμε τα DOP της οριζόντιας και της κατακόρυφης θέσης πρέπει να πραγματοποιήσουμε ένα μετασχηματισμό συντεταγμένων από το παγκόσμιο σύστημα αναφοράς σε ένα τοποκεντρικό σύστημα που θα έχει ως κέντρο το σημείο μέτρησης
- Αυτό γίνεται με τον πολλαπλασιασμό του πίνακα μεταβλητοτήτων-συμμεταβλητοτήτων με έναν πίνακα στροφής ώστε να μεταφερθούμε σε ένα επίπεδο εφαπτόμενο του σημείου παρατήρησης. Αυτός ο πίνακας στροφής R είναι

$$R = \begin{bmatrix} -\sin \phi \cos \lambda & -\sin \phi \sin \lambda & \cos \phi \\ -\sin \lambda & \cos \lambda & 0 \\ \cos \phi \cos \lambda & \cos \phi \sin \lambda & \sin \phi \end{bmatrix}$$

Όπου ϕ και λ είναι το γεωγραφικό πλάτος και μήκος του σταθμού αντίστοιχα

$$\mathbf{C}_{\hat{\mathbf{x}}_L} = \mathbf{R}\mathbf{C}_{\hat{\mathbf{x}}}\mathbf{R}^T = \begin{bmatrix} C_{xLxL} & 0 & 0 \\ 0 & C_{yLyL} & 0 \\ 0 & 0 & C_{zLzL} \end{bmatrix}$$

Ενδιαφερόμαστε μόνο για τις οριζόντιες και κατακόρυφες συντεταγμένες, γι' αυτό απουσιάζουν τα στοιχεία για τον χρόνο. Ο πίνακας \mathbf{R} μπορεί να γραφτεί και σε πιο γενική μορφή:

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} -\sin \phi \cos \lambda & -\sin \phi \sin \lambda & \cos \phi & 0 \\ -\sin \lambda & \cos \lambda & 0 & 0 \\ \cos \phi \cos \lambda & \cos \phi \sin \lambda & \sin \phi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

HDOP (*Horizontal DOP – Οριζόντιας Θέσης DOP*)

Έχνος αβεβαιοτήτων στις οριζόντιες συντεταγμένες της θέσης

(Περιλαμβάνει γεωγραφικό πλάτος και μήκος ή τις αντίστοιχες οριζόντιες καρτεσιανές συν/νες)

$$HDOP = \pm \sqrt{C_{xLxL} + C_{yLyL}}$$

VDOP (*Vertical DOP – Υψομέτρου DOP*)

Έχνος αβεβαιοτήτων στο υψόμετρο της θέσης
(Περιλαμβάνει μόνο το υψόμετρο)

$$VDOP = \pm \sqrt{C_{zLzL}}$$

Ποιές τιμές του DOP είναι επιθυμητές;

Όταν το DOP λάβει τιμές μεγαλύτερες από **8** τότε η γεωμετρία του συστήματος δεν θεωρείται καλή για τον ασφαλή προσδιορισμό θέσης.

Στην πράξη, οι τιμή που είναι μέσα στα αποδεκτά πλαίσια δεν ξεπερνάει το **6**.

Σας δίνεται ο πίνακας σχεδιασμού των κανονικών εξισώσεων A και ότι ο πίνακας βαρών P είναι ο μοναδιαίος πίνακας I . Να βρείτε τις τιμές για τα διάφορα γεωμετρικά μέτρα ακρίβειας.

$$A = \begin{bmatrix} -0.049956 & -0.523935 & 0.850292 & -1 \\ -0.664364 & 0.412568 & -0.623224 & -1 \\ 0.146209 & -0.804335 & -0.575906 & -1 \\ 0.486255 & -0.161806 & -0.858705 & -1 \end{bmatrix}$$

Τί σημαίνει ότι ο πίνακας βαρών P είναι ο μοναδιαίος πίνακας I ;

$$P = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Παράδειγμα υπολογισμού DOP)

$$\mathbf{C}_{\hat{\mathbf{x}}} = (\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^{-1} = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \quad \mathbf{C}_{\hat{\mathbf{x}}_L} = \mathbf{R} \mathbf{C}_{\hat{\mathbf{x}}} \mathbf{R}^T$$

$$\mathbf{A}^T \mathbf{A} = \begin{bmatrix} 2.0000 & 0.2871 & 0.9244 & 0.3303 \\ 0.2871 & 2.0000 & 0.9299 & 1.1454 \\ 0.9244 & 0.9299 & 2.0000 & 1.6958 \\ 0.3303 & 1.1454 & 1.6958 & 2.0000 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{C}_{\hat{\mathbf{x}}} = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} = \begin{bmatrix} 0.8395 & -0.0909 & -0.9688 & 0.7348 \\ -0.0909 & 0.7555 & 0.1595 & -0.5529 \\ -0.9688 & 0.1595 & 2.9009 & -2.3910 \\ 0.7348 & -0.5529 & -2.3910 & 2.7226 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{GDOP} = \sqrt{C_{xx} + C_{yy} + C_{zz} + C_{dTdT}} = \pm 2.8284 \text{ m}$$

$$\mathbf{PDOP} = \sqrt{C_{xx} + C_{yy} + C_{zz}} = \pm 2.4495 \text{ m}$$

$$\mathbf{TDOP} = \sqrt{C_{dTdT}} = \pm 1.4142 \text{ m} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \mathbf{TDOP} = \pm 4.714 * 10^{-9} \text{ s} \Rightarrow \mathbf{TDOP} = \pm 4.714 \text{ ns}$$

Παράδειγμα υπολογισμού DOP)

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} -0.433012702 & 0.353553391 & 0.707106781 \\ 0.5 & -0.866025404 & 0 \\ -0.612372436 & -0.353553391 & 0.707106781 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{C}_{\hat{x}L} = \begin{bmatrix} 2.4032 & -0.9034 & 2.3006 \\ -0.9034 & 0.8552 & -0.4980 \\ 2.3006 & -0.4980 & 2.5797 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{HDOP} = \sqrt{C_{xLxL} + C_{yLyL}} = \pm 1.8051 \text{ m}$$

$$\mathbf{VDOP} = \sqrt{C_{zLzL}} = \pm 1.6001 \text{ m}$$

Παράδειγμα υπολογισμού DOP)

Σας δίνεται ο πίνακας σχεδιασμού των κανονικών εξισώσεων A και ότι οι παρατηρήσεις έγιναν με ακρίβεια ± 10 cm. Να βρείτε τις τιμές για τα διάφορα γεωμετρικά μέτρα ακρίβειας. ($\varphi = 45^\circ$ και $\lambda = 210^\circ$)

$$A = \begin{bmatrix} -0.049956 & -0.523935 & 0.850292 & -1 \\ -0.664364 & 0.412568 & -0.623224 & -1 \\ 0.146209 & -0.804335 & -0.575906 & -1 \\ 0.486255 & -0.161806 & -0.858705 & -1 \end{bmatrix}$$

$$P = \begin{bmatrix} 100 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 100 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 100 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 100 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 100 \end{bmatrix}$$

Παράδειγμα υπολογισμού DOP)

$$\mathbf{C}_{\hat{\mathbf{x}}} = \left(\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A}\right)^{-1} = \left(\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A}\right)^{-1}$$

$$\mathbf{C}_{\hat{\mathbf{x}}_L} = \mathbf{R} \mathbf{C}_{\hat{\mathbf{x}}} \mathbf{R}^T$$

$$\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A} = \begin{bmatrix} 70.16962365 & -44.42019383 & -13.01814298 & 8.185617 \\ -44.42019383 & 111.7856101 & -10.04543382 & 107.7508 \\ -13.01814298 & -10.04543382 & 218.0447662 & 120.7543 \\ 8.185617375 & 107.7507937 & 120.7542917 & 400 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{C}_{\hat{\mathbf{x}}} = \mathbf{N}^{-1} = \begin{bmatrix} 0.029432024 & 0.020324039 & 0.007275442 & -0.008273 \\ 0.020324039 & 0.027774897 & 0.008245406 & -0.010387 \\ 0.007275442 & 0.008245403 & 0.008060596 & -0.004803 \\ -0.008273479 & -0.010386999 & -0.004803386 & 0.006917 \end{bmatrix}$$

Παράδειγμα υπολογισμού DOP)

$$\mathbf{GDOP} = \sqrt{0.029432024 + 0.027774897 + 0.008060596 + 0.006717} \Rightarrow$$
$$\Rightarrow \mathbf{GDOP} = \pm 0.2686 \text{ m}$$

$$\mathbf{PDOP} = \sqrt{0.029432024 + 0.027774897 + 0.008060596} \Rightarrow$$
$$\mathbf{PDOP} = \pm 0.2554 \text{ m}$$

$$\mathbf{TDOP} = \sqrt{0.008060596} = \pm 0.08317 \text{ m} \Rightarrow$$
$$\Rightarrow \mathbf{TDOP} = \pm 2.7723333333 * 10^{-10} \text{ s} \Rightarrow$$
$$\Rightarrow \mathbf{TDOP} = \pm 0.27723333333 \text{ ns}$$

Παράδειγμα υπολογισμού DOP)

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} -0.433012702 & 0.353553391 & 0.707106781 \\ 0.5 & -0.866025404 & 0 \\ -0.612372436 & -0.353553391 & 0.707106781 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{C}_{\hat{x}L} = \begin{bmatrix} 0.006465145 & -0.00613918 & 0.001695967 \\ -0.00613918 & 0.010588045 & 0.004201244 \\ 0.001695967 & 0.004201244 & 0.016916317 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{HDOP} = \sqrt{0.006465145 + 0.010588045} = \pm 0.1306 \text{ m}$$

$$\mathbf{PDOP} = \sqrt{0.016916317} = \pm 0.1301 \text{ m}$$