



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΩΤΕΡΗΣ ΚΑΙ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗΣ ΓΕΩΔΑΙΣΙΑΣ

**ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΩΝ GNSS
ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΜΕ ΤΟ ΕΛΕΥΘΕΡΟ
ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ RTKLIB**



**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ ΠΑΠΑΔΑΚΗΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:
ΔΕΛΗΚΑΡΑΟΓΛΟΥ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΠ**

ΑΘΗΝΑ, ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2017



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΩΤΕΡΗΣ ΚΑΙ ΔΟΥΡΥΦΟΡΙΚΗΣ ΓΕΩΔΑΙΣΙΑΣ

**ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΩΝ GNSS
ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΜΕ ΤΟ ΕΛΕΥΘΕΡΟ
ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ RTKLIB**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ ΠΑΠΑΔΑΚΗΣ**

Επιβλέπων: Δεληκαράογλου Δημήτριος
Καθηγητής ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή:

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

.....

.....

.....

Δημήτριος Δεληκαράογλου
Καθηγητής ΕΜΠ

Ευαγγελία Λάμπρου
Αναπλ. Καθηγήτρια ΕΜΠ

Γεώργιος Πανταζής
Αναπλ. Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Δεκέμβριος 2017

(Υπογραφή)

.....

ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ ΠΑΠΑΔΑΚΗΣ

Διπλωματούχος Αγρονόμος και Τοπογράφος Μηχανικός Ε.Μ.Π

Copyright ©, Εμμανουήλ Παπαδάκης, 2017

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved

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

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

«Αν δεν μπορείς να το εξηγήσεις με απλά λόγια,
ούτε εσύ ο ίδιος το έχεις καταλάβει πολύ καλά»

Albert Einstein, 1879-1955

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Καταρχάς θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή της Σ.Α.Τ.Μ του Ε.Μ.Π. κ. Δημήτρη Δεληκαράογλου που μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με αυτό το πρωτοποριακό θέμα της Δορυφορικής Γεωδαισίας, το οποίο με έκανε να εμπλουτίσω τις γνώσεις πάνω σε αυτό το τόσο ενδιαφέρον αντικείμενο. Με τις ορθές και καίριες κατευθύνσεις και συμβουλές του δημιουργήθηκε όχι μόνο η κεντρική ιδέα αλλά και διάφορες ενδιαφέρουσες πτυχές της εργασίας για την εξέλιξη της. Πάντα με τις παραινέσεις του βοήθησε στο να ψάχνω και να ανακαλύπτω τη γνώση από μόνος μου, τακτική που μου γίνεται μάθημα ζωής.

Ακόμη θα ήθελα να εκφράσω τις ιδιαίτερες ευχαριστίες μου στους δύο καθηγητές μου και Αναπληρωτές Καθηγητές της Σ.Α.Τ.Μ του Ε.Μ.Π κα. Ευαγγελία Λάμπρου και κ. Γιώργο Πανταζή για την καθοδήγηση, τις οδηγίες και τις υποδείξεις τους καθ όλη τη διάρκεια διεκπεραίωσης της εργασίας ανά πάσα χρονική στιγμή. Τους ευχαριστώ όχι μόνο για την πολύτιμη βοήθειά τους στην εκπλήρωση της παρούσας εργασίας αλλά και γενικότερα στην φοιτητική μου πορεία μέσα από τις διαλέξεις και τα μαθήματά τους, δίνοντάς μου παραδείγματα αφοσίωσης και εξειδίκευσης στην δουλειά που θα με ακολουθούν για όλη μου τη ζωή.

Επίσης σε αυτό το ευχαριστήριο σημείωμα, της εργασίας που αποτελεί το κύκνειο άσμα της προπτυχιακής φοιτητικής μου ζωής, θα ήθελα να ευχαριστήσω το σύνολο των καθηγητών μου στα εργαστήρια Γενικής και Ανώτερης Γεωδαισίας, με τους οποίους και συνεργάστηκα παραπάνω, όχι μόνο για τις γνώσεις που μου παρείχαν αλλά κυρίως για τον τρόπο σκέψης και αντιμετώπισης προβλημάτων πάνω στο αντικείμενο και κατ επέκταση στη ζωή.

Από τις ευχαριστίες μου δεν θα μπορούσα να παραλείψω τον φίλο, συμφοιτητή και συνοδοιπόρο μου καθ όλη τη διάρκεια της φοιτητικής μου ζωής Στέφανο Μπατμάνογλου, που με την άψογη συνεργασία μας καταφέραμε να ολοκληρώσουμε γενικότερα τις σπουδές μας.

Επιπλέον ευχαριστώ τους Δημήτρη Λιώλη, Στάθη Δασκαλόπουλο και Σταύρο Κυδώνη για τη πολύτιμη βοήθεια τους στην διεξαγωγή των πειραμάτων, τα οποία χωρίς αυτούς δεν θα μπορούσαν να πραγματοποιηθούν.

Σε αυτό το σημείο δράττομαι της ευκαιρίας να ευχαριστήσω εγκάρδια

για πρώτη φορά δημόσια τους γονείς μου για τις θυσίες και την στήριξη τους σε όλη τη μαθητική μου ζωή καθώς επίσης και για την προσήλωση τους στο να εκπληρώσω τις σπουδές και τα όνειρα μου.

Τέλος δεν θα ήθελα να παραλείψω από τις ευχαριστίες μου το στενό φιλικό περιβάλλον μου και τη Μένια για την αφανή αλλά πάρα πολύ σημαντική ψυχολογική ισορροπία και υποστήριξη που μου προσέφεραν.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η σημερινή εποχή χαρακτηρίζεται από την ιλιγγιώδη εξέλιξη στο χώρο της πληροφορικής και του προγραμματισμού, εργαλεία απαραίτητα για την πρόοδο των επιστημών. Πλέον δύναται κάθε χρήστης να επεξεργάζεται και να αναλύει υπέρογκα δεδομένα χρησιμοποιώντας τους δικούς του αλγορίθμους και μεθοδολογίες, τα οποία μπορεί να μοιραστεί με εκατομμύρια έτερους χρήστες μέσω διαδικτύου, ακολουθώντας την παγκόσμια τάση και απαίτηση για ελεύθερα λογισμικά και δεδομένα.

Μια τέτοια καινοτομία στο χώρο της Δορυφορικής Γεωδαισίας αποτελεί το λογισμικό RTKLIB, το οποίο έχει τη δυνατότητα επεξεργασίας δορυφορικών παρατηρήσεων σε πραγματικό χρόνο και σε εκ των υστέρων επεξεργασία. Από το 2006, έτος κατά το οποίο δόθηκε σε δημόσια πρόσβαση, χιλιάδες χρήστες έχουν εκμεταλλευτεί τις δυνατότητές του εξάγοντας τα αποτελέσματά τους με αξιοπιστία, χωρίς την ανάγκη να καταφεύγουν σε εμπορικά λογισμικά που σε άλλες περιπτώσεις υστερούν ως προς τις επιθυμητές δυνατότητες ανάλυσης δεδομένων.

Σε αυτό το σημείο εγείρονται εύλογα ερωτήματα σχετικά με το εύρος των δυνατοτήτων και επιπέδου αξιοπιστίας τέτοιων ελεύθερων λογισμικών από τη στιγμή που είναι άγνωστη η προέλευση τους, ενώ δεν υπάρχει κάποιο φυσικό πρόσωπο ή εταιρεία που να φέρει την ευθύνη για τη λειτουργία τους. Σε πρώτο βαθμό μπορεί να υποστηριχθεί πως ο κάθε χρήστης μπορεί να ελέγξει τον ανοιχτό κώδικα του λογισμικού και να αξιολογήσει τις πραγματικές του δυνατότητες. Όμως είναι εξαιρετικά δύσκολο ο καθένας να έχει αυτές τις εξειδικευμένες γνώσεις τόσο σε προγραμματισμό όσο και σε Δορυφορική Γεωδαισία για να πραγματοποιήσει αυτόν τον έλεγχο, στην περίπτωση του αναφερόμενου λογισμικού RTKLIB. Εδώ έρχονται τα διάφορα εκπαιδευτικά ιδρύματα, πανεπιστήμια και επιστημονικές κοινότητες, τα οποία εκπληρώνοντας τον σκοπό της ύπαρξης τους, διεξάγουν αναλυτικά πειράματα και έρευνες για να παρέχουν δημόσια τις απαραίτητες γνώσεις και συμπεράσματα με βάση ένα αυστηρά επιστημονικό υπόβαθρο, διαφωτίζοντας υπεύθυνα τους απανταχού χρήστες.

Μια τέτοια προσπάθεια αποτελεί η παρούσα εργασία αξιολογώντας τις δυνατότητες του λογισμικού για κινηματικές τεχνικές δεκτών GNSS που λαμβάνουν χώρα στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου και εξάγονται κάποια χρήσιμα συμπεράσματα για τη λειτουργία του.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	I
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	III
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	V
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ	VII
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ	VIII
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ	IX
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΧΑΡΤΩΝ	X
ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ	XI
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	XIII
ABSTRACT	XVII
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΑΡΧΕΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΟΥ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ

1.1 Γενικά στοιχεία	3
1.2 Λειτουργικό σύστημα GPS	4
1.2.1 Το σύστημα αναφοράς του GPS	5
1.2.2 Τα υπόλοιπα GNSS	6
1.3 Αρχές λειτουργίας ενός δορυφορικού συστήματος	7
1.4 Σφάλματα και Διορθώσεις μετρήσεων	9
1.4.1 Σφάλματα δορυφορικών τροχιών και χρονομέτρων	9
1.4.2 Ιονοσφαιρικό και Τροποσφαιρικό σφάλμα	11
1.5 Μέθοδοι δορυφορικού εντοπισμού	11
1.5.1 Κινηματικός εντοπισμός	11
1.5.2 Ημικινηματικός προσδιορισμός θέσης	12
1.5.3 Υψηλής ακρίβειας κινηματικός προσδιορισμός θέσης	12

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

2.1 Τύπος των δεδομένων επεξεργασίας	15
2.1.2 Μορφή RINEX αρχείου	16
2.2 Το ελεύθερο λογισμικό TEQC	16
2.2.1 Λειτουργίες και εντολές TEQC	17
2.3 Το ελεύθερο λογισμικό RTKLIB	19
2.3.1 Δομή RTKLIB	19
2.3.2 Απόκτηση αρχείων εισόδου των παραμέτρων	25

2.3.3 Αυτοματισμοί στο περιβάλλον εργασίας του RTKLIB	26
2.4 Η Υπηρεσία CSRS-PPP	27

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ

3.1 Εξοπλισμός και παρελκόμενα	31
3.2 Αναλυτική περιγραφή των διαδρομών	32

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1 Γενικά	39
4.2 Επίλυση RTKLIB με τη μέθοδο PPP-Kinematic	39
4.2.1 Ανάλυση εκάστοτε διαδρομής της μεθόδου PPP-Kinematic	40
4.3 Επίλυση RTKLIB με τη μέθοδο Kinematic	58
4.3.1 Ανάλυση διαδρομών με τη μέθοδο Kinematic	59
4.4 Ανάλυση διαδρομών με χρήση της υπηρεσίας CSRS-PPP	68
4.5 Σημεία στάσης κατά τη διάρκεια των διαδρομών	75
4.5.1 Συντεταγμένες σημείων εκάστοτε διαδρομής	79

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

5.1 Γενικά	85
5.2 Σύγκριση μεθόδων PPP-Kinematic – Kinematic στο RTKLIB	85
5.3 Σύγκριση μεθόδων PPP-Kinematic σε RTKLIB και CSRS	91
5.4 Σύγκριση Kinematic στο RTKLIB – CSRS-PPP	100
5.5 Σύγκριση των σταθερών σημείων των κινηματικών διαδρομών	101

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

6.1 Πλεονεκτήματα- Μειονεκτήματα RTKLIB	107
6.2 Συμπεράσματα – Προτάσεις	114
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	117

ΙΣΤΟΓΡΑΦΙΑ	119
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1: Κώδικες MATLAB	121
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2: Εικόνες στατικών σημείων διαδρομών	127

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 4.1 Αριθμός παρατηρούμενων δορυφόρων κατά τη διάρκεια προσπέλασης από το υπόστεγο	47
Διάγραμμα 4.2 Μέγεθος τυπικών σφαλμάτων north, east, up κατά τη κίνηση του δέκτη κάτω από το υπόστεγο (PPP-Kinematic)	47
Διάγραμμα 4.3 Μέγεθος τυπικών σφαλμάτων north, east, up κατά τη κίνηση του δέκτη κάτω από το υπόστεγο (Kinematic)	61
Διάγραμμα 4.4 Προσδιορισμός φ με τις δύο μεθόδους από το RTKLIB και CSRS για τον δέκτη 04280 στο παλαιό κτήριο της ΣΕΜΦΕ	64
Διάγραμμα 4.5 Προσδιορισμός λ με τις δύο μεθόδους από το RTKLIB και CSRS για τον δέκτη 04280 στο παλαιό κτήριο της ΣΕΜΦΕ	65
Διάγραμμα 4.6 Προσδιορισμός h με τις δύο μεθόδους από το RTKLIB και CSRS για τον δέκτη 04280 στο παλαιό κτήριο της ΣΕΜΦΕ	65
Διάγραμμα 4.7: Αριθμός δορυφόρων & Ποσοστό επανέναρξης ασαφειών φάσης (04626)	69
Διάγραμμα 4.8: Ασάφειες φάσης ψευδοτυχαίου θορύβου (04626)	69
Διάγραμμα 4.9: Υπόλοιπα φέρουσων συχνοτήτων (04626)	70
Διάγραμμα 4.10: Υπόλοιπα ψευδοτυχαίου θορύβου (04626)	70
Διάγραμμα 4.11: Αριθμός δορυφόρων & Ποσοστό επανέναρξης ασαφειών φάσης (04280)	71
Διάγραμμα 4.12: Ασάφειες φάσης ψευδοτυχαίου θορύβου (04280)	72
Διάγραμμα 4.13: Υπόλοιπα φέρουσων συχνοτήτων (04280)	72
Διάγραμμα 4.14: Υπόλοιπα ψευδοτυχαίου θορύβου (04280)	73
Διάγραμμα 4.15: Αριθμός δορυφόρων & Ποσοστό επανέναρξης ασαφειών φάσης (04592)	73
Διάγραμμα 4.16: Ασάφειες φάσης ψευδοτυχαίου θορύβου (04592)	74
Διάγραμμα 4.17: Υπόλοιπα φέρουσων συχνοτήτων (04592)	74
Διάγραμμα 4.18: Υπόλοιπα ψευδοτυχαίου θορύβου (04592)	75
Διάγραμμα 5.1 Μέσοι όροι υπολοίπων Δφ, Δλ, Δh για τις τρεις διαδρομές	87
Διάγραμμα 5.2 Διασπορά υπολοίπων Δφ, Δλ Δh δέκτη 04626	88

Διάγραμμα 5.3 Διασπορά υπολοίπων Δφ, Δλ Δh δέκτη 04280	88
Διάγραμμα 5.4 Διασπορά υπολοίπων Δφ, Δλ Δh δέκτη 04592	89
Διάγραμμα 5.5 Μέσοι όροι υπολοίπων Δφ, Δλ, Δh για τις τρεις διαδρομές στα τρία χρονικά βήματα	93
Διάγραμμα 5.6 Διακύμανση ομόλογων στιγμάτων Δφ, Δλ, Δh πορεία δέκτη 04626, με βήμα δειγματοληψίας 10sec	97
Διάγραμμα 5.7 Διακύμανση ομόλογων στιγμάτων Δφ, Δλ,Δh πορεία δέκτη 04280, με βήμα δειγματοληψίας 10sec	98
Διάγραμμα 5.8 Διακύμανση ομόλογων στιγμάτων Δφ, Δλ,Δh πορεία δέκτη 04592, με βήμα δειγματοληψίας 10sec	99
Διάγραμμα 5.9 Μέσοι όροι υπολοίπων Δφ, Δλ, Δh για τις τρεις διαδρομές	101

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1: Ένα τυπικό ελλειψοειδές εκ περιστροφής	6
Εικόνα 1.2: Παρατηρήσεις σε τουλάχιστον τέσσερις δορυφόρους	7
Εικόνα 2.1: Εφαρμογή εντολής <code>teqc +meta</code>	18
Εικόνα 2.2: Αρχεία εισαγωγής προς επεξεργασία RTKPOST κεντρικό μενού	21
Εικόνα 2.3: Παράμετροι επεξεργασίας των δεδομένων	22
Εικόνα 2.4: Επιπλέον επιλογές παραμέτρων (settings 2)	23
Εικόνα 2.5: Επιλογή αρχείων κεραιών και θέσης σταθμού αναφοράς	24
Εικόνα 2.6: Εισαγωγή αρχείων κεραιών και παραμέτρων σφαλμάτων και περιστροφής της Γης	24
Εικόνα 2.7: Μενού επιλογής αρχείου CSRC-PPP	30
Εικόνα 3.1: Λυχνίες ένδειξης δέκτη JAVAD TRIUMPH	32
Εικόνα 3.2: Σημείο εκκίνησης και τερματισμού Δ2	33
Εικόνα 3.3 Δέκτης Base στο βάθρο κτηρίου Λαμπαδαρίου	38
Εικόνα 4.1: Παύση λήψης στίγματος	42
Εικόνα 4.2: Διακοπή λήψης παρατηρήσεων στο νέο κτήριο ΣΕΜΦΕ	43
Εικόνα 4.3: Σφάλματα της πορείας στη στροφή και στην ανηφόρα του περιμετρικού δρόμου της Πολυτεχνειούπολης	44
Εικόνα 4.4: Σφάλματα στο κτήριο Υδραυλικών έργων	45
Εικόνα 4.5: Σφάλματα κάτω από τη γέφυρα της ΣΑΤΜ	46

Εικόνα 4.6: Σφάλματα σε συστάδα δέντρων	48
Εικόνα 4.7: Σφάλματα στο κτήριο Ναυπηγών	49
Εικόνα 4.8: Σφάλματα στο ΣΗΜΕΙΟ 5 προς την κεντρική πλατεία	51
Εικόνα 4.9: Σφάλματα μπροστά από κτήρια ΣΗΜΜΥ	52
Εικόνα 4.10: Σφάλματα μπροστά από το κτήριο Διοίκησης	53
Εικόνα 4.11: Σφάλματα μπροστά από παλαιό το κτήριο της ΣΕΜΦΕ	54
Εικόνα 4.12: Σφάλματα κατά την επιστροφή στο σημείο Δ2	55
Εικόνα 4.13: Σφάλματα κοντά στη ΣΕΜΦΕ προς σημείο Ε	56
Εικόνα 4.14: Σφάλματα κοντά στη ΣΑΤΜ	57
Εικόνα 4.15 Διαδρομή δέκτη 04280 αποτυπωμένη από τις τρεις μεθόδους μπροστά από τη ΣΕΜΦΕ	
Εικόνα 5.1: Διαφορά στη θέση του κοινού σημείου εκκίνησης και τερματισμού Δ2 μεταξύ των δύο μεθόδων επίλυσης PPP-Kinematic (αριστερά) και Kinematic (δεξιά), διαδρομή δέκτη 04626	66 90
Εικόνα 5.2: Διαφορά στη θέση του κοινού σημείου εκκίνησης και τερματισμού Δ2 μεταξύ των δύο μεθόδων επίλυσης PPP-Kinematic (αριστερά) και Kinematic (δεξιά), διαδρομή δέκτη 04280	90
Εικόνα 5.3: Διαφορά στη θέση του κοινού σημείου εκκίνησης και τερματισμού Δ2 μεταξύ των δύο μεθόδων επίλυσης PPP-Kinematic (αριστερά) και Kinematic (δεξιά), διαδρομή δέκτη 04592	90

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 3.1: Δέκτες και ύψη κεραιών	32
Πίνακας 4.1: Σημεία διαδρομής δέκτη 04626 σε γεωδαιτικές συντεταγμένες από την CSRS-PPP με τις αντίστοιχες τυπικές αποκλίσεις	79
Πίνακας 4.2: Σημεία διαδρομής δέκτη 04626 σε γεωδαιτικές συντεταγμένες από το RTKLIB με τις αντίστοιχες τυπικές αποκλίσεις	80
Πίνακας 4.3: Χρόνοι παραμονής σε κάθε σημείο δέκτης 04626	80
Πίνακας 4.4: Σημεία διαδρομής δέκτη 04280 σε γεωδαιτικές συντεταγμένες από την CSRS-PPP με τις αντίστοιχες τυπικές αποκλίσεις	81
Πίνακας 4.5: Σημεία διαδρομής δέκτη 04280 σε γεωδαιτικές συντεταγμένες από το RTKLIB με τις αντίστοιχες τυπικές αποκλίσεις	81
Πίνακας 4.6: Χρόνοι παραμονής σε κάθε σημείο δέκτης 04280	82

Πίνακας 4.7:Σημεία διαδρομής δέκτη 04592 σε γεωδαιτικές συντεταγμένες από την CSRS-PPP με τις αντίστοιχες τυπικές αποκλίσεις	82
Πίνακας 4.8:Σημεία διαδρομής δέκτη 04592 σε γεωδαιτικές συντεταγμένες από το RTKLIB με τις αντίστοιχες τυπικές αποκλίσεις	83
Πίνακας 4.9: Χρόνοι παραμονής σε κάθε σημείο δέκτης 04592	83
Πίνακας 5.1: Μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις υπολοίπων των διαδρομών (04626)	86
Πίνακας 5.2: Μέγιστα και ελάχιστα υπόλοιπα διαδρομών (04626)	87
Πίνακας 5.3: Μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις υπολοίπων των διαδρομών ανά βήμα δειγματοληψίας	95
Πίνακας 5.4: Μέγιστα και ελάχιστα υπόλοιπα διαδρομών ανά βήμα δειγματοληψίας	95
Πίνακας 5.5: Μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις υπολοίπων των διαδρομών	100
Πίνακας 5.6: Μέγιστα και ελάχιστα υπόλοιπα διαδρομών ανά βήμα δειγματοληψίας	100
Πίνακας 5.7: Διαφορές γεωδαιτικών συντεταγμένων και τυπικά σφάλματα διαφορών δέκτη 04626	102
Πίνακας 5.8: Διαφορές γεωδαιτικών συντεταγμένων και τυπικά σφάλματα διαφορών δέκτη 04280	103
Πίνακας 5.9: Διαφορές γεωδαιτικών συντεταγμένων και τυπικά σφάλματα διαφορών δέκτη 04592	104
Πίνακας 6.1 Μέσοι όροι υπολοίπων μεταξύ RTKLIB και CSRS με τη μέθοδο PPP-Kinematic ανά τα τρία βήματα δειγματοληψίας	109
Πίνακας 6.2 Μέσοι όροι υπολοίπων μεταξύ RTKLIB με τη μέθοδο Kinematic και CSRS-PPP	110
Πίνακας 6.3 Μέσοι όροι υπολοίπων μεταξύ μεθόδων PPP-Kinematic και Kinematic στο RTKLIB	111
Πίνακας 6.4 Ποσοστό εσφαλμένων στιγμάτων στις δύο μεθόδους επίλυσης στο RTKLIB	111

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΧΑΡΤΩΝ

Χάρτης 3.1 Κινηματική πορεία δέκτη 04626 και στάσεις	34
Χάρτης 3.2 Κινηματική πορεία δέκτη 04280 και στάσεις	36
Χάρτης 3.3 Κινηματική πορεία δέκτη 04592 και στάσεις	37

ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

ΣΗΜΜΥ	Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών
ΣΑΤΜ	Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών
ΣΕΜΦΕ	Σχολή Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών
Φ.Γ.Ε	Φυσική Γήινη Επιφάνεια
ANTEX	ANTEEnna EXchange format
BINEX	BINary EXchange format
CIO	Conventional International Origin
CLK	ClocK
CSRS-PPP	Canadian Spatial Reference System – Precise Point Position
DCB	Differential Code Biases
ESA	European Space Academy
GLONASS	GLObal Navigation Satellite System
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPST	Global Navigation Satellite Time
IGS	International GNSS Service
IRNSS	Indian Regional Navigation Satellite System
ITRF	International Terrestrial Reference Frame
KML	Keyhole Markup Language

NAD 83	North American Datum 1983
NAVSTAR GPS	NAVigation Satellite Timing And Ranging, Global Positioning System
NRC	Natural Resources Canada
NTRIP	Network Transport of RTCM via Internet Protocol
PPP	Precise Point Positioning
PPP-Kinematic	Precise Point Positioning Kinematic
PRN	Pseudo Range Noise
QZSS	Quasi-Zenith Satellite System
RINEX	Receiver INdependent Exchange format
RTCM	Radio Technical Commission for Maritime Services
RTKLIB	Real Time Kinematic LIBrary
SBAS	Space Based Augmentation System
TEQC	Translation Editing Quality Checking
UNIX	UNiversal Info eXchange
UTC	Universal Time Coordinated
ZIP	Zone Improvement Plan

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται τις δυνατότητες του λογισμικού RTKLIB σε πειράματα κινηματικού εντοπισμού θέσης. Οι κινηματικές τεχνικές που εξετάζονται στο RTKLIB είναι ο υψηλής ακρίβειας κινηματικός εντοπισμός θέσης (PPP-Kinematic) και ο σχετικός κινηματικός προσδιορισμός θέσης (Kinematic) οι οποίες συγκρίνονται με τα αποτελέσματα επίλυσης της Καναδικής Υπηρεσίας CSRS-PPP.

Η διάρθρωση της εργασίας εκτυλίσσεται ως εξής:

Στο **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1** αναλύονται οι θεμελιώδεις έννοιες της Δορυφορικής Γεωδαισίας προκειμένου να προσδιοριστεί με σαφήνεια το θεωρητικό υπόβαθρο της μελέτης. Παρατίθενται συνοπτικά οι τεχνικές κινηματικού εντοπισμού που εφαρμόζονται στο πείραμα ενώ γίνεται αναφορά στα βασικά στοιχεία που διέπουν τα υπάρχοντα συστήματα GNSS.

Ακολούθως στο **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2** παρουσιάζονται τα λογισμικά όπως το RTKLIB και το TEQC που χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων των πειραμάτων. Επεξηγείται με σαφήνεια η φιλοσοφία λειτουργίας και οι παροχές τους, ενώ γίνεται ιδιαίτερη αναφορά στη Natural Resources Canada η οποία παρέχει την υπηρεσία CSRS-PPP όπου τα αποτελέσματά της χρησιμοποιούνται ως σύγκριση στην επίλυση των δορυφορικών δεδομένων.

Στη συνέχεια, στο **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3** περιγράφεται εκτενώς η πειραματική εφαρμογή, οι συνθήκες διεξαγωγής του πειράματος καθώς και οι δέκτες GNSS που χρησιμοποιούνται. Επίσης εκθέτονται οι κινηματικές διαδρομές που ακολουθούνται από τους τρεις δέκτες και τα στατικά σημεία στα οποία έκαναν ολιγόλεπτες μετρήσεις.

Στο **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4** γίνεται ανάλυση των παραγόντων και των παραμέτρων που λαμβάνονται υπόψη κατά την επίλυση των παρατηρήσεων που συλλέγονται με τις επιλεγμένες κινηματικές μεθόδους. Τα λογισμικά που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία των παρατηρήσεων είναι το RTKLIB καθώς και η υπηρεσία CSRS-PPP της Natural Resources Canada. Από τις δύο υπηρεσίες προέκυψαν οι κινηματικές πορείες των διαδρομών και οι συντεταγμένες επιλεγμένων στατικών σημείων μέσα στις διαδρομές.

Οι επιλύσεις που γίνονται στο RTKLIB ήταν ο σχετικός κινηματικός εντοπισμός θέσης (Kinematic) και ο υψηλής ακρίβειας κινηματικός εντοπισμός θέσης (PPP-Kinematic) ενώ στην CSRS-PPP μόνον ο δεύτερος. Τα αποτελέσματα που εξάγονται από τις κινηματικές πορείες παρατηρούνται και ερμηνεύονται τόσο γραφικά μιας και αποτυπώνονται στην εφαρμογή Google Earth όσο και ποιοτικά αφού αναλύονται τα σφάλματα κάθε στίγματος της διαδρομής.

Όσον αφορά στα ολιγόλεπτα στατικά σημεία επιλύονται με σχετικό στατικό εντοπισμό (Static) στο RTKLIB και υψηλής ακρίβειας στατικό εντοπισμό θέσης (PPP-Static) από την CRSS-PPP. Στα στατικά σημεία δίνεται ο μέσος όρος των γεωδαιτικών συντεταγμένων (φ, λ, h) στο ITRF14 στην CSRS-PPP και στο WGS84 στο RTKLIB.

Συνοπτικά στο **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5** παρουσιάζονται εκτενώς οι συγκρίσεις για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% που πραγματοποιούνται μεταξύ των μεθόδων επίλυσης που εφαρμόζονται με το λογισμικό RTKLIB και την Καναδική CSRS-PPP. Τα αποτελέσματα των συγκρίσεων εμφανίζονται σε πίνακες ώστε να είναι εύληπτες οι διαφορές, ενώ δεν λείπουν λεπτομερή διαγράμματα που αναλύουν το σύνολο των συγκρινόμενων παρατηρήσεων.

Οι συγκρίσεις στις κινηματικές πορείες γίνονται με την εύρεση των υπολοίπων των ομόλογων σημείων από τις δύο εκάστοτε συγκρινόμενες διαδρομές. Γίνεται σύγκριση των μεθόδων σχετικού κινηματικού εντοπισμού και υψηλής ακρίβειας κινηματικού εντοπισμού στο RTKLIB για τις τρεις διαδρομές. Επιπλέον επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία για τους δύο υψηλής ακρίβειας κινηματικούς εντοπισμούς στο RTKLIB και την CSRS-PPP ανά βήμα δειγματοληψίας 1, 10 και 30 δευτερολέπτων. Τέλος λαμβάνει χώρα και η σύγκριση του σχετικού κινηματικού εντοπισμού από το RTKLIB με τον υψηλής ακρίβειας κινηματικό εντοπισμό θέσης της CSRS-PPP.

Σχετικά με τα στατικά σημεία βρίσκονται οι διαφορές των γεωδαιτικών συντεταγμένων των αντίστοιχων σημείων επιλυμένων με τις δύο διαφορετικές υπηρεσίες. Ο έλεγχος συμβατότητας των σημείων από το RTKLIB γίνεται υπολογίζοντας τη διαφορά των αντίστοιχων συντεταγμένων και συγκρίνοντας τη με τη ρίζα του αθροίσματος των τυπικών σφαλμάτων στο τετράγωνο των συντεταγμένων σε ένα τοπικό προβολικό σύστημα αναφοράς, όπου δίνεται και από τις δύο υπηρεσίες για την καλύτερη κατανόηση των μεγεθών από τον αναγνώστη.

Παρατηρείται πως τα αποτελέσματα τόσο κινηματικά όσο και στατικά συμβαδίζουν σε μεγάλο ποσοστό με αυτά του CSRS-PPP καθιστώντας το λογισμικό RTKLIB ιδιαίτερα αξιόπιστο, ακόμη και σε δυσχερείς συνθήκες μετρήσεων από τους δέκτες.

Ακόμη αναφέρονται αναλυτικά τόσο τα θετικά όσα και τα αρνητικά στοιχεία για το περιβάλλον του λογισμικού, όπως ότι είναι εξαιρετικά εύχρηστο και περιλαμβάνει προς επιλογή αρκετές παραμέτρους που όμως χρειάζονται εξειδικευμένες γνώσεις από τον χρήστη για την επιλογή τους.

Τέλος στο **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6** αξιολογείται η διαδικασία επίλυσης με το λογισμικό RTKLIB αυτή καθαυτή και εκπορεύονται θετικά αποτελέσματα τόσο για τις κινηματικές πορείες όσο και για τις στατικές μετρήσεις. Επιπλέον περιγράφονται τα συμπεράσματα που αποκομίστηκαν από την αποπεράτωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας ενώ γίνονται και ορισμένες προτάσεις για μελλοντικές εφαρμογές του αντικειμένου σε με την εκμετάλλευση των αποτελεσμάτων των δεκτών και του λογισμικού.

ABSTRACT

EVALUATION OF THE GNSS KINEMATIC POSITIONING ACCURACY BY USING FREE RTKLIB SOFTWARE

The present thesis deals with the RTKLIB capabilities in kinematic positioning experiments. The kinematic techniques PPP-Kinematic and Kinematic in RTKLIB are compared with CSRS-PPP method from Natural Resources Canada service.

The structure of the thesis is:

CHAPTER 1 analyzes the fundamental concept of satellite geodesy in order to clearly identify the theoretical background of the study. In addition, this chapter introduces the kinematic techniques which were used in the experiment and also refers the basic characteristics of the existing GNSS systems.

Next, **Chapter 2** presents software such as RTKLIB and TEQC used to extract the results of the experiments. It clearly explains their operating philosophy and benefits, and special reference is made to Natural Resources Canada, which provided the CSRS-PPP service where its results were used as a comparison in the resolution of satellite data.

Then, **Chapter 3** describes extensively the experimental application, the test conditions during the experiment and the GNSS receivers used. The kinematic paths followed by the three receivers and the static points were also displayed.

CHAPTER 4 analyzes the factors and parameters taken into account when solving the observations collected with the selected kinematic methods. The software used to process the observations was RTKLIB as well as the CSRS-PPP service. The kinematic and static observations within the paths were solved by the two services. The results were also the average coordinates of the selected static points together with the standard deviation of their average.

Resolutions performed at RTKLIB were kinematic positioning and PPP-Kinematic, while in CSRS-PPP only the last one. The results extracted

from the kinematic positioning were observed and interpreted so graphically as they were captured in the Google Earth application as well as qualitatively.

Static points of short duration, were resolved with relative static positioning in RTKLIB and PPP-Static in CRSS-PPP. The results were the average of the geodetic coordinates (latitude, longitude, geometric height) with their standard deviation.

Finally, **Chapter 5** summarizes the comparisons with a 95% confidence level between the resolution methods applied with the RTKLIB software and the Canadian CSRS-PPP. The results of the comparisons are shown in tables to make the comparisons understandable, while there are detailed charts analyzing the total amount of the observations.

Comparisons in kinematic positioning methods are made by estimating the residuals of the homologous points from the two different solutions. Firstly, it is given the comparison between relative kinematic positioning and PPP-Kinematic method in RTKLIB for the three routes. In addition, the same procedure is repeated for the two PPP-Kinematic methods in RTKLIB and CSRS-PPP per 1, 10 and 30 seconds interval. Finally, it is also presented the comparison between relative kinematic positioning by RTKLIB with PPP-Kinematic of CSRS-PPP.

In order to evaluate the accuracy of static points position, it has to be calculated the differences between the geodetic coordinates from the two different services RTKLIB and CSRS-PPP. Then this difference it has to be compared with the sum of the standard deviation in a local projective reference system given by the two services for each point.

Both kinematics and static results are close to CSRS-PPP results, making RTKLIB software reliable even in difficult measurement conditions by the receivers.

In addition, pros and cons elements of the software environment are described in detail, as being extremely handy and include several parameters to be selected. However, this means that the user has to require expert knowledge to select them. Furthermore, the resolution process is evaluated for both kinematic and static measurements. The results between CSRS-PPP and RTKLIB differ some centimeters despite the difficult measurement conditions in some cases.

Finally, CHAPTER 6 summarizes the evaluation of RTKLIB and also some future application of this study are suggested, in exploiting the results of the receivers and the software.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η έμπνευση του θέματος της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας προήλθε από την ανάγκη δημιουργίας εφαρμογών εντοπισμού θέσης και καθοδήγησης στο αστικό περιβάλλον μέσω μιας βέλτιστης πορείας, για άτομα με περιορισμένη κινητικότητα. Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό είναι ένα είδος πλοήγησης μέσα στο πολύπλοκο αστικό τοπίο και αποτελεί ένα πρωτοποριακό και δύσκολο εγχείρημα για τους ερευνητές του τομέα της Δορυφορικής Γεωδαισίας και όχι μόνο.

Στην περίπτωση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας γίνεται μια προσομοίωση των κινηματικών πορειών σε μια ημι-αστική περιοχή (Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου) ενώ η επεξεργασία των παρατηρήσεων γίνονται μέσω του ελεύθερου λογισμικού RTKLIB. Το RTKLIB ως ένα ελεύθερα προσβάσιμο στο διαδίκτυο προς χρήση και επεξεργασία λογισμικό, δεν έχει ερευνηθεί σε ικανοποιητικό βαθμό ως προς την αποδοτικότητα και την ακρίβειά του σε διάφορες μεθόδους επίλυσης. Τα αποτελέσματά του συγκρίνονται με μια αξιόπιστη διαδικτυακή υπηρεσία επίλυσης στατικών και κινηματικών δορυφορικών δεδομένων την CSRS-PPP από την Καναδική Υπηρεσία NRC. Η CSRS-PPP αποτελεί μια διεθνώς αναγνωρισμένη πηγή επίλυσης δορυφορικών δεδομένων για αυτό και θα ελεγχθεί κατά πόσο συμβαδίζουν τα εκατέρωθεν αποτελέσματα από τις δύο ξεχωριστές επιλύσεις των ίδιων παρατηρήσεων. Εκτός από τις κινηματικές πορείες επιλέγονται και ολιγόλεπτες στάσεις σε συγκεκριμένα σημεία, προκειμένου να αξιολογηθεί η επίλυση του λογισμικού και σε αυτή τη κατάσταση επίλυσης. Καταλήγοντας, στόχος είναι να επιλυθούν οι πρωτογενείς κινηματικές και στατικές παρατηρήσεις όσο το δυνατόν ακριβέστερα με τις δύο υπηρεσίες και να ελεγχθεί η συμβατότητά τους.

Για να γίνει κατανοητή ολόκληρη η διαδικασία εκπλήρωσης του πειράματος, επεξεργασίας των δεδομένων και αξιολόγησης των αποτελεσμάτων, είναι απαραίτητο για αρχή να αναλυθούν οι βασικές αρχές και πτυχές των δορυφορικών συστημάτων GNSS, οι παράγοντες που επηρεάζουν τις παρατηρήσεις των δεκτών και οι παράμετροι των λογισμικών που επιδρούν στην εξαγωγή των αποτελεσμάτων. Στη συνέχεια παρουσιάζεται το πείραμα και η εφαρμογή του. Εν τέλει λαμβάνοντας όλα τα παραπάνω υπόψιν γίνεται η εμπειριστατωμένη ανάγνωση και η ορθολογική εκτίμηση των εξαχθέντων από το πείραμα και τη διαδικασία επεξεργασίας των παρατηρήσεων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΑΡΧΕΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΟΥ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ

1.1 Γενικά στοιχεία

Η Δορυφορική Γεωδαισία είναι ένας άκρως εξελιξίμος επιστημονικός τομέας της επιστήμης της Γεωδαισίας, που σκοπεύει στον εντοπισμό θέσης και πλοήγηση στη Φ.Γ.Ε χρησιμοποιώντας διαστημικές τεχνολογικές δυνατότητες, όπως οι δορυφόροι εντοπισμού και πλοήγησης των συστημάτων GNSS. Η σύλληψη της ιδέας για πλοήγηση μέσω θεωρητικά γνωστών σημείων στον ουράνιο θόλο προέρχεται από τα αρχαία χρόνια και την παρατήρηση των αστερών. Η δυνατότητα όμως για την υλοποίηση ενός συστήματος το οποίο αποτελείται από ένα επίγειο και ένα διαστημικό τμήμα θα μπορέσει να προσδιορίσει τη θέση με αξιοπιστία οπουδήποτε στη Γη -στην ξηρά, στη θάλασσα, στον αέρα αλλά και στο εγγύς διάστημα- σε οποιοδήποτε καιρικές συνθήκες και οποιαδήποτε χρονική στιγμή θα έρθει αρκετά αργότερα.

Μια νέα εποχή, αυτή της διαστημικής εξερεύνησης ξεκινά το 1957 με την πρώτη εκτόξευση τεχνητού δορυφόρου, αυτή του Sputnik από τη Σοβιετική ένωση. Σειρά παίρνουν οι ΗΠΑ και πολλά ακόμα πειράματα και δοκιμαστικές αποστολές στο διάστημα ώστε τη δεκαετία του 70' να γίνει η αρχή με τις πρώτες εκτοξεύσεις δορυφόρων με σκοπό να δημιουργηθεί ένα αξιόπιστο παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα εντοπισμού. Ο αρχικός στόχος του συστήματος ήταν αμιγώς η στρατιωτική χρήση αλλά ήδη από τη δεκαετία του 80' δόθηκε η δυνατότητα και για πολιτική χρήση με την εκπομπή σήματος σε διαφορετικές συχνότητες και διαθέσιμους κώδικες. Όσπου το 1995 καθίσταται πλήρως λειτουργικό το πρώτο παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα προσδιορισμού θέσης, το NAVSTAR GPS. Από τότε πληθώρα γεωδαιτικών και τοπογραφικών εργασιών μπόρεσαν να εφαρμοστούν με τις δυνατότητες που παρείχε το σύστημα GPS.

Άξιο αναφοράς είναι πως το GPS είναι ένα από τα παγκόσμια δορυφορικά συστήματα πλοήγησης όπως επίσης είναι και το Ρωσικό GLONASS. Κατά καιρούς από διάφορες χώρες έχουν γίνει εξορμήσεις στο διάστημα για τη δημιουργία δορυφορικών συστημάτων εντοπισμού αλλά όχι για παγκόσμια κάλυψη. Ένα τέτοιο σύστημα που επιδιώκει να

έχει παγκόσμια κάλυψη είναι το νεοσύστατο Ευρωπαϊκό GALILEO από τον συνασπισμό των χωρών της ΕΕ, ενώ το Κινέζικο BeiDou, το Ιαπωνικό QZSS και το Ινδικό IRNSS είναι πρωτίστως σχεδιασμένα να παρέχουν αρχικά περιφερειακή κάλυψη και σταδιακά να αποκτήσουν παγκόσμια χρήση. Όλα μαζί ανήκουν στη κατηγορία των GNSS. Πλέον οι σύγχρονοι δέκτες GNSS κατασκευάζονται προκειμένου να λαμβάνουν δορυφορικά σήματα από όλα τα συστήματα, ώστε να επαυξάνονται ποικιλοτρόπως οι δυνατότητες αξιοποίησης των παρατηρήσεων τους.

1.2 Λειτουργικό σύστημα GPS

Το σύστημα GPS απαρτίζεται από τρία τμήματα που είναι υπεύθυνα για την εύρυθμη λειτουργία του και την εκπλήρωση της αποστολής του:

Το λειτουργικό τμήμα διαστήματος

Αποτελεί το διαστημικό τμήμα με τους 31 δορυφόρους (Φεβρουάριος 2016), σε τροχιά και σε τέτοια διάταξη ώστε να γίνεται εφικτή η καλύτερη κάλυψη της Γης. Οι 24 εξ αυτών -μικρότερος αριθμός ώστε να καθίσταται το σύστημα λειτουργικό- είναι χωρισμένοι σε 6 τροχιακά επίπεδα - 4 έκαστο - με 55° κλίση ως προς το ισημερινό επίπεδο της Γης και 60° τα τροχιακά επίπεδα μεταξύ τους, με περίοδο πλήρους περιφοράς γύρω από την Γη 11ω 58λ (μισή αστρική μέρα). Το ύψος της τροχιάς των δορυφόρων είναι στα 20200km και η πορεία τους είναι έτσι σχεδιασμένη ώστε σε κάθε χρονική στιγμή να είναι ορατοί από οποιοδήποτε σημείο της επιφάνειας της Γης τουλάχιστον έξι δορυφόροι. Σχετικά με τον εξοπλισμό τους, φέρουν τέσσερα ατομικά χρονόμετρα υψηλής σταθερότητας για τη μέτρηση του χρόνου και τη παραγωγή σήματος [Παραδείσης Δ. 2000].

Το λειτουργικό τμήμα εδάφους

Το τμήμα εδάφους έχει το ρόλο του ελέγχου, της επίβλεψης, της παρακολούθησης και της επέμβασης σε διορθώσεις όταν αυτό απαιτείται στο λειτουργικό τμήμα διαστήματος. Το λειτουργικό τμήμα εδάφους συνθέτουν:

- a. ένας κεντρικός σταθμός ελέγχου (Master Control Station)
- b. τέσσερις σταθμοί επικοινωνίας (Upload Ground Antennas)
- c. δεκαέξι εγκαθιδρυμένοι σταθμοί παρακολούθησης σε όλη τη Γη (Monitor Stations)

Ο κεντρικός σταθμός δέχεται συνεχώς δεδομένα σχετικά με τη τροχιά των δορυφόρων, τα σφάλματα των χρονομέτρων τους και γενικότερα την κατάσταση του διαστημικού τμήματος. Επιπλέον γίνονται οι κατάλληλοι υπολογισμοί και επεμβάσεις σε διορθώσεις είτε στα χρονόμετρα είτε στη τροχιά των δορυφόρων όταν και όποτε χρειαστεί.

Τους σταθμούς επικοινωνίας αποτελούν επίγειες κεραίες που αποστέλλουν μηνύματα πλοήγησης στο δορυφόρους, ενώ λαμβάνουν και μηνύματα από αυτούς σχετικά με την εύρυθμη λειτουργία τους.

Οι δεκαέξι σταθμοί παρακολούθησης είναι εγκαταστημένοι ανά την υφήλιο ώστε να παρακολουθούν καθημερινά όλους τους δορυφόρους και να λαμβάνουν τα μηνύματα τους και να τα μεταβιβάζουν στον κεντρικό σταθμό για περαιτέρω επεξεργασία [Πικρίδας Χ., Φωτίου Α. 2012].

Το τμήμα χρηστών

Το συγκεκριμένο τμήμα αποτελούν οι δεκάδες εκατομμύρια χρήστες του συστήματος GPS, οι οποίοι είτε με εξειδικευμένους δέκτες είτε πλέον με απλούστερες συσκευές, όπως ένα κινητό τηλέφωνο κάνουν χρήση του συστήματος.

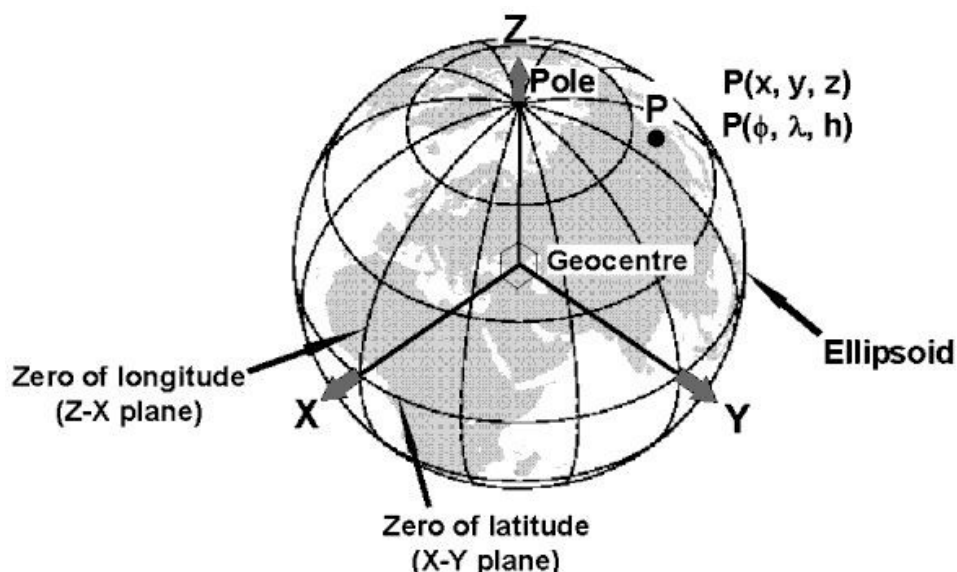
1.2.1 Το σύστημα αναφοράς του GPS

Θεμελιώδης λίθος ενός δορυφορικού συστήματος εντοπισμού είναι το σύστημα αναφοράς (datum) το οποίο αποτελεί τον χώρο αναφοράς των συντεταγμένων. Ουσιαστικά το σύστημα αναφοράς είναι ένα μαθηματικό μοντέλο που προσπαθεί να περιγράψει το ελλειψοειδές σχήμα της Γης ώστε να αποτελεί την αφετηρία μέτρησης και απεικόνισης των συντεταγμένων. Σύμφωνα με το σύστημα αναφοράς καθορίζονται οι θέσεις των σημείων στη Φ.Γ.Ε καθώς μελετάται η κίνηση και η δυναμική συμπεριφορά τους στο χρόνο. Ένα σύνηθες σύστημα αναφοράς ορίζεται με κέντρο το κέντρο μάζας της Γης και προσανατολισμό των αξόνων, τον άξονα Z να διέρχεται από τον μέσο συμβατικό Πόλο (CIO, 1900-1905) και είναι κάθετος στο μέσο ισημερινό επίπεδο, το άξονα X ως τομή του επιπέδου του μέσου μηδενικού μεσημβρινού και του επιπέδου του μέσου ισημερινού και τέλος τον άξονα Y κάθετο στο επίπεδο που ορίζουν οι άξονες X και Z προς ανατολάς (εικόνα 1.1) [Λάμπρου Λ., Πανταζής Γ. 2010].

Το δορυφορικό σύστημα GPS χρησιμοποιεί το παγκόσμιο

γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς WGS84 το οποίο χρησιμοποιεί το ομώνυμο του ελλειψοειδές με στοιχεία:

$$a=6378137.0 \text{ m και } 1/f=298.257223563$$



Εικόνα 1.1 Ένα τυπικό ελλειψοειδές εκ περιστροφής
[Πηγή: <http://www.gpspassion.com/pics/geoideb.gif>]

1.2.2 Τα υπόλοιπα GNSS

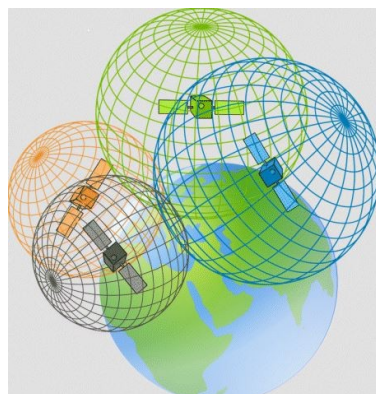
Όσον αφορά τα υπόλοιπα συστήματα GNSS:

- Το GLONASS είναι το δεύτερο σε λειτουργία παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα εντοπισμού σε συγκρίσιμη ακρίβεια με το GPS. Αποτελείται από 24 δορυφόρους σε τροχιά οι οποίοι έχοντας προγραμματιστεί να καλύπτουν κατά κύριο λόγο τη Ρωσική επικράτεια παρέχουν παρατηρήσεις σε δέκτες με μεγάλο γεωγραφικό πλάτος, όπου το σύστημα GPS παρουσιάζει κάποιες αδυναμίες. Γι αυτό το λόγο η συνεργασία των δύο συστημάτων ως προς τις παρατηρήσεις που παρέχονται στους δέκτες κάνει το δορυφορικό εντοπισμό ακόμη πιο ακριβή και άμεσο.
- Το σύστημα Galileo δεν είναι ακόμα αυτόνομα επιχειρησιακό. Μέχρι σήμερα είναι λειτουργικοί 15 δορυφόροι από τους συνολικά 30 που είναι ο σκοπός να λειτουργήσουν. Το σύστημα εντοπισμού έχει ξεκάθαρα σκοπούς πολιτικής χρήσης και αναμένεται να καλύπτει με μικρή αβεβαιότητα την επιφάνεια της Γης στις πιο ακραίες συνθήκες.
- Το BeiDou είναι ένα δορυφορικό σύστημα εντοπισμού που

φτιάχτηκε για τις ανάγκες κάλυψης της Κινεζικής επικράτειας και των γύρω περιοχών. Οι δορυφόροι που βρίσκονται μέχρι σήμερα σε τροχιά είναι 22 (Δεκέμβριος 2017) και αναμένεται να φτάσουν τους 35 (εκ των οποίων 5 γεωστατικοί δορυφόροι) μέχρι το 2020 [wikipedia.org]

1.3 Αρχές λειτουργίας ενός δορυφορικού συστήματος

Η διαδικασία εντοπισμού της θέσης ενός σημείου στη Φ.Γ.Ε με τη χρήση ενός δέκτη GNSS μπορεί να παρομοιαστεί με μια οπισθοτομία στο χώρο. Με γνωστές τις θέσεις των δορυφόρων στη τροχιά τους από τις εκπεμπόμενες εφημερίδες, καθώς λειτουργούν ως τριγωνομετρικά σημεία και παρατηρήσεις τις αποστάσεις μεταξύ δεκτών και δορυφόρων μπορούν, να προσδιοριστούν οι άγνωστες συντεταγμένες των δεκτών στη Φ.Γ.Ε. Για τον εντοπισμό της θέσης του σημείου χρειάζονται τρεις συντεταγμένες στο χώρο X,Y,Z επομένως η θέση από γεωμετρική σκοπιά ορίζεται ως η τομή τριών σφαιρών με κέντρα τον εκάστοτε δορυφόρο και ακτίνες τις μετρηθείσες αποστάσεις. Ο γεωμετρικός τόπος της τομής τριών σφαιρών είναι δύο σημεία, εκείνο πιο κοντά στην επιφάνεια της Γης είναι και το ζητούμενο. Όλα τα παραπάνω θα ίσχυαν στην περίπτωση που υπήρχε απόλυτος συγχρονισμός μεταξύ των χρονομέτρων δορυφόρων και δεκτών. Εκ των πραγμάτων αυτό καθίσταται αδύνατο επομένως υπεισέρχεται μια επιπλέον άγνωστη παράμετρος, αυτή του προσδιορισμού του σφάλματος του συγχρονισμού των χρονομέτρων μεταξύ δορυφόρου και δέκτη. Γι αυτό το λόγο πάντα για τον προσδιορισμό της θέσης ενός σημείου, χρειάζονται τουλάχιστον τέσσερις ταυτόχρονες παρατηρήσεις σε δορυφόρους (εικόνα 1.2) [Πικρίδας X., Φωτίου Α. 2012].



Εικόνα 1.2 Παρατηρήσεις σε τουλάχιστον τέσσερις δορυφόρους
[Πηγή: <https://www.technologyuk.net/physics/measurement-and-units/navigational-instruments.shtml>]

Γίνεται κατανοητό πως για τον εντοπισμό της θέσης ενός δέκτη όλη η διαδικασία στηρίζεται στις μετρήσεις αποστάσεων μεταξύ δέκτη και δορυφόρων. Για να συμβεί αυτό χρησιμοποιούνται τα διαμορφωμένα σήματα (φέρουσες συχνότητες) που εκπέμπουν οι πομποί-δορυφόροι ώστε να τα επεξεργαστούν οι δέκτες. Οι δύο βασικές φέρουσες συχνότητες που εκπέμπουν είναι η $L1 = 1575.42$ MHz και η $L2 = 1227.60$ MHz οι οποίες αποτελούν ηλεκτρομαγνητικά κύματα που φέρουν δύο κώδικες τον C/A (Coarse/Acquisition) που είναι σε ελεύθερη χρήση και τον P (Precise) που μεταδίδεται κρυπτογραφημένα για εξουσιοδοτημένους χρήστες. Οι κώδικες αυτοί είναι μια δυαδική ακολουθία των ψηφίων 0 και 1 οι οποίοι παράγονται από το δέκτη και στέλνονται ακριβώς οι ίδιοι και από τον δορυφόρο.

Γνωρίζοντας τα παραπάνω δεδομένα μπορεί να γίνει αντιληπτό ότι η μέτρηση της απόστασης μπορεί να γίνει με δύο διαφορετικούς τρόπους από τους οποίους καθένας ξεχωριστά έχει διαφορετική φιλοσοφία στη μέτρηση της ζητούμενης απόστασης και στην ακρίβεια εντοπισμού της θέσης.

Ο πρώτος από τους δύο είναι οι μετρήσεις ψευδοαπόστασης, δηλαδή η χρήση από τους δέκτες των κωδίκων οι οποίοι φέρονται από τις φέρουσες συχνότητες. Με αυτόν το τρόπο ο δέκτης προσπαθεί να ταυτίσει χρονικά των κώδικα που λαμβάνει, με τον δικό του παραγόμενο κώδικα ο οποίος είναι ακριβώς ίδιος με του δορυφόρου. Η διαφορά του χρόνου μεταξύ του κώδικα που εισέρχεται στο δέκτη και του παραγόμενου στο δέκτη για ταύτιση, αντιστοιχεί στον χρόνο που έκανε το σήμα για να καλύψει την απόσταση δορυφόρου-δέκτη. Με γνωστή τη ταχύτητα του ηλεκτρομαγνητικού σήματος στο κενό και παρατηρούμενη ποσότητα τον χρόνο, είναι εφικτός ο υπολογισμός του μήκους από τη θεμελιώδη εξίσωση:

$$\text{μήκος} = \text{ταχύτητα} \cdot \text{χρόνος}$$

Ο όρος ψευδοαπόσταση οφείλεται στο γεγονός πως η απόσταση που μετράται δεν είναι η αληθής λόγω 1) μη συγχρονισμού των χρονομέτρων μεταξύ δορυφόρου και δέκτη, 2) καθυστερήσεων στη διάδοση του σήματος μέσα από τροπόσφαιρα και ιονόσφαιρα και 3) ανακλάσεων του σήματος σε παρακείμενες επιφάνειες πριν καταλήξει στη κεραία του δέκτη. Για όλα αυτά τα σφάλματα υπεισέρχονται διάφορες διορθώσεις κατά την επεξεργασία των παρατηρήσεων.

Ο δεύτερος τρόπος προσδιορισμού της απόστασης μεταξύ δέκτη-δορυφόρων είναι η μέτρηση της συνεχούς φάσης του φέροντος κύματος.

Αυτή η διαδικασία είναι μεν δυσκολότερη από τις μετρήσεις κώδικα αλλά επιτυγχάνει πολύ καλύτερη ακρίβεια. Ο δέκτης μπορεί να μετρήσει με ακρίβεια τη φάση του φέροντος κύματος που λαμβάνει από τον δορυφόρο την ίδια χρονική στιγμή. Επιπλέον γνωρίζοντας τον αριθμό των κύκλων φάσης του μήκους κύματος που έχουν προηγηθεί έχει τη δυνατότητα να προσδιορίσει την απόσταση. Το πρόβλημα έγκειται στο γεγονός πως ο δέκτης ενώ δύναται να μετρήσει με ακρίβεια την στιγμιαία κλασματική φάση του φέροντος κύματος, δε μπορεί να υπολογίσει τον ακέραιο αριθμό κύκλων που μεσολαβούν μέχρι να φτάσει το σήμα στο δέκτη. Αυτός ο άγνωστος ακέραιος αριθμός των κύκλων ονομάζεται ασάφεια φάσης. Ο συνήθης τρόπος υπολογισμού των ασαφειών φάσης είναι η μετέπειτα επεξεργασία των παρατηρήσεων [Πικρίδας Χ., Φωτίου Α. 2012].

Τέλος αναφορικά με την ακρίβεια μέτρησης της απόστασης μεταξύ των δύο τεχνικών, η μέτρηση της ψευδοαπόστασης εκτιμάται στα $\pm 3\text{m}$ ενώ με τη μέτρηση των φέροντων συχνοτήτων τα μερικά εκατοστά. Φυσικά σημαντικός είναι και ο ρόλος της μεθόδου πραγματοποίησης των μετρήσεων καθώς υπό συγκεκριμένες τεχνικές επιτυγχάνεται ακρίβεια της τάξης των χιλιοστών.

1.4 Σφάλματα και Διορθώσεις μετρήσεων

1.4.1 Σφάλματα δορυφορικών τροχιών και χρονομέτρων

Φυσικά τις παρατηρήσεις των αποστάσεων διέπουν σφάλματα που σχετίζονται με τους παρατηρούμενους δορυφόρους, το σύστημα του δέκτη καθώς και τα σφάλματα διάδοσης του σήματος μέσα στην ατμόσφαιρα. Για την απομείωση αυτών των συστηματικών σφαλμάτων έχουν δημιουργηθεί κατά καιρούς πολλά μαθηματικά μοντέλα που σχεδόν εξαλείφουν τα διάφορα σφάλματα των μετρήσεων. Πέραν τούτου, τον προσδιορισμό θέσης επηρεάζει και η διάταξη του δορυφορικού σχηματισμού (δηλαδή η σχετική γεωμετρία μεταξύ χρήστη και δορυφόρων) κατά τη στιγμή των παρατηρήσεων, επομένως για την επίτευξη αξιόπιστου αποτελέσματος πρέπει να ληφθούν υπόψιν αρκετοί παράγοντες.

Αρχικά τα σφάλματα των δορυφόρων αφορούν στο σφάλμα της τροχιάς και των χρονομέτρων τους. Το σφάλμα της τροχιάς του

δορυφόρου είναι η συστηματική παρέκκλιση της θέσης και της ταχύτητας του δορυφόρου από την πραγματική του θέση, δηλαδή τη θέση με βάση τις παρατηρήσεις για τον υπολογισμό των τροχιών και των μαθηματικών μοντέλων που χρησιμοποιούνται [Πικρίδας Χ., Φωτίου Α. 2012]. Τα σφάλματα των χρονομέτρων αναφέρονται στον μη απόλυτο συγχρονισμό τους με τον ενιαίο χρόνο GPS και είναι πολύ σημαντικά, καθώς ολόκληρη η λειτουργία του συστήματος βασίζεται στην επίτευξη όσο το δυνατόν καλύτερου συγχρονισμού σε τάξη μεγέθους 10^{-9} sec (nsec). Για την διόρθωση των δύο παραπάνω προβλημάτων χρησιμοποιούνται σε εκ των υστέρων επεξεργασία καλύτερες εκτιμήσεις τόσο στην τροχιά των δορυφόρων όσο και στις παραμέτρους του χρόνου από διεθνείς υπηρεσίες.

Τα σφάλματα του δέκτη σχετίζονται με το σφάλμα του χρονομέτρου του, το σφάλμα της μεταβολής του κέντρου φάσης της κεραίας και ο θόρυβος σήματος. Το σφάλμα του χρονομέτρου του δέκτη είναι της ίδιας φύσης με αυτό του δορυφόρου και ο τρόπος της διόρθωσης του είναι, ταυτόχρονα με τη λύση που επιτυγχάνεται διορθώνεται και το χρονόμετρο προσεγγίζοντας αρκούντως ικανοποιητικά τον χρόνο GPS.

Το κέντρο φάσης της κεραίας των δεκτών GNSS ως προς το οποίο αναφέρονται όλες οι μετρήσεις δεν είναι ένα φυσικό και σταθερό σημείο αλλά εξαρτάται ανάλογα με την διεύθυνση και τη θέση λήψης του δορυφορικού σήματος και μπορεί να μεταβάλλεται ως και μερικά χιλιοστά γεγονός που αν παραλειφθεί μπορεί να καταλήξει και σε σφάλμα εκατοστού. Επομένως στη λύση με τις χρησιμοποιούμενες παρατηρήσεις συγκαταλέγονται παράμετροι που έχουν προκύψει από τη μέση τιμή μετατόπισης του κέντρου λήψης της κεραίας άρα το σφάλμα μπορεί να προβλεφθεί και να εξαλειφθεί [Ψύχας Δ. 2015].

Τέλος εξίσου σημαντικό σφάλμα είναι αυτό της πολυανάκλασης που καταλήγει ως θόρυβος στο δέκτη και επηρεάζει τις μετρήσεις. Αυτό το σφάλμα οφείλεται στις διάφορες κατασκευές που περιβάλλουν το δέκτη και ανακλούν το δορυφορικό σήμα πριν φτάσει σε αυτόν. Το συγκεκριμένο σφάλμα μπορεί να αντιμετωπιστεί με κατάλληλες κεραίες που με ειδικά φίλτρα παρεμποδίζουν τη λήψη δορυφορικών σημάτων εξ ανακλάσεως π.χ από παρακείμενες μεταλλικές κατασκευές. Οι κεραίες που χρησιμοποιούνται είναι οι τύπου εκτεταμένου πεδίου ή σπειροειδούς μορφής, οι οποίες απορρίπτουν σήματα από πολυκλαδική ανάκλαση. Άλλο μέτρο αντιμετώπισης του συγκεκριμένου σφάλματος είναι διάφορα φίλτρα και αλγόριθμοι που εκ των υστέρων απομακρύνουν τον θόρυβο [Ψύχας Δ. 2015].

1.4.2 Ιονοσφαιρικό και Τροποσφαιρικό σφάλμα

Η διάδοση του δορυφορικού σήματος ως ηλεκτρομαγνητικής φύσης επηρεάζεται από το μέσο από το οποίο διέρχεται. Ως γνωστόν η ατμόσφαιρα της Γης χωρίζεται σε στρώματα καθώς αυτά διαφέρουν σε σύσταση και πυκνότητα αερίων ανάλογα με το υψόμετρο.

Το εξωτερικό στρώμα καλείται ιονόσφαιρα και εκτείνεται από τα 1000km μέχρι τα 50km πάνω από την επιφάνεια της Γης και από την τροπόσφαιρα από τα 50km και χαμηλότερα.

Ως αποτέλεσμα τα στρώματα αυτά επηρεάζουν διαφορετικά το δορυφορικό σήμα. Αρχικά το ιονοσφαιρικό σφάλμα οφείλεται στην ύπαρξη πολλών ελεύθερων φορτισμένων σωματιδίων τα οποία επηρεάζουν την ταχύτητα, τη διεύθυνση και την πολικότητα των δορυφορικών σημάτων. Ο τρόπος αντιμετώπισης του είναι με δέκτες δύο συχνοτήτων ή ιονοσφαιρικά μοντέλα που προέρχονται από το μήνυμα ναυσιπλοΐας του δορυφόρου.

Το τροποσφαιρικό σφάλμα εξαρτάται από την τιμή της υγρασίας, της θερμοκρασίας και της πίεσης κατά μήκος της διαδρομής του σήματος καθώς και από τα καιρικά φαινόμενα που επικρατούν κατά τόπους. Εξίσου σημαντικό παράγοντα διαδραματίζουν η γωνία ύψους του δορυφόρου και το υψόμετρο του δέκτη καθώς επηρεάζεται η διάρκεια και διεύθυνση της διαδρομής του σήματος μέσα στην ατμόσφαιρα. Η αντιμετώπιση του σφάλματος αυτού γίνεται από ειδικά τροποσφαιρικά μοντέλα και με παραμέτρους που προσδιορίζουν τους διάφορους προαναφερθείς παράγοντες [Αλεβιζάκου Ε. 2010].

1.5 Μέθοδοι δορυφορικού εντοπισμού

1.5.1 Κινηματικός εντοπισμός (KINEMATIC)

Ο κινηματικός προσδιορισμός θέσης χρησιμοποιείται για την περιγραφή μιας διαδρομής στον τρισδιάστατο χώρο και γενικότερα για πλοήγηση. Υπάρχουν διάφορες τεχνικές οι οποίες μπορούν να εφαρμοστούν και η εκτέλεση της κάθε μιας εξαρτάται από το σκοπό της εργασίας που πρέπει να διεκπεραιωθεί.

Κατά κύριο λόγο η διαδικασία του κινηματικού προσδιορισμού περιλαμβάνει δύο δέκτες. Ο ένας δέκτης μένει πάντα σταθερός σε ένα σημείο γνωστών συντεταγμένων και ονομάζεται σταθμός αναφοράς (Base) ενώ ο άλλος δέκτης (Rover) κινείται με οποιοδήποτε τρόπο στο

χώρο με σκοπό να αποτυπώσει μια διαδρομή. Η φιλοσοφία της μεθόδου έγκειται στο γεγονός πως από τη στιγμή που επιλυθούν αρχικά οι ασάφειες φάσης, ο ένας δέκτης μπορεί να αρχίζει να μετακινείται με μοναδικό περιορισμό να παρακολουθεί συνεχώς τουλάχιστον τέσσερις δορυφόρους, οι οποίοι να είναι οι ίδιοι που παρακολουθεί και ο σταθερός δέκτης για το ίδιο χρονικό διάστημα [Παραδείσης Δ. 2000].

1.5.2 Ημικινηματικός προσδιορισμός θέσης (Stop and Go Kinematic)

Μια από τις διάφορες τεχνικές κινηματικού προσδιορισμού είναι η μέθοδος του ημικινηματικού προσδιορισμού (Stop and Go Kinematic). Κατά αυτή τη μέθοδο, αφού τοποθετηθεί ο σταθερός δέκτης σε ένα σημείο γνωστών συντεταγμένων, ο κινητός παραμένει για λίγα λεπτά ακίνητος (περίπου 6min-10min) είτε σε γνωστό είτε σε άγνωστο σημείο ώστε να γίνει η μέτρηση της βάσης. Έπειτα ο κινητός δέκτης μπορεί να αποτυπώνει τη περιοχή και να σταματά σε οποιοδήποτε σημείο κάποιο εύλογο χρονικό διάστημα από λίγα δευτερόλεπτα μέχρι μερικά λεπτά ανάλογα το σκοπό της εργασίας. Η ακρίβεια με την οποία εκτιμάται ότι προσδιορίζεται το διάνυσμα μεταξύ του σταθερού δέκτη και του εκάστοτε σημείου που αποτυπώνει ο κινητός δέκτης είναι της τάξης του $\pm 1\text{cm}$ [Παραδείσης Δ. 2000].

1.5.3 Υψηλής ακρίβειας κινηματικός προσδιορισμός θέσης (PPP-Kinematic)

Τα τελευταία χρόνια μια νέα τεχνική εντοπισμού έρχεται στο προσκήνιο επανομαζόμενη ως υψηλής ακρίβειας κινηματικός προσδιορισμός θέσης (PPP-Kinematic). Κατά τη μεθοδολογία αυτής της τεχνικής χρησιμοποιείται αποκλειστικά ένας και μόνο δέκτης ο οποίος λαμβάνει παρατηρήσεις από όλους τους διαθέσιμους δορυφόρους GNSS και μπορεί να επιτύχει προσδιορισμό θέσης της τάξης των εκατοστών ως μερικών δεκατόμετρων. Η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιείται εξίσου σε στατικούς και κινηματικούς προσδιορισμούς θέσης. Η διάδοση της μεθόδου οφείλεται στο γεγονός ότι μειώνει αισθητά το οικονομικό κόστος των υπαίθριων εργασιών, μιας και γίνεται χρήση μόνο ενός δέκτη, επομένως δεν απαιτείται πολυάριθμο εργατικό δυναμικό.

Οι διαφορές της από τον απόλυτο προσδιορισμό θέσης είναι ότι στη διαδικασία παρατηρήσεων συγκαταλέγονται όχι μόνο οι μετρήσεις

κώδικα αλλά και μετρήσεις στις δύο φέρουσες συχνότητες L1 – L2. Ωστόσο για να επιτευχθούν οι αξιόλογες αυτές ακρίβειες για τοπογραφικές εργασίες, χρειάζεται συνεχής παρατήρηση δορυφόρων για 30 λεπτά κάτω από φυσιολογικές συνθήκες ορατότητας για να εξαλειφθεί ο θόρυβος και να επιλυθούν οι ασάφειες φάσης. Ακόμη ως προς την μετέπειτα επεξεργασία των πρωτογενών παρατηρήσεων, χρειάζονται ακριβείς παράμετροι εισαγωγής στον αλγόριθμο επεξεργασίας για τις τροχιές και τα χρονόμετρα των δορυφόρων, ώστε να υπολογιστούν με ακρίβεια οι ασάφειες φάσης, οι συντεταγμένες του σημείου αλλά και το χρονόμετρο του δέκτη. Επιπροσθέτως ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει καθοριστικά την ακρίβεια του αποτελέσματος είναι η ποσότητα και η ποιότητα των παρατηρήσεων. Ακόμα και αν έχουν εισαχθεί τα ακριβέστερα αρχεία των παραμέτρων, αν ο δέκτης δεν είχε καλή και διαρκή παρατήρηση των δορυφόρων δεν θα μπορέσει να εξάγει ικανοποιητικό αποτέλεσμα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

2.1 Τύπος των δεδομένων επεξεργασίας

Η επεξεργασία των παρατηρήσεων διεκπεραιώνεται σε ειδικά λογισμικά διαχείρισης δορυφορικών δεδομένων. Τα αρχεία των παρατηρήσεων που λαμβάνονται από έναν δέκτη είναι της μορφής RINEX format και η επεξεργασία τους μπορεί να γίνει σε Η/Υ με την χρήση των κατάλληλων προγραμμάτων.

Ένα αρχείο RINEX είναι ένα πρότυπο ανταλλαγής δεδομένων προκειμένου να γίνονται διαχειρίσιμες πρωτογενείς παρατηρήσεις από διαφορετικούς δορυφόρους και δέκτες GNSS. Το πρότυπο RINEX αποτελεί μια διεθνώς αναγνωρισμένη μορφή αρχείων που εφαρμόζεται από όλες τις εταιρίες παραγωγής δεκτών και επεξεργασίας δορυφορικών δεδομένων εντοπισμού. Η ανάγκη αυτή προέκυψε από το γεγονός πως οι δέκτες διαφορετικών εταιριών χρησιμοποιούσαν διαφορετικό λογισμικό για την μετατροπή των αρχείων παρατήρησης από γλώσσα μηχανής (δυαδικό σύστημα που καταγράφει ο δέκτης), σε μορφή αρχείου κατανοήσιμη από τον άνθρωπο, με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατή η μαζική επεξεργασία δεδομένων από διαφορετικούς δέκτες. Η λύση δόθηκε με την συμφωνία της επιστημονικής κοινότητας να χρησιμοποιείται ο κοινός μορφότυπος αρχείων RINEX, ώστε να γίνεται εφικτή η ερμηνεία των παρατηρήσεων όχι μόνο από δέκτες διαφορετικών εταιριών αλλά και από διαφορετικά συστήματα δορυφορικού εντοπισμού GNSS, μιας ακόμα και τα μηνύματα ναυσιπλοΐας από τους δορυφόρους είναι RINEX μορφής [Kristina Dems, 2010, What is RINEX (Receiver Independent Exchange Format)?, περ. *Bright Hub* (βλ. <http://www.brighthouse.com/electronics/gps/articles/73603.aspx>)].

Τα αρχεία RINEX που χρησιμοποιούνται στον δορυφορικό εντοπισμό είναι τα αρχεία παρατηρήσεων με τις μετρήσεις που προέρχονται από τον δέκτη, καθώς και τα αρχεία μηνυμάτων ναυσιπλοΐας (δηλαδή των τροχιακών στοιχείων) που δίνουν οι δορυφόροι. Ένα αρχείο μηνύματος ναυσιπλοΐας περιέχει πληροφορίες σχετικά με την τροχιά και τα χρονόμετρα των δορυφόρων, καθώς και ατμοσφαιρικά μοντέλα για εξάλειψη των αντίστοιχων σφαλμάτων. Ο διαχωρισμός αρχείου παρατηρήσεων και μηνύματος ναυσιπλοΐας φαίνεται από τον τίτλο αφού υπάρχει συγκεκριμένη τυπική ονοματοδοσία που καθορίζεται από τη

διεθνή επιστημονική κοινότητα:

Η τυπική τους ονομασία είναι ssssdddf.yyt όπου:

ssss→ όνομα σταθμού ή δορυφόρου για μήνυμα ναυσιπλοΐας

ddd → μέρα του χρόνου πρώτης καταγραφής

f→ σειρά αρχείου της ίδιας μέρας

yy→ έτος καταγραφής

t → είδος παρατήρησης με

.yyO→ κατάληξη αρχείου παρατηρήσεων

.yyN→ κατάληξη αρχείου μηνύματος ναυσιπλοΐας

2.1.2 Μορφή RINEX αρχείου

Σε ένα αρχείο RINEX περιλαμβάνονται εκτός από τις παρατηρήσεις και πληροφορίες σχετικά με το δέκτη, δηλαδή στοιχεία που δίνονται είτε από το χρήστη διαμέσου ειδικού λογισμικού, είτε αυτόματα από τον ίδιο το δέκτη. Τέτοιες πληροφορίες αφορούν στο όνομα του σημείου, στην ταυτότητα του δέκτη και της κεραίας, στα είδη των παρατηρήσεων φάσεις και ψευδοαποστάσεων, στο χρόνο πρώτης και τελευταίας καταγραφής, στο συνολικό αριθμό δορυφόρων, στο ύψος κεραίας κλπ. Αυτό αποτελεί το πρώτο μέρος του RINEX αρχείου. Στο δεύτερο μέρος παρουσιάζονται οι τιμές των παρατηρήσεων που συλλέχθηκαν κατά τη διάρκεια των μετρήσεων ανά εποχή παρατηρήσεων.

2.2 Το ελεύθερο λογισμικό TEQC

Το TEQC (Translation Editing and Quality Checking) είναι ένα ελεύθερο λογισμικό επεξεργασίας RINEX αρχείων. Με το πρόγραμμα αυτό μπορεί να γίνει η μετατροπή πρωτογενών δεδομένων διάφορων εταιριών σε RINEX μορφή, καθώς και επεξεργασία, τροποποίηση, έλεγχος ποιότητας ή διορθώσεις σε οποιοδήποτε αρχείο RINEX. Μόνο από την ονομασία του γίνεται αντιληπτό πως μπορεί:

- να διαχειριστεί πρωτογενή αρχεία από όλα τα GNSS και να τα μετατρέψει σε οποιαδήποτε μορφή
- να τροποποιήσει ή να διορθώσει αρχεία RINEX π.χ αλλαγή επικεφαλίδας, προσθήκη ονόματος σημείου, ύψος κεραίας κ.α, να δημιουργήσει αποκομμένο αρχείο παρατηρήσεων για επεξεργασία, μεταβάλλοντας το βήμα δειγματοληψίας ή τις ώρες καταγραφής

παρατηρήσεων.

- να πραγματοποιήσει ποιοτικό έλεγχο στις μετρήσεις αναλύοντας το σήμα κάθε δορυφόρου ξεχωριστά υποδεικνύοντας τα χρονικά διαστήματα θέασης των δορυφόρων από όλα τα GNSS στον ουράνιο θόλο, την ποιότητα του σήματος ως προς το σφάλμα πολυανάκλασης ή από τις ιονοσφαιρικές διαθλάσεις κ.α, αν επιλύθηκαν οι ασάφειες φάσης και γενικότερα αξιολόγηση όλων των παρατηρήσεων από όλους τους ορατούς παρατηρηθείς δορυφόρους.

Συμπερασματικά το TEQC είναι το εργαλείο διαχείρισης των RINEX αρχείων για κάθε λογής επιθυμία του χρήστη [Estey L., Wier S. 2014].

2.2.1 Λειτουργίες και εντολές TEQC

έχοντας πάντα το αρχείο εγκατάστασης του (teqc.exe) μαζί με τα αρχεία προς επεξεργασία αποθηκευμένα στο σκληρό δίσκο του Η/Υ.

Μερικές από τις πιο βασικές εντολές που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία των αρχείων είναι:

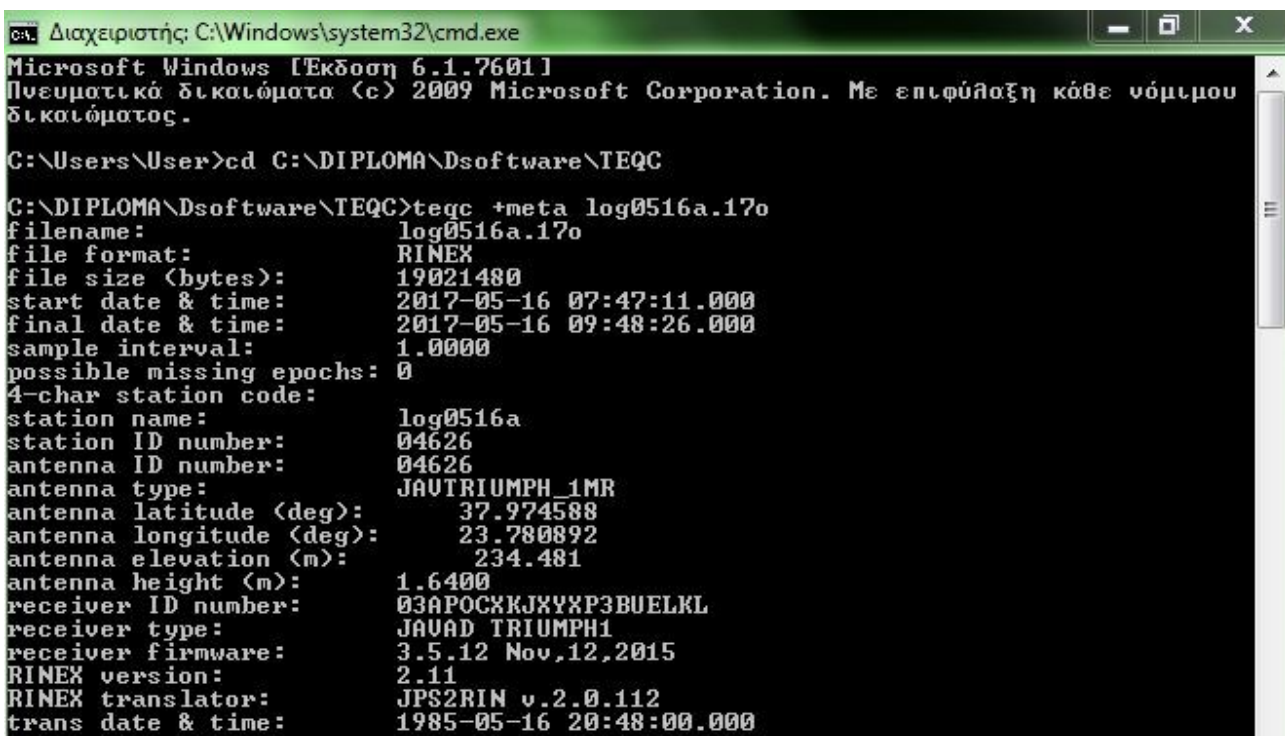
- `teqc +meta ssssddf.yyt`
Επιστρέφει ένα σύνολο πληροφοριών για το εισαγόμενο αρχείο.
- `teqc -O.dec 10 ssssddf.yyt > ssssddf_10sec.yyt`
Μειώνει το βήμα δειγματοληψίας ανά π.χ 10 sec δημιουργώντας ένα νέο αρχείο για το συγκεκριμένο βήμα.
- `teqc +qc ssssddf.yyt`
Επιστρέφει τον ποιοτικό έλεγχο των δορυφορικών σημάτων από τον εκάστοτε δορυφόρο καθώς και οποιαδήποτε χρήσιμη πληροφορία για την περίοδο των παρατηρήσεων του δέκτη.
- `teqc -O.at "όνομα_κεραίας"`
Δίνει στο χρήστη τη δυνατότητα να διορθώσει το όνομα κεραίας.
- `teqc -st YYYY-MM-DD+hh:mm:ss.ss -e YYYY-MM-DD+hh:mm:ss.ss ssssddf.yyt > ssssddf_new.yyt`

όπου YYYY = έτος , MM =μήνας , DD = μέρα , hh = ώρα , mm = λεπτά ,
ss.ss = δευτερόλεπτα

Δημιουργεί ένα νέο αρχείο το οποίο θα περιέχει τις παρατηρήσεις που έκανε ο δέκτης ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα [Λιώλης Δ. 2017].

Στην παρακάτω εικόνα 2.1 φαίνεται αναλυτικά η εφαρμογή της εντολής `teqc +meta` η οποία εμφανίζει τις σχετικές πληροφορίες του αρχείου επιλογής του χρήστη. Κατά σειρά εμφανίζονται:

- i. το όνομα του αρχείου,
- ii. ο τύπος του,
- iii. το μέγεθος του (σε bytes)
- iv. ημερομηνία και ώρα έναρξης σε GPS time
- v. ημερομηνία και ώρα λήξης σε GPS time
- vi. βήμα δειγματοληψία
- vii. πιθανές χαμένες εποχές
- viii. όνομα σταθμού κ.ο.κ



```
Microsoft Windows [Έκδοση 6.1.7601]
Πνευματικά δικαιώματα (c) 2009 Microsoft Corporation. Με επιφύλαξη κάθε νόμιμου
δικαιώματος.

C:\Users\User>cd C:\DIPLOMA\Dsoftware\TEQC

C:\DIPLOMA\Dsoftware\TEQC>teqc +meta log0516a.17o
filename:          log0516a.17o
file format:      RINEX
file size (bytes): 19021480
start date & time: 2017-05-16 07:47:11.000
final date & time: 2017-05-16 09:48:26.000
sample interval:  1.00000
possible missing epochs: 0
4-char station code:
station name:     log0516a
station ID number: 04626
antenna ID number: 04626
antenna type:    JAVTRIUMPH_1MR
antenna latitude (deg): 37.974588
antenna longitude (deg): 23.780892
antenna elevation (m): 234.481
antenna height (m): 1.6400
receiver ID number: 03ΑΡΟCΧΚJΧYΧΡ3BUELKL
receiver type:    JAVAD TRIUMPH1
receiver firmware: 3.5.12 Nov,12,2015
RINEX version:    2.11
RINEX translator: JPS2RIM v.2.0.112
trans date & time: 1985-05-16 20:48:00.000
```

Εικόνα 2.1 Εφαρμογή εντολής `teqc +meta`
Πηγή: [TEQC]

2.3 Το ελεύθερο λογισμικό RTKLIB

Το RTKLIB είναι ένα ελεύθερο λογισμικό ανοιχτού κώδικα (επιτρέπει στους χρήστες την ανάγνωση και τη μετατροπή του πηγαίου του κώδικα για τις προσωπικές εφαρμογές τους), με σκοπό την εφαρμογή όλων των γνωστών μεθόδων εντοπισμού ακόμη και τον νέο υψηλής ακρίβειας εντοπισμός θέσης PPP-Kinematic ή PPP-Static, σε όλα τα GNSS σύστημα. Δημιουργήθηκε από δύο Ιάπωνες επιστήμονες (Tomoji Takasu, Akio Yasuda) το 2006 για την πραγματικού χρόνου επεξεργασία δεδομένων GPS για προσωπική τους έρευνα. Στη συνέχεια έπειτα από πολλές προσθήκες δόθηκε ελεύθερα στους χρήστες του διαδικτύου το 2009 με την έκδοση RTKLIB 2.2.0. Σήμερα χρησιμοποιείται πλέον η έκδοση RTKLIB 2.4.2 με περισσότερες δυνατότητες.

Αναλυτικότερα το RTKLIB αποτελείται από μια φορητή βιβλιοθήκη προγραμμάτων και εφαρμογών (Application Programs), τα οποία με την επεξεργασία αρχείων παρατηρήσεων RINEX μπορούν να προσδώσουν υψηλής ακρίβειας εντοπισμού θέσης [Takasu T., Yasuda A. 2005]

Χωρίς την χρήση αυτών των εφαρμογών δεν θα ήταν δυνατό να γίνει η επεξεργασία. Μερικές από αυτές είναι: μετατροπές συντεταγμένων, πράξεις μεταξύ πινάκων και διανυσμάτων, διορθωτικά ατμοσφαιρικά μοντέλα και κέντρων φάσης κεραιών, μετατροπές αρχείων σε KML (Google Earth), συναρτήσεις επεξεργασίας εφημερίδων δορυφόρων και χρονομέτρων, μοντέλα γεωειδούς, απόλυτος και σχετικός εντοπισμός θέσης.

Το RTKLIB είναι ένα πρόγραμμα απλό και φιλικό προς το χρήστη σε γραφικό περιβάλλον χρήστη, ώστε να γίνεται πιο κατανοητό σε σύγκριση με το TEQC. Επίσης υποστηρίζει δεδομένα από όλα τα δορυφορικά συστήματα GNSS (GPS, GLONASS, Galileo, QZSS, BeiDou και SBAS) ενώ δέχεται και πολλούς μορφότυπους αρχείων όπως RINEX, CLK, RTCM, BINEX, NTRIP, ANTEX [Δημοπούλου Μ. 2008]

2.3.1 Δομή RTKLIB

Το συγκεκριμένο πρόγραμμα προσφέρεται για πραγματικού χρόνου επιλύσεις αλλά και εκ των υστέρων επεξεργασία με τις διάφορες εφαρμογές που διαθέτει. Οι βασικοί πυλώνες επεξεργασίας μέσω RTKLIB αναφέρονται αναλυτικά παρακάτω:

1)RTKLAUNCH

Η εφαρμογή RTKLAUNCH αποτελεί την εναρκτήρια εφαρμογή όπου

μέσω αυτής ενεργοποιούνται όλες οι υπόλοιπες.

2) STRSVR

Η εφαρμογή STRSVR αποτελεί ένα διακομιστή επικοινωνίας και αποστολής συντεταγμένων θέσης από τον δέκτη στην εφαρμογή RTKNAVI για πραγματικού χρόνου επεξεργασία σε οποιαδήποτε τοποθεσία επιθυμεί ο χρήστης.

3) Real-Time Positioning (RTKNAVI)

Η συγκεκριμένη εφαρμογή έχει σκοπό την εξαγωγή συντεταγμένων σε πραγματικό χρόνο (RTK) εισάγοντας πρωτογενείς παρατηρήσεις (raw observations). Κατά τη διαδικασία αυτή ο χρήστης πρέπει να κάνει γνωστό στο πρόγραμμα τα αρχεία εισόδου, το σταθμό αναφοράς καθώς και τον τρόπο εισαγωγής τους (π.χ σειριακή θήρα κλπ). Επίσης οφείλει να γνωστοποιήσει στο σύστημα αν θα επιθυμούσε τη σύνδεση μέσω διαδικτύου για λήψη δεδομένων σε πραγματικό χρόνο από μόνιμους σταθμούς μέσω των διακομιστών-NTRIP. Τέλος ο χρήστης καλείται να διαλέξει τον τύπο αρχείου εξαγωγής των αποτελεσμάτων, ώστε να ξεκινήσει η διαδικασία εντοπισμού.

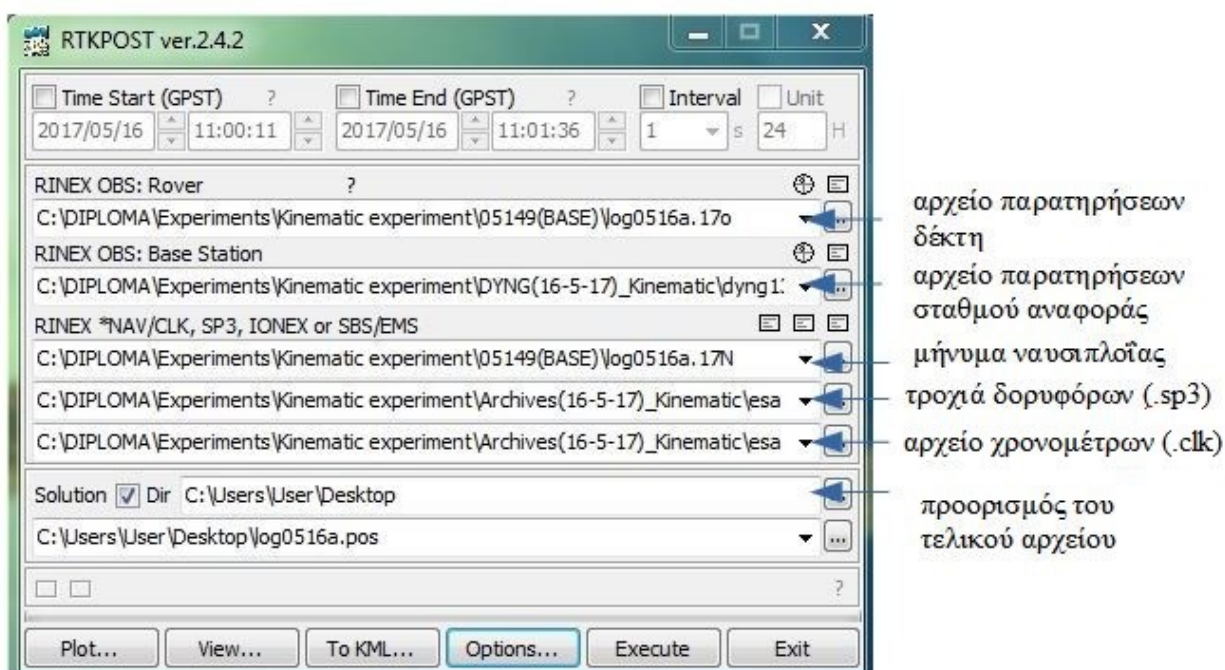
4) Post-Processing Analysis (RTKPOST)

Αυτή η λειτουργία είναι μια από τις ευρέως χρησιμοποιούμενες και αναφέρεται στη μετεπεξεργασία των παρατηρήσεων. Με αυτή την εφαρμογή μπορεί να γίνει η εκ των υστέρων επεξεργασία παρατηρήσεων για οποιαδήποτε στατική ή κινηματική τεχνική. Γενικά είναι εξαιρετικά εύχρηστη και άκρως κατανοησίμη για οποιοδήποτε χρήστη.

Πρώτα από όλα ζητείται το αρχείο RINEX των παρατηρήσεων (.yyo) και έπειτα, αν απαιτείται από τη μέθοδο επίλυσης, το αντίστοιχο αρχείο του σταθμού αναφοράς. Τα υπόλοιπα κατά σειρά αρχεία που ζητούνται είναι αυτά του μηνύματος ναυσιπλοΐας (.yyr) το οποίο είτε μπορεί να έχει ληφθεί από κάποια διεθνή υπηρεσία μέσω διαδικτύου είτε να είναι το ίδιο που έχει παραλάβει ο δέκτης (.yyN). Στη συνέχεια εισάγονται τα αρχεία με τις ακριβείς τροχιές των δορυφόρων GPS και GLONASS (.sp3) καθώς και ένα αρχείο δεδομένων των χρονομέτρων (.clk). (εικόνα 2.2) [Takasu T. 2013].

Τέλος ζητείται ο προορισμός του παραγόμενου αρχείου για αποθήκευση το οποίο είναι ένα αρχείο τύπου (.pos). Το παραγόμενο αρχείο (.pos) εμφανίζει αρχικά τις επιλεγμένες παραμέτρους οι οποίες εισήχθησαν κατά την εκτέλεση της διαδικασίας και στη συνέχεια εμφανίζονται τα αποτελέσματα. Στο αρχείο .pos συμπεριλαμβάνονται κατά σειρά στηλών η ημερομηνία, ο χρόνος GPS, το γεωδαιτικό πλάτος

(Latitude) και γεωδαιτικό μήκος (Longitude) σε μοίρες, γεωμετρικό υψόμετρο (height) σε μέτρα, η στήλη Q η οποία ανάλογα με τη τιμή της έχει και μια διαφορετική σημασία π.χ Q=1 λύση fix, Q=2 λύση float κ.ο.κ (στο αρχείο αναφέρεται επακριβώς η σημασία του δείκτη Q ανάλογα με τον αριθμό), αριθμός παρατηρούμενων δορυφόρων ns, σφάλματα σε ένα τοπικό προβολικό σύστημα αναφοράς sdn, sde και sdu σε μέτρα καθώς και οι συμμεταβλητότητες αυτών σε μέτρα (sdne, sdeu, sdun), εποχές age(s) και ο δείκτης signal noise ratio που παρουσιάζει το λόγο σήματος προς θόρυβο και όσο περισσότερο η τιμή του υπερβαίνει το 1, η παρατήρηση θεωρείται ότι πρέπει να απορριφθεί διότι υπερσχύει ο θόρυβος από το ίδιο το σήμα. Οι γεωδαιτικές συντεταγμένες φ,λ καθώς και το γεωμετρικό υψόμετρο h αναφέρονται στο WGS84.

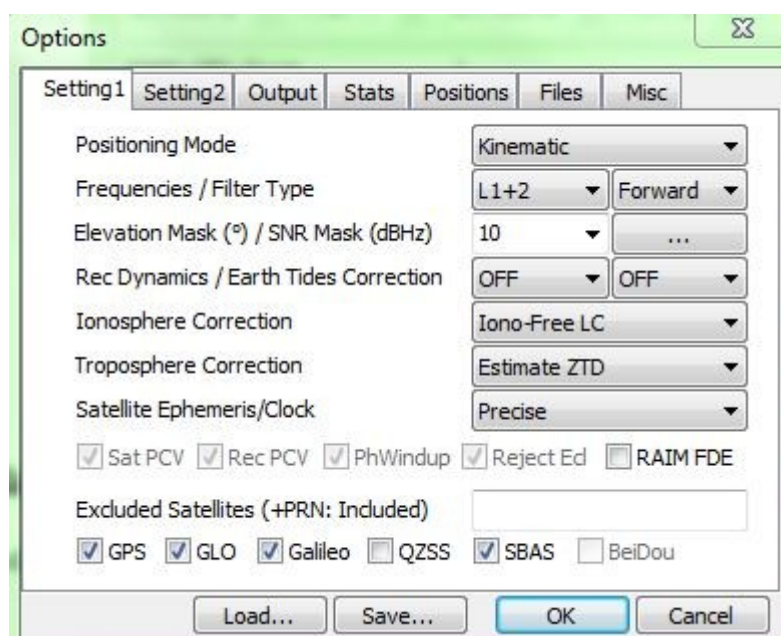


Εικόνα 2.2 Αρχεία εισαγωγής προς επεξεργασία RTKPOST κεντρικό μενού
Πηγή: [RTKLIB]

Όπως φαίνεται (εικόνα 2.2) το αρχικό μενού, άξιες αναφοράς είναι οι επιλογές Plot, View και To KML.

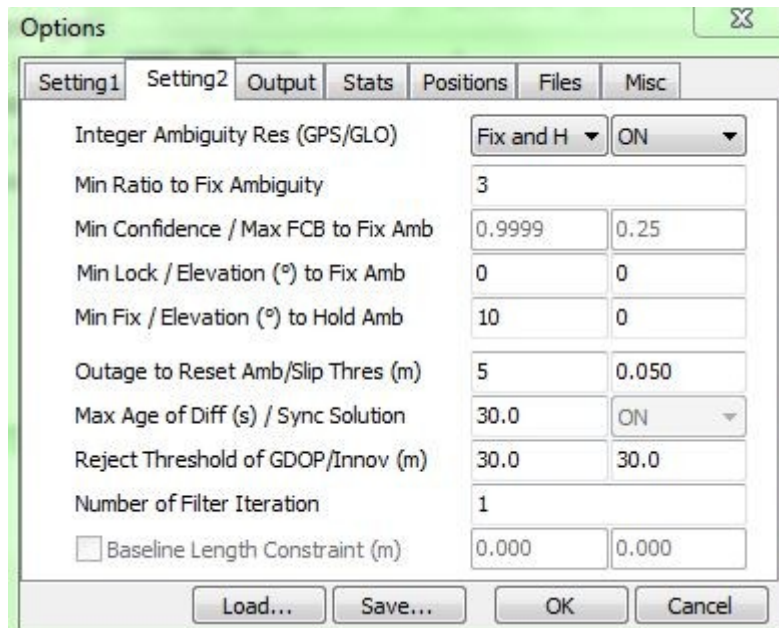
- Η επιλογή Plot αποτελεί την εφαρμογή της λειτουργίας RTKPLOT και εξηγείται εκτενέστερα παρακάτω.
- Με την επιλογή View εμφανίζονται το αρχεία επίλυσης .pos
- Τέλος δίνεται η δυνατότητα αναφοράς της θέσης της επιλυμένης κινηματικής και στατικής πορείας σε περιβάλλον Google Earth με την επιλογή To KML.

Σε δεύτερο επίπεδο συμπληρώνονται από τον χρήστη οι μέθοδοι επεξεργασία των δεδομένων καθώς ζητείται μέσα από την επιλογή Options→Settings 1, η δορυφορική τεχνική επεξεργασίας (Positioning Mode), ο συνδυασμός των φέρουσων συχνοτήτων (Frequencies) και το είδος της λύσης (όπισθεν, έμπροσθεν, συνδυασμός) (Filter Type), η γωνία αποκοπής των δορυφόρων στον ορίζοντα (Elevation Mask), επιλογή μοντέλου διορθώσεων γήινων παλιρροιών (Earth Tide Dynamics), επιλογή διόρθωσης ιονόσφαιρας (Ionosphere Correction), μοντέλο τροπόσφαιρας (Troposphere Correction) καθώς και η επιλογή αν θα δοθούν οι ακριβείς τροχιές των δορυφόρων (Satellite Ephemeris/Clock) αρχείο (.sp3). Βέβαια υπάρχουν και άλλες επιλογές όπως να συμπεριληφθούν οι διορθώσεις για τα κέντρα φάσης των κεραιών δεκτών και δορυφόρων STA PVC αρχεία (.atx). Τέλος συμπεριλαμβάνεται επιλογή επιθυμητού δορυφορικού συστήματος GNSS (εικόνα 2.3).



*Εικόνα 2.3 Παράμετροι επεξεργασίας των δεδομένων
Πηγή: [RTKLIB]*

Οι επόμενες επιλογές στην καρτέλα της εικόνας 2.4 αφορούν επιλογές που περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων: πως θα επιλυθούν οι ακέραιες ασάφειες φάσης (Integer Ambiguity Res) και αν θα επιλυθούν ακέραιες φάσης στο σύστημα GLONASS, επιλογή επιπέδου εμπιστοσύνης για τη μέθοδο PPP, ελάχιστη γωνία για την οποία επιλύεται η ακέραια ασάφεια φάσης κ.α

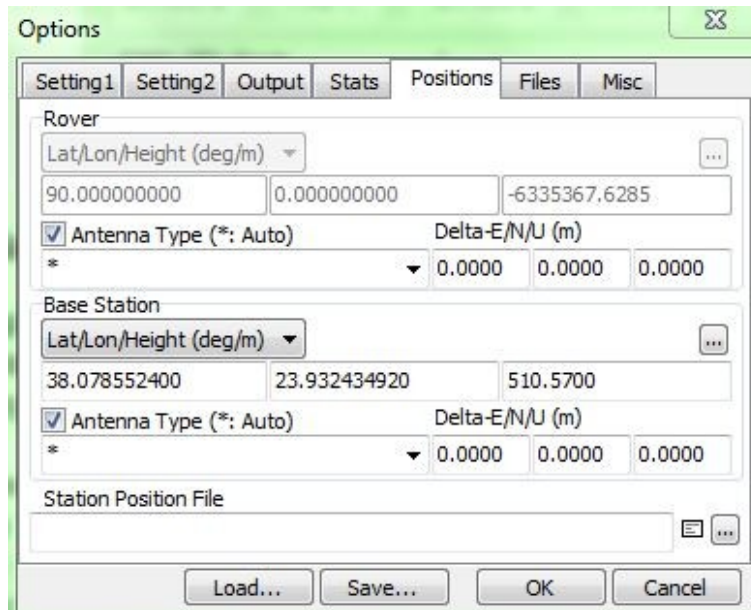


Εικόνα 2.4 Επιπλέον επιλογές παραμέτρων (settings 2)
Πηγή: [RTKLIB]

Η καρτέλα Output περιλαμβάνει επιλογές σχετικές με το παραγόμενο αρχείο όπως το είδος των συντεταγμένων (Solution Format), το σύστημα αναφοράς (Datum), τη μορφή της ώρας (Time Format) και των συντεταγμένων (Latitude/Longitude Format), το υψόμετρο αν θα είναι γεωμετρικό ή ορθομετρικό (Height)

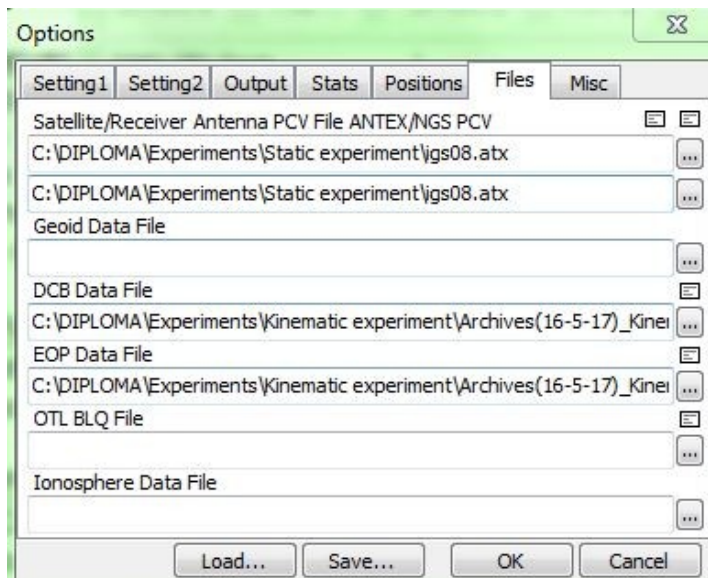
Μετάπειτα στην επιλογή Stats υπάρχουν παράμετροι που αφορούν αποδεκτά σφάλματα και αποδεκτές τιμές θορύβου.

Στην επόμενη καρτέλα Positions (εικόνα 2.5) εισάγεται ο τύπος της κεραίας του κινητού δέκτη και του σταθμού αναφοράς εφόσον υπάρχει. Το σύμβολο * σημαίνει πως το λογισμικό από μόνο του θα ψάχνει στο αρχείο .atx τον τύπο της κεραίας με το αναγραφόμενο ύψος. Αυτό το αρχείο λαμβάνεται από διεθνείς υπηρεσίες και εισάγεται στην επόμενη καρτέλα Files. Ακόμη πρέπει να συμπεριληφθούν οι συντεταγμένες του σταθμού αναφοράς ή ένα επιλυμένο αρχείο θέσης από προηγούμενη λύση RTKLIB του εν λόγω σημείου.



*Εικόνα 2.5 Επιλογή αρχείων κεραιών και θέσης σταθμού αναφοράς
Πηγή: [RTKLIB]*

Στο τελικό στάδιο Files (εικόνα 2.6) εισάγονται όπως αναφέρθηκε παραπάνω τα αρχεία .atx για τις κεραιές του κινούμενου και σταθερού δέκτη (Receiver Antenna PCV ANTEX) καθώς και αρχεία DCB και EOP τα οποία αφορούν συγκεκριμένες μέρες, λαμβάνονται από διεθνής υπηρεσίες και αποτελούν αρχεία παραμέτρων για σφάλματα μεταξύ των κωδικών (Differential Code Biases) και παραμέτρων περιστροφής της Γης αντίστοιχα.



*Εικόνα 2.6 Εισαγωγή αρχείων κεραιών και παραμέτρων σφαλμάτων και περιστροφής της Γης.
Πηγή: [RTKLIB]*

5) RTKPLOT

Η εφαρμογή RTKPLOT αφορά την οπτικοποίηση των δεδομένων επίλυσης. Ειδικότερα δημιουργεί γραφήματα τόσο του ίχνους των σημείων στο έδαφος, όσο και για την κίνηση των σημείων και την επιτάχυνση μεταβολής της θέσης τους μέσα στο χρονικό διάστημα παρατήρησης κατά East-West, North-South και Up-Down. Με το RTKPLOT είναι δυνατή η αποτύπωση της λύσης της θέσης σε περιβάλλον Google Earth. Επιπλέον υπάρχει η λειτουργία ανάλυσης ορατότητας των δορυφόρων και εισαγωγής αρχείων για την αναπαράσταση του ουράνιου θόλο (skyplot) κατά τη διάρκεια των παρατηρήσεων, ώστε ο χρήστης να μπορεί να εξάγει συμπεράσματα σε σχέση με τη γεωμετρία των δορυφόρων.

6) RTKGET

Η λειτουργία RTKGET είναι μια πολύ χρήσιμη εφαρμογή για την λήψη των διάφορων αρχείων της εισαγωγής των παραμέτρων από διεθνείς υπηρεσίες και οργανισμούς μέσω διαδικτύου. Τέτοια αρχεία είναι τύπου (obs, nav, atx, epr) για όλες τις παραμέτρους εισόδου που απαιτείται να συμπληρωθούν στο RTKPOST.

8) Το RTKCONV δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να μετατρέψει τα πρωτογενή δεδομένα που λαμβάνει από το δέκτη σε RINEX αρχεία.

9) Το NTRIP Browser επιτρέπει την περιήγηση στα δεδομένα που προέρχονται από τους διακομιστές του πρωτόκολλου επικοινωνίας NTRIP.

2.3.2 Απόκτηση αρχείων εισόδου των παραμέτρων

Η προέλευση των δεδομένων των παραμέτρων που εισάγονται στο RTKLIB προέρχονται από διάφορες διεθνείς υπηρεσίες που ασχολούνται με τον δορυφορικό εντοπισμό θέσης.

Πρόκειται για παγκόσμιας εμβέλειας οργανισμούς όπως η εθελοντική οργάνωση IGS, η οποία λειτουργεί υπό την αιγίδα και εποπτεία της Παγκόσμιας Γεωδαιτικής Ένωσης και απαρτίζεται από διάφορα πανεπιστήμια και ερευνητικά κέντρα σε πάνω από 100 χώρες, τα οποία συνεργάζονται για να παρέχουν τα βέλτιστα δυνατά προϊόντα. Αυτά τα προϊόντα αναφέρονται σε τροχιές δορυφόρων GNSS, παραμέτρους περιστροφής της Γης, ακριβείς συντεταγμένες σταθμών αναφοράς και τη

μεταβολή της θέσης τους στο χρόνο, ακριβείς διορθώσεις των χρονομέτρων δορυφόρων-σταθμών και αρχεία ατμοσφαιρικών μοντέλων διορθώσεων. Η υπηρεσία διαθέτει υπό την επίβλεψη της τουλάχιστον 400 μόνιμους σταθμούς αναφοράς παγκοσμίως οι οποίοι παρέχουν δεδομένα καθημερινώς. Ο μόνιμος σταθμός DYNG στο Κέντρο Δορυφόρων Διονύσου είναι ο μοναδικός στην Ελληνική επικράτεια που συμμετέχει στο δίκτυο της IGS.

Ένας άλλος οργανισμός από τον οποίο παρέχονται δεδομένα είναι η ESA μια υπηρεσία που έχει ιδρυθεί από χώρες της Ευρώπης αλλά και συνεργαζόμενες χώρες εκτός, η οποία είναι υπεύθυνη για το διαστημικό πρόγραμμα της Ευρώπης, διαχειρίζεται το Galileo και παρέχει δορυφορικά δεδομένα.

Τα αρχεία .clk και sp3 αφορούν τα χρονόμετρα των δορυφόρων και της ακριβής τροχιάς τους αντίστοιχα, λαμβάνονται μέσω του RTKGET από την ESA.

Τα αρχεία .epf για τις παραμέτρους περιστροφής της Γης και DCB για τα σφάλματα των κωδικών από την υπηρεσία RTKGET επίσης.

Το αρχείο atx που σχετίζεται με τα ύψη των κεραιών και αποστάσεις κέντρων φάσεων του δορυφόρου και του δέκτη από την IGS.

2.3.3 Αυτοματισμοί στο περιβάλλον εργασίας του RTKLIB

Για να πραγματοποιηθούν όλες οι απαραίτητες διαδικασίες επεξεργασίας των πρωτογενών αρχείων μέσω του TEQC, συλλογής των παραμέτρων εισόδου στο RTKLIB και εκτέλεση των διάφορων λειτουργιών χρειάζεται εξαιρετική εξοικείωση του χρήστη με τα λογισμικά, με τις υπηρεσίες που παρέχουν τα δορυφορικά δεδομένα καθώς και με τα αρχεία αυτά καθαυτά. Το γεγονός αυτό καθιστά το RTKLIB ένα λογισμικό που απευθύνεται σε χρήστες που χρειάζεται να ειδικευθούν πάνω στο λογισμικό και να αφιερώσουν χρόνο ώστε να εξοικειωθούν με αυτό. Για αυτό το λόγο μόλις προ λίγων μηνών (2017), δημιουργήθηκε η ιδέα σχεδιασμού μιας συμπληρωματικής εξωτερικής πλατφόρμας «GNSS 'L' GUI» η οποία δίνει τη δυνατότητα εκτέλεσης πληθώρας ενεργειών πιο αυτοματοποιημένα. Τέτοιες δυνατότητες είναι:

- Λήψη αρχείων από ιστοσελίδες

- Εκτέλεση λειτουργιών TEQC
- Εκτέλεση λειτουργιών RTKLIB
- Εξαγωγής μονοσήμαντης λύσης από το RTKLIB
- Δημιουργία γραφημάτων

Μέσω αυτού του συμπληρωματικού μικρού λογισμικού που μπορεί να συνοδεύσει το RTKLIB, γίνονται αυτόματα λειτουργίες χωρίς την ανάγκη ο χρήστης να εξειδικευτεί πάνω στο αντικείμενο για να εκτελέσει μια λειτουργία στο RTKLIB [Λιώλης Δ. 2017].

Επιπρόσθετα τον τελευταίο χρόνο (2017) δημιουργήθηκαν δύο ακόμη λογισμικά που πλαισιώνουν το RTKLIB και δρουν επικουρικά ώστε να γίνει ακόμη πιο εύκολη η χρήση του. Οι δύο νέες εφαρμογές που δημιουργήθηκαν να συνοδεύουν το RTKLIB έχουν σκοπό ο χρήστης:

- να μπορεί να αποκτήσει ευκολότερα τις παραμέτρους εισόδου που χρειάζεται να εισάγει στο λογισμικό με το GNSSGET
- να μπορεί να οπτικοποιήσει σε γραφήματα και διαγράμματα τα αποτελέσματα που λαμβάνει μέσω του GNSSPLOT.

Στο GNSSGET μέσω ενός παραθυρικού προγράμματος ο χρήστης πολύ εύκολα και μεθοδικά μπορεί να αποκτήσει τα διάφορα δορυφορικά προϊόντα που χρειάζεται από τους διάφορους διεθνείς οργανισμούς, ενώ με το GNSSPLOT μέσω και πάλι ενός πολύ φιλικού παραθυρικού προγράμματος να οπτικοποιήσει τα αποτελέσματά του [Κασελίμη Μ. 2017].

2.4 Η Υπηρεσία CSRS-PPP

Η Υπηρεσία CSRS-PPP είναι μια διαδικτυακή πλατφόρμα παροχής υπηρεσιών δορυφορικού εντοπισμού υψηλής ακρίβειας απόλυτου προσδιορισμού θέσης. Η συγκεκριμένη υπηρεσία διατίθεται από την Καναδική Υπηρεσία Φυσικών Πόρων (NRC) στην οποία υπάγεται η Ομοσπονδιακή Γεωδαιτική Υπηρεσία του Καναδά και είναι δωρεάν και ελεύθερη για όλους τους χρήστες παγκοσμίως. Η εφαρμογή είναι εξαιρετικά απλή και φιλική προς το χρήστη και παρέχει αποτελέσματα θέσης στατικού ή κινηματικού προσδιορισμού PPP.

Η διαδικασία υποβολής των αρχείων προς επεξεργασία απαιτεί ηλεκτρονική εγγραφή μέσω e-mail στο οποίο παραδίδονται και τα αποτελέσματα της επεξεργασίας. Έπειτα ερωτάται ποια ήταν η τεχνική (στατικού ή κινηματικού) εντοπισμού που ο χρήστης επιθυμεί να εφαρμοστεί στα δεδομένα που υποβάλλει. Στη συνέχεια ο χρήστης

επιλέγει το σύστημα αναφοράς που επιθυμεί να εξαχθούν οι τελικές συντεταγμένες, μεταξύ του NAD83 και του ITRF και σε περίπτωση επιλογής του πρώτου οφείλει να επιλέξει την εποχή στην οποία θα αναφέρονται οι συντεταγμένες ενώ στο ITRF επιλέγεται από προεπιλογή ίδια εποχή με τα δεδομένα. Η επιλογή Vertical Datum αφορά τους χρήστες της Βόρειας Αμερικής (ΗΠΑ-Καναδά) μιας και διατίθενται δύο μοντέλα γεωειδούς για εκείνη την περιοχή. Τέλος ζητείται ένα αρχείο παρατηρήσεων RINEX ή ένα συμπιεσμένο αρχείο RINEX για γρηγορότερη αποστολή με τη μορφή UNIX (.Z), Hatanaka (.YYd), ZIP (.zip) ή gzip (gzip) (εικόνα 2.7). Το μέγιστο μέγεθος αρχείο που μπορεί να αποσταλεί είναι 100MB που αντιστοιχεί σε αρχείο παρατηρήσεων 6 ημερών.

Από τη στιγμή της αποστολής ο χρήστης αναμένει πλέον μόνο τα αποτελέσματα και οποιαδήποτε επεξεργασία πλέον λαμβάνει χώρα στους servers της υπηρεσίας. Η επεξεργασία γίνεται στις δύο φέρουσες συχνότητες L1,L2 και στις παρατηρήσεις των ψευδοαποστάσεων. Σε περίπτωση αποτυχίας στη διαδικασία η επεξεργασία επαναλαμβάνεται στη μέτρηση του κώδικα στη συχνότητα L1. Η μέθοδος επεξεργασίας είναι ο υψηλής ακρίβειας προσδιορισμός θέσης κινηματικά ή στατικά. Για την επίλυση χρησιμοποιούνται παγκόσμια προϊόντα τροχιών και χρονομέτρων πολύ υψηλής ακρίβειας, γι αυτό το λόγο μπορούν επιλυθούν παρατηρήσεις από όλη τη Γη. Η υπηρεσία CSRS-PPP είναι η μόνη διαδικτυακή υπηρεσία η οποία εκτός του ότι δέχεται GLONASS αρχεία παρατηρήσεων, επίσης επεξεργάζεται GLONASS δορυφορικά δεδομένα για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων πέρα του GPS φυσικά,

Το αποτέλεσμα είναι είτε μια κινηματική πορεία αποτύπωσης σημείων με τη μέθοδο PPP-Kinematic είτε ένα σταθερό σημείο με τη μέθοδο PPP-Static. Τα αρχεία που λαμβάνονται είναι σε ένα ZIP το οποίο περιλαμβάνει:

- Ένα αρχείο csv, το οποίο γίνεται προβολή σε περιβάλλον excel. Σε αυτό το αρχείο περιέχονται οι θέσεις των σημείων (γεωδαιτικό πλάτος, μήκος και γεωμετρικό υψόμετρο) ανά χρονική στιγμή GPST.
- Ένα pdf αρχείο στο οποίο εμφανίζονται οι μέσοι όροι των γεωδαιτικών συντεταγμένων φ,λ στο ITRF14 και του γεωμετρικού υψομέτρου h εφόσον γίνεται επίλυση για ένα στατικό σημείο. Ακόμη κάθε συντεταγμένη και το γεωμετρικό υψόμετρο συνοδεύονται από το αντίστοιχο τυπικό τους σφάλμα το οποίο για το φ και το λ είναι εκφρασμένο σε ένα τοπικό προβολικό σύστημα

αναφοράς. Στον κινηματικό εντοπισμό εμφανίζονται χάρτες με την αποτυπωμένη πορεία καθώς και πληροφορίες σχετικά με το χρόνο έναρξης και λήξης των παρατηρήσεων, τυπικά σφάλματα για την επίλυση με τις φέρουσες συχνότητες και με το κώδικα ψευδοαποστάσεων, συχνότητες επίλυσης, μάσκα αποκοπής, πληροφορίες της κεραίας. Επιπλέον όλες αυτές οι χρήσιμες πληροφορίες συνοδεύονται από επεξηγηματικά γραφήματα τα οποία παρουσιάζουν την θέση των δορυφόρων κατά τη στιγμή των παρατηρήσεων, τη μεταβολή της θέσης των σημείων κατά φ,λ,h στο χρονικό διάστημα των παρατηρήσεων, τα εκτιμώμενα τροποσφαιρικά σφάλματα κ.α. Ίδιες πληροφορίες εμφανίζονται και για τα στατικά σημεία [Δημοπούλου Μ. 2008].

- Ένα αρχείο .sum που περιλαμβάνει όλες τις πληροφορίες σχετικά με το αρχείο RINEX που εισήχθηκε, της εφημερίδες των τροχιών και των χρονομέτρων που χρησιμοποιήθηκαν, τις παραμέτρους που λήφθηκαν υπόψη στις μετρήσεις κώδικα και φέρουσων συχνοτήτων, οι ίδιες οι μετρήσεις με τα τετραγωνικά τους σφάλματα ανά εποχή παρατήρησης.
- Τέλος δίνεται και ένα αρχείο .pos με τις εκτιμώμενες παραμέτρους του σταθμού για κάθε εποχή παρατηρήσεων.

Precise Point Positioning

► Help for CSRS PPP (Updated 2017-01-26)

Profile Sign out

Email for results (required)

← Δώστε το email σας

Processing mode

Static Kinematic

NAD83

ITRF

← Επιλέξτε 'Kinematic' και ITRF

- The epoch will be the same as the GPS data.
- A UTM zone will be calculated from the longitude.

Vertical datum

CGDV28(HT2_0) ▾

► More options

RINEX observation file (required) (.zip, .gzip, .gz, .Z, .???)

Επιλογή αρχείου DL04555.17o

← Επιλέξτε από τον υπολογιστή σας το RINEX αρχείο των μετρήσεων

Submit to PPP



Εικόνα 2.7 Μενού επιλογής αρχείου CSRS-PPP

Πηγή: [<https://www.nrcan.gc.ca>]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ

3.1 Εξοπλισμός και παρελκόμενα

Κατά τη διαδικασία εφαρμογής του κινηματικού πειράματος χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις δέκτες GNSS ίδιου τύπου εκ των οποίων οι τρεις χρησιμοποιήθηκαν για την αποτύπωση της κινηματικής πορείας και ο ένας ως σταθμός αναφοράς σε βάθρο στην οροφή του κτηρίου Λαμπαδαρίου. Επίσης χρησιμοποιήθηκαν τρεις στείλεοί ανθρακονημάτων για την στήριξη των δεκτών και ένα τρικόχλιο για την πάκτωση του σταθμού αναφοράς στο βάθρο.

Οι δέκτες που χρησιμοποιήθηκαν είναι της εταιρίας JAVAD GNSS και τύπου Triumph 1 (εικόνα 3.1). Οι συγκεκριμένοι δέκτες έχουν τη δυνατότητα:

- Καταγραφής σε 216 κανάλια και συχνότητες για το GPS L1/L2/L2C/L5 και για το GLONASS L1/L2, για το GALILEO E1/E5A, για το QZSS L1/L2/L5, Beidou L1/L5 και για το SBAS L1/L5
- Υποστήριξη του μελλοντικού δορυφορικού συστήματος Galileo
- Μπαταρίες λιθίου διάρκειας 15 ωρών
- Μνήμη 2GB
- Ευκολότερη επίλυση των ασαφειών φάσης και εξάλειψη του ιονοσφαιρικού σφάλματος αλλά και ισχυρότερο σήμα κατά τη στιγμή της λήψης από το δέκτη μέσω της νέας εκσυγχρονισμένης συχνότητας L2C
- Δυνατότητες σύνδεσης μέσω Bluetooth και Wi-Fi
- Λυχνίες με κλιμακούμενη ένταση (κόκκινο, κίτρινο, πράσινο) από αριστερά προς τα δεξιά (εικόνα 3.1) διάρκεια μπαταρίας, σύνδεση Bluetooth, σύνδεση με ραδιοζεύξη ή το χειριστήριο, αριθμός δορυφόρων, επίλυση ασαφειών φάσης, ένδειξη καταγραφής δεδομένων

Οι ακρίβειες που μπορεί να επιτύχει ο δέκτης σε ευνοϊκές συνθήκες παρατήρησης σε ένα εύλογο χρονικό διάστημα ανάλογα με τη τεχνική που χρησιμοποιείται είναι:

- Αυτόνομα κάτω από 2m, χωρίς να ληφθεί υπόψιν η μετεπεξεργασία των παρατηρήσεων με αρχεία ακριβείας

- Κινηματικά, οριζοντιογραφικά 1cm +1ppm ανάλογα με το μήκος της βάσης και υψομετρικά 1.5cm +1ppm ανάλογα με το μήκος της βάσης
- Στατικά, οριζοντιογραφικά 0.3cm +0.1ppm ανάλογα με το μήκος της βάσης και υψομετρικά 0.35cm + 0.4ppm ανάλογα με το μήκος της βάσης



*Εικόνα 3.1 Λυχνίες ένδειξης δέκτη JAVAD TRIUMPH
Πηγή : [προσωπική συλλογή]*

3.2 Αναλυτική περιγραφή των διαδρομών

Με τον παραπάνω εξοπλισμό εκτελέστηκε το πείραμα με τη διαδικασία του κινηματικού εντοπισμού. Η κεντρική ιδέα του πειράματος ήταν η υλοποίηση τριών διασταυρούμενων κινηματικών πορειών μέσα στη Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου με τους δέκτες ανά χείρας σε αργό και σταθερό ρυθμό βαδίσματος. Ζητούμενο ήταν η αποτύπωση της κινηματικής πορείας της διαδρομής καθώς και στάσεις περίπου 5 λεπτών σε προκαθορισμένα σημεία τα οποία ήταν εμφανή από τους χάρτες της Google map, προκειμένου να γίνει έλεγχος ακρίβειας ταύτισης των συντεταγμένων που προέρχονται από επεξεργασία των παρατηρήσεων από το λογισμικό RTKLIB και CSRS-PPP.

Η διαδικασία του πειράματος πραγματοποιήθηκε στις 16/5/17 και ώρα έναρξης 10:00 UTC +2. Οι δέκτες και τα ύψη κεραιών παρουσιάζονται στον πίνακα 3.1. Οι διαδρομές ήταν ξεχωριστής πορείας, συνέπιπταν εσκεμμένα σε κάποια κομμάτια ώστε να ελεγχθεί κατά πόσο καλά αποτυπώνουν παρόμοια κομμάτια διαδρομών.

Δέκτης	Ύψος κεραίας
04626	1.64m
04280	1.606m
04592	1.285m
05149 (Base)	0.438m

Πίνακας 3.1 Δέκτες και ύψη κεραιών

Το σημείο έναρξης (εικόνα 3.2) ήταν το ίδιο για όλες τις πορείες. Αυτό το σημείο είναι το Δ2 και βρίσκεται στο πάρκινγκ δίπλα από το κτήριο Λαμπαδαρίου. Όλοι οι κινητοί δέκτες παρέμειναν στο σημείο Δ2 για 7-8 λεπτά περίπου ο καθένας πριν την έναρξη της πορείας αλλά και στη λήξη, χρονικό διάστημα ικανό ώστε να επιλυθούν οι ασάφειες φάσης για να προσδιορίσει ο δέκτης τη θέση του (λύση fixed).



*Εικόνα 3.2 Σημείο εκκίνησης και τερματισμού Δ2
Πηγή: [προσωπική συλλογή]*

Δέκτης 04626

Ο δέκτης ακολουθεί τη κινηματική πορεία που φαίνεται στον χάρτη 3.1. Ξεκινά από το Δ2 παραμένοντας στο σημείο 6 λεπτά και πορεύεται στον περιμετρικό της Πολυτεχνειούπολης προς τη πύλη Κατεχάκη. Η πρώτη στάση που πραγματοποιεί είναι στο σημείο Στ40 μπροστά από τη φοιτητική εστία. Ύστερα στρίβοντας προς Βορρά κατευθύνεται στο νέο κτήριο της ΣΕΜΦΕ. Το δεύτερο σημείο (ΣΕΜΦΕ) βρίσκεται στη κορυφή του πλατώματος δίπλα στον κόκκινο διάδρομο με τα σκαλοπάτια προς το παλαιό κτήριο της ΣΕΜΦΕ. Έπειτα κινείται προς το πίσω χώρο στάθμευσης των Πολιτικών Μηχανικών όπου σταματά σε τρία σημεία (Στ94, Στ92, Δ5) διαδοχικά. Στη συνέχεια προχωρά προς τον περιμετρικό δρόμο της Πολυτεχνειούπολης και σταματά σε ένα σημείο στο πεζοδρόμιο πάνω στη στροφή απέναντι από το μετεωρολογικό σταθμό (σημείο MET). Τέλος παίρνει κατεύθυνση προς το κτίριο των Λιμενικών Έργων παραμένοντας εκεί σε ένα σημείο έξω από το κτίριο (σημείο ΛΙΜΕΝ), αφού πρώτα αποτυπώσει το δρόμο προς το εργαστήριο

Αντισεισμικής Τεχνολογίας. Το σημείο τερματισμού είναι και πάλι το σημείο Δ2 περνώντας μπροστά από τα κτήρια Βέη και Λαμπαδαρίου.

Οι χειριστές των δεκτών ήταν επιφορτισμένοι με την αρμοδιότητα να καταγράφουν επακριβώς τα λεπτά παραμονής τους στο κάθε σημείο. Αυτή η πρακτική χρησίμευσε ώστε κατά την επεξεργασία των κινηματικών πορειών να διαχωριστεί ποιά χρονική διάρκεια επακριβώς έμεινε σταθερός ο δέκτης. Στον χάρτη 3.1 καταγράφεται η κωδικοποιημένη ονομασία των σημείων ανάλογα με τη θέση τους όπως περιγράφηκε παραπάνω αλλά και η πορεία που ακολουθήθηκε.



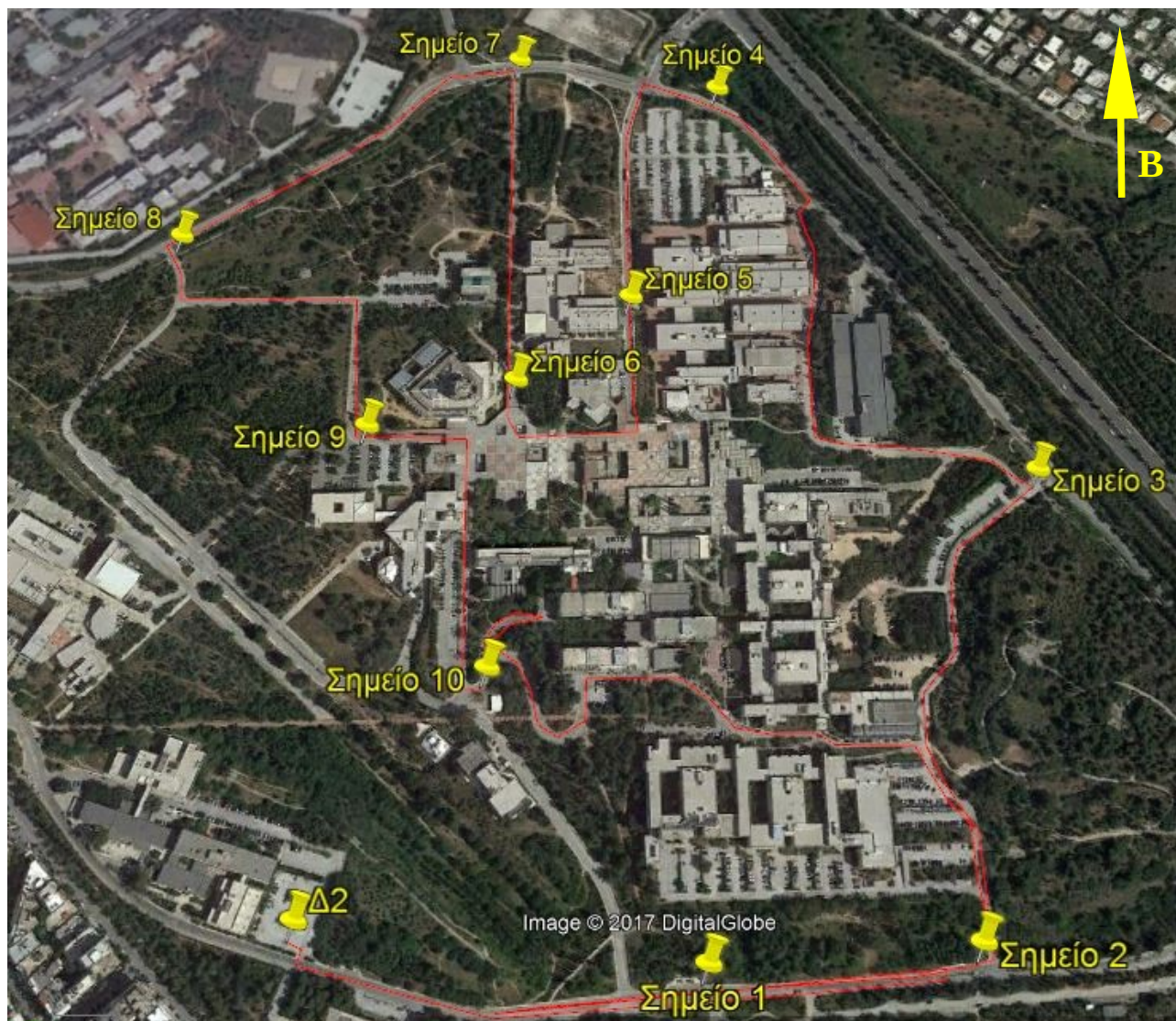
Χάρτης 3.1 Κινηματική πορεία δέκτη 04626 και στάσεις (δεξιόστροφη πορεία)

Πηγή: [Google Earth]

Δέκτης 04280

Η κινηματική πορεία του δέκτη ξεκινά από τη στάση Δ2. Η κατεύθυνση που ακολουθεί είναι ανατολικά στον περιμετρικό δρόμο της Πολυτεχνειούπολης προς την πύλη Κατεχάκη και στο πρώτο σημείο που σταματά είναι στη στάση “Ηλεκτρολόγων Μεταλλειολόγων” του λεωφορείου 242 έναντι του γυμναστηρίου (Σημείο 1). Συνεχίζοντας στην

ίδια κατεύθυνση του δρόμου σταματά στη στάση του λεωφορείου “Ίατρείο” όπου αυτό είναι το Σημείο 2. Στη συνέχεια η πορεία στρίβει προς τον δρόμο που οδηγεί στα κτήρια Ηλεκτρολόγων Μεταλλειολόγων αλλά κατευθύνεται προς το δρόμο κοντά στη σχολή των Ναυπηγών. Στο δρόμο κοντά στα κτήρια των Ναυπηγών Μηχανικών ο οποίος τέμνεται κάθετα με τον περιμετρικό της Πολυτεχνειούπολης γίνεται στάση στο Σημείο 3 πάνω στην διαγράμμιση της νησίδας. Ο δέκτης διερχόμενος στο δρόμο που οδηγεί στη σχολή των Ναυπηγών Μηχανικών επιστρέφει στον περιμετρικό, στο Σημείο 4 που είναι πάνω στη νησίδα του δρόμου προς τη πύλη Κατεχάκη. Στρίβοντας αριστερά στη πύλη Κατεχάκη προς το υπόγειο πάρκινγκ των Ηλεκτρολόγων Μηχανικών βρίσκεται το Σημείο 5 πίσω από το κτήριο των Ηλεκτρολόγων. Η διαδρομή συνεχίζεται ανεβαίνοντας προς το υπαίθριο θέατρο και διέρχεται το δρόμο μπροστά από το κτήριο των Ηλεκτρολόγων. Εκεί βρίσκονται τα Σημεία 6 και 7 πάνω σε εμφανείς γωνίες που σχηματίζει η διαγράμμιση του πεζόδρομου. Εξερχόμενοι από τον πεζόδρομο ακολουθώντας και πάλι τον περιμετρικό η πορεία κατευθύνεται προς το Θωμαΐδειο κτήριο και πάνω στη στροφή γίνεται στάση στο Σημείο 8, σε ένα σημείο του πεζοδρομίου πλησίον του σημείου ΜΕΤ από την πορεία του δέκτη 04626. Ύστερα ακολουθείται πορεία προς το κέντρο Διοίκησης και λαμβάνεται το Σημείο 9 στη στροφή δίπλα στο πάρκινγκ έξω από το κτήριο Οικονομικών. Η διαδρομή αφού πρώτα περάσει μπροστά από το κτήριο Διοίκησης και παραμένει στο σημείο 10 το οποίο βρίσκεται στο μικρό πλάτωμα κοντά στα κόκκινα σκαλοπάτια που οδηγούν στο κτήριο της ΣΕΜΦΕ (κοντινό σημείο με το ΣΕΜΦΕ από πορεία δέκτη 04626) κατευθύνεται προς το κτήριο των Μεταλλειολόγων διανύοντας το δρόμο από όπου ξεκίνησε μέχρι το Δ2 όπου τερματίζει. Τα ακριβή σημεία καθώς και η πορεία του δέκτη αποτυπώνονται με σαφήνεια στον παρακάτω χάρτη 3.2



Χάρτης 3.2 Κινηματική πορεία δέκτη 04280 και στάσεις
Πηγή: [Google Earth]

Δέκτης 04592

Η τρίτη διαδρομή που αποτυπώνεται με τον δέκτη 04592 είναι η ακόλουθη: Πάντα ως αρχή από το σημείο Δ2 ακολουθείται ο περιμετρικός της Πολυτεχνειούπολης προς ανατολικά. Το πρώτο σημείο στάσης είναι το Στ38 ακριβώς απέναντι από το Δ2. Έπειτα ακολουθώντας ακριβώς τη πορεία του δρόμου γίνονται κατά σειρά οι στάσεις: στην στάση “Φοιτητική Εστία” του λεωφορείου 242 (σημείο Φ), στο προσημασμένο σημείο Δ1 πάνω στο πεζοδρόμιο λίγα μέτρα μακριά από την προηγούμενη στάση απέναντι από την φοιτητική εστία, στη στάση του λεωφορείου 242 “Ηλεκτρολόγων Μεταλλειολόγων” (σημείο Η.Μ) και στη στάση του λεωφορείου 242 “Ιατρείο” (σημείο ΙΑΤ). Αφού

ακολουθήσει τη πορεία του περιμετρικού δρόμου στρίβει στην κατεύθυνση που οδηγεί στο κτήριο των Ναυπηγών Μηχανικών και κινείται προς τα παλαιά κτήρια των Ηλεκτρολόγων Μηχανικών. Σε εκείνο το σημείο κατευθύνεται προς τη ΣΕΜΦΕ διασχίζοντας πρώτα τη σχολή Μεταλλειολόγων. Το επόμενο σημείο στάσης είναι στον Ιερό Ναό των Τριών Ιεραρχών στο κόκκινο δρόμο που οδηγεί στη πύλη Ζωγράφου (σημείο Ε). Τελευταίο σημείο είναι στη στάση του λεωφορείου στην σχολή Τοπογράφων Μηχανικών (σημείο ΣΑΤΜ). Ο τερματισμός γίνεται στη στάση Δ2 (χάρτης 3.3).



*Χάρτης 3.3 Κινηματική πορεία δέκτη 04592 και στάσεις
Πηγή: [Google Earth]*

Δέκτης 05149

Ο δέκτης 05149 είναι ο δέκτης Base (εικόνα 3.3) ο οποίος χρησιμοποιήθηκε ως σταθμός αναφοράς για την εκτέλεση του κινηματικού προσδιορισμού. Τοποθετήθηκε σε ένα βάθρο με σταθερά καθορισμένο σημείο και γνωστές συντεταγμένες στην οροφή του κτηρίου Λαμπαδαρίου και παρέμεινε ενεργός από την αρχή μέχρι τη λήξη του κινηματικού πειράματος.



Εικόνα 3.3 Δέκτης Base στο βάθρο κτηρίου Λαμπαδαρίου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1 Γενικά

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα των μεθόδων επεξεργασίας των παρατηρήσεων που συλλέχθηκαν από τις υπαίθριες εργασίες. Παρουσιάζεται εκτενώς όλη η προεργασία, έτσι ώστε στο επόμενο κεφάλαιο να πραγματοποιηθούν οι συγκρίσεις των μεθόδων και να ερμηνευθούν τυχόν διαφορές ή ομοιότητες. Σε πρώτη φάση εκτελούνται όλες οι απαραίτητες διαδικασίες εξαγωγής των αποτελεσμάτων, τα οποία περιγράφονται εκτενώς με βοήθεια πινάκων και χαρτών.

4.2 Επίλυση RTKLIB με τη μέθοδο PPP-Kinematic

Οι τρεις διαδρομές επιλύθηκαν με τη μέθοδο του εκ των υστέρων ακριβή κινηματικού εντοπισμού θέσης (PPP-Kinematic). Κατά αυτή τη διαδικασία χρησιμοποιήθηκαν μόνο τα αρχεία των παρατηρήσεων των δεκτών και όχι του σταθμού αναφοράς (Base). Ουσιαστικά η ακρίβεια της διαδικασίας στη προκειμένη περίπτωση βασίζεται εξ ολοκλήρου στην ποιότητα των παρατηρήσεων, στις ακρίβειες των αρχείων τροχιών και χρονομέτρων, αλλά επίσης στον βέλτιστο συνδυασμό των εισαγόμενων παραμέτρων στο λογισμικό καθώς και στο ίδιο το λογισμικό.

Κάθε αρχείο δέκτη επιλύθηκε εισάγοντας το αρχείο obs (.yyo) των παρατηρήσεών του, το μήνυμα ναυσιπλοΐας (.yyN) το οποίο έλαβε κατά τη διάρκεια των μετρήσεων και τα αρχεία τροχιών ακριβείας (.sp3) και χρονομέτρων (.clk). Σχετικά με τις επιλογές των παραμέτρων επεξεργασίας, διαλέγεται η μέθοδος PPP-Kinematic στις συχνότητες L1+L2 με είδος λύσης έμπροσθεν (forward). Η μάσκα αποκοπής διαλέγεται στις 15° ή 10° για το λόγο ότι είναι επιθυμητές παρατηρήσεις με όσο το δυνατόν καλύτερο σήμα. Στην PPP μέθοδο η ποιότητα των παρατηρήσεων διαδραματίζει πολύ σημαντικό ρόλο και στον χαμηλό ορίζοντα παρεμβάλλονται διάφορα εμπόδια όπως φυλλωσιές δέντρων ή τεχνικές κατασκευές, ενώ επίσης στο σήμα που διανύει μεγάλο διάστημα μέσα στην ατμόσφαιρα υπεισέρχεται θόρυβος. Στη συνέχεια επιλέγεται η

ενεργοποίηση συνυπολογισμού από το πρόγραμμα των γήινων παλιρροιών με την εφαρμογή ενός μοντέλου παλιρροιών της στερεά Γης (solid earth tide model), για την εξάλειψη του ιονοσφαιρικού σφάλματος επιλέγεται η λειτουργία Iono free-LC κατά την οποία το πρόγραμμα πραγματοποιεί γραμμικό συνδυασμό μετρήσεων στις δύο συχνότητες του συστήματος GPS και τέλος για το τροποσφαιρικό σφάλμα εφαρμόζεται μεταξύ άλλων το μοντέλο Estimate ZTD. Η παράμετρος Satellite Ephemeris/Clock προσδιορίζεται ως “precise” διότι έχουν εισαχθεί αρχεία εφημερίδων και χρονομέτρων ακριβείας.

Έπειτα επιλέγονται διορθώσεις για :

- τα κέντρα φάσης των κεραιών δορυφόρων και δέκτη (Sat PCV, Rec PCV) μέσω του αρχείου (.atx)
- το “τύλιγμα φάσης” (Phase Windup), το οποίο ευθύνεται για σφάλματα λόγω της περιστροφής του δορυφόρου σε σχέση με το δέκτη και είναι απαραίτητο να διορθωθεί σε PPP εφαρμογές

αλλά και επιλογές όπως

- (Reject Ed) με την οποία απορρίπτονται οι δορυφόροι GPS, της συγκεκριμένης κλάσης Block IIA που δημιουργούν απρόβλεπτα σφάλματα.

Ακολούθως η μέθοδος επίλυσης των ασαφειών φάσης είναι η PPP-AR η οποία χρησιμοποιείται για υψηλής ακρίβειας εντοπισμούς θέσης. Σε αυτό το σημείο μπορούν να γίνουν διαφορετικοί πειραματισμοί σχετικά με την επιλογή του τρόπου επίλυσης των ασαφειών φάσης μιας και οι μέθοδοι ποικίλουν. Τέλος εισάγονται τα απαραίτητα αρχεία (.atx) για τις διαστάσεις και τα ύψη κεραιών των δορυφόρων και των δεκτών καθώς και τα ήδη γνωστά αρχεία περιστροφής και σφάλματα κωδίκων (.epf) και (DCB) αντίστοιχα.

Αφού αναλύθηκαν όλοι οι παράμετροι εισαγωγής εκτελέστηκε η διαδικασία και για κάθε κινηματικό αρχείο.

4.2.1 Ανάλυση εκάστοτε διαδρομής της μεθόδου PPP-Kinematic

Για τον έλεγχο των διαδρομών των δεκτών χρειάστηκαν κάποιες παράμετροι αξιολόγησης για να εκτιμηθούν τα αποτελέσματά τους. Ο έλεγχος έγινε μεθοδικά για κάθε δευτερόλεπτο παρατήρησης και τα κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν ήταν:

- ο δέκτης να παρακολουθεί από 5 δορυφόρους και άνω
- τα σφάλματα θέσης στο γεωδαιτικό πλάτος (ϕ) και μήκος (λ) να είναι μικρότερα του 0.5m.

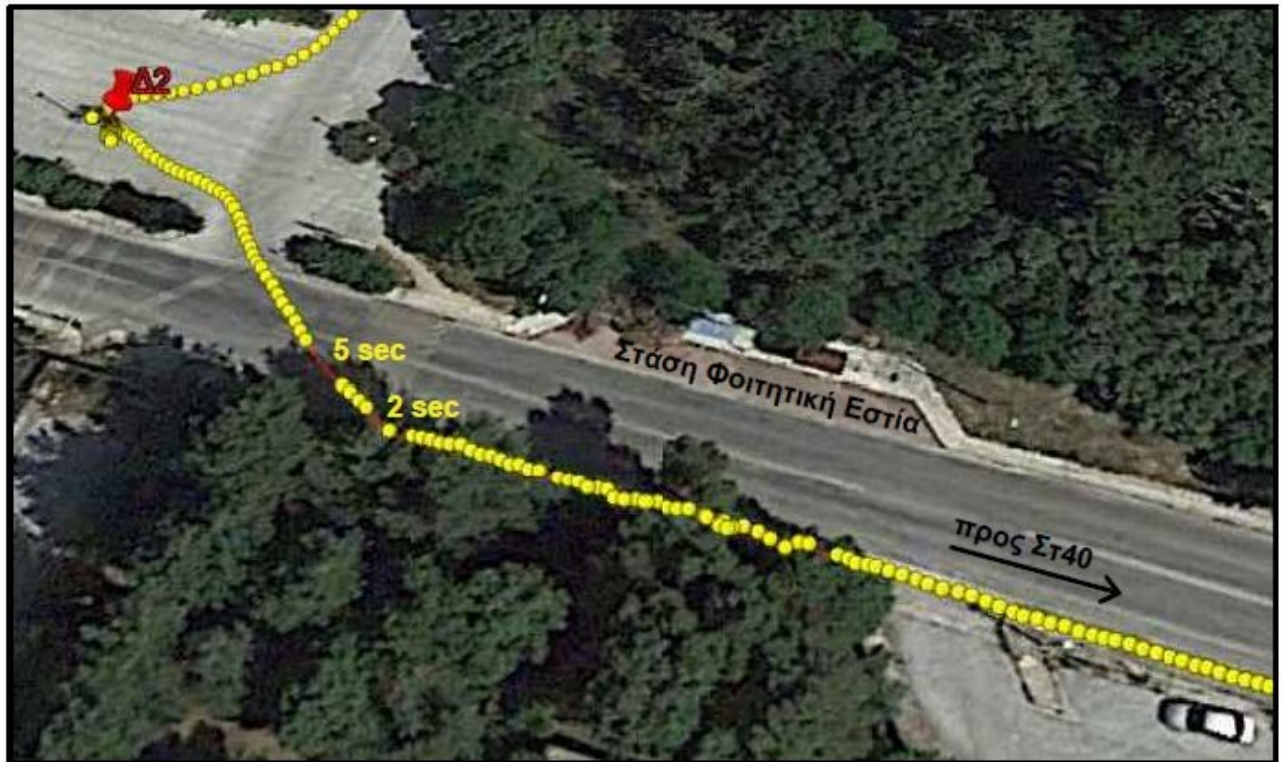
Το δεύτερο κριτήριο αξιολόγησης προέκυψε από οπτική και εμπειρική ανάλυση της αποτύπωσης των διαδρομών σε χάρτη Google Earth. Παρατηρήθηκε ότι τα στίγματα με σφάλμα σε ϕ, λ κάτω από 0.5m πλησιάζουν ικανοποιητικά για την συγκεκριμένη εφαρμογή τη πραγματική διαδρομή, επομένως στίγματα θέσης με σφάλμα κάτω από 0.5m θεωρείται ότι περιγράφουν ορθά τη πορεία του δέκτη. Γενικά τα σφάλματα υπό ιδανικές συνθήκες σε κατάσταση κίνησης κυμαίνονται στα μερικά εκατοστά (π.χ 10cm-20cm), ανεξαρτήτως αν κάποια λίγα δευτερόλεπτα παρακολουθούνται 4 δορυφόροι. Φυσικά αν το χρονικό διάστημα παρακολούθησης 4 δορυφόρων συνεχίζεται τότε τα σφάλματα συσσωρεύονται.

Σε αυτό το σημείο ακολουθεί η ανάλυση της διαδρομής των δεκτών:

Δέκτης 04626

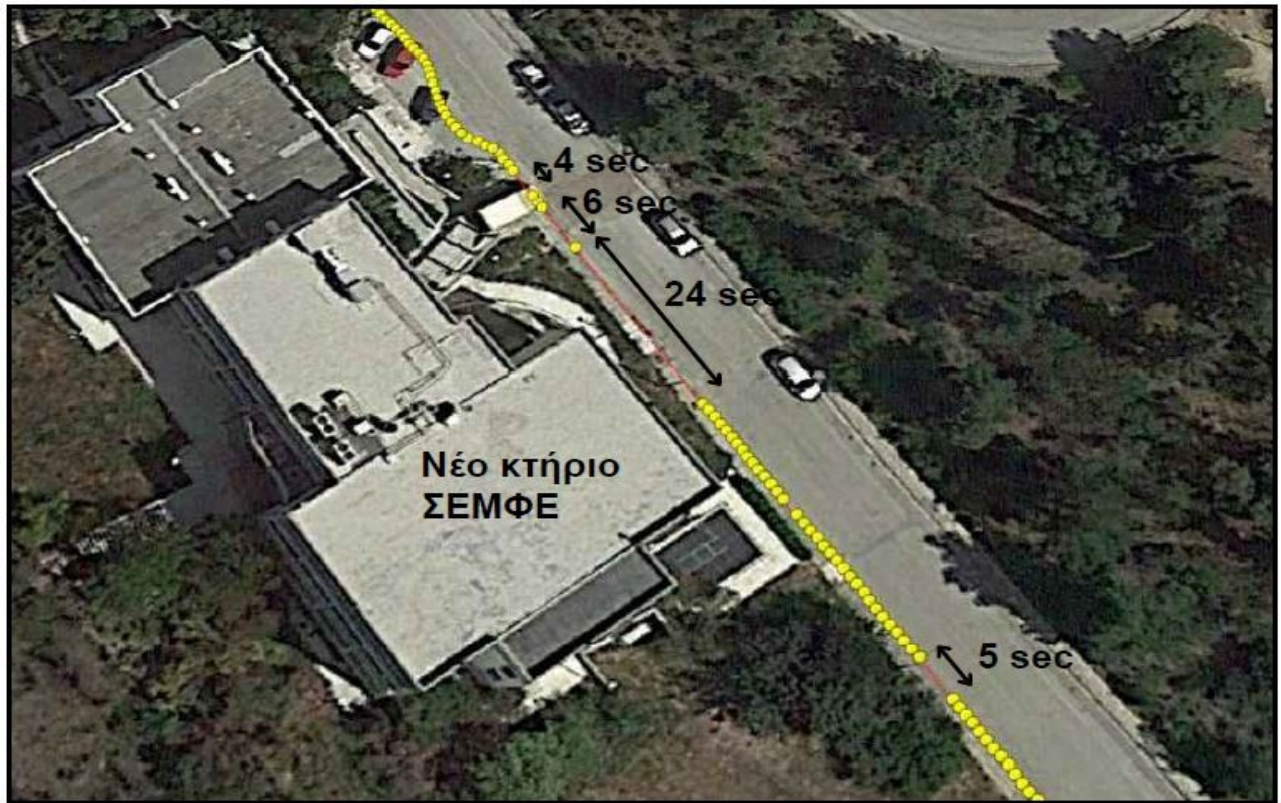
Η χρονική διάρκεια της διαδρομής του δέκτη 04626 είναι 2ώρες 1λεπτό και 15δευτερόλεπτα και το μήκος της περίπου 2.7km. Η πορεία του συγκεκριμένου δέκτη αποτυπώνεται πιστά στο μεγαλύτερο μήκος της, χωρίς ιδιαίτερες παρεκτροπές από την καθορισμένη πορεία. Πάρα ταύτα υπάρχουν τμήματα στη διαδρομή που ο δέκτης λόγω της περιορισμένης ορατότητας δορυφόρων (διαδρομή κοντά σε ψηλά δέντρα ή κτήρια) χάνει το σήμα του και πολλά στίγματα εκτοπίζονται από την αναμενόμενη πορεία. Μπορεί αυτά τα εσφαλμένα στίγματα να περιορίζονται για μικρό χρονικό διάστημα και αποστάσεις αλλά για συγκεκριμένες τοπογραφικές εργασίες και εφαρμογές να καθίστανται πολύ σημαντικά. Αναλυτικότερα παρατηρώντας το χάρτη, σημεία που αξίζουν επισήμανση είναι:

- Στο ξεκίνημα της διαδρομής ο δέκτης διασχίζοντας τον περιμετρικό δρόμο για να κινηθεί προς το σημείο Στ40 δεν λαμβάνει μετρήσεις για 5 sec με αποτέλεσμα να υπάρχει ένα κενό στη διαδρομή. Στη συνέχεια της πορείας περνώντας κάτω από τα δέντρα μπροστά από τη φοιτητική εστία δεν λαμβάνει συνεχόμενα σήμα (1-2 sec) ως αποτέλεσμα να μην περιγράφεται καλά η διαδρομή (εικόνα 4.1).



Εικόνα 4.1 Παύση λήψης στίγματος (δέκτης 04626)
Πηγή: [Google Earth]

- Στη συνέχεια παρατηρούνται κάποιες ελάχιστες αναταράξεις στη πορεία του δέκτη από τη Στ40 στη στάση ΣΕΜΦΕ πάνω στον περιμετρικό δρόμο της Πολυτεχνειούπολης λόγω της κοντινής πορείας κάτω από δέντρα. Η μεγαλύτερη διακοπή λήψης μετρήσεων παρατηρείται έξω από το νέο κτήριο της ΣΕΜΦΕ. Η διακοπή ξεκινά λίγα μέτρα πριν το κτήριο για 5sec, έπειτα μπροστά από το κτήριο οι λήψεις σταματούν για 24sec δηλαδή σχεδόν μισό λεπτό -χρονικό διάστημα αρκετά μεγάλο- ενώ μετά από μια λήψη στίγματος άλλα 6 sec παύουν να υπάρχουν παρατηρήσεις. Πλέον διανύοντας τα τελευταία μέτρα μετά από το κτήριο και πάλι υπάρχει παύση 4sec. Παρά την παύση λήψης παρατηρήσεων, δεν φαίνεται μεγάλη εκτροπή από την πορεία διότι έτυχε στο συγκεκριμένο κομμάτι της διαδρομής η κίνηση να είναι ευθύγραμμη. Σε περίπτωση αλλαγής κατεύθυνσης θα υπήρχε μεγάλο πρόβλημα στην αποτύπωση της πορείας (εικόνα 4.2).



Εικόνα 4.2 Διακοπή λήψης παρατηρήσεων στο νέο κτήριο ΣΕΜΦΕ
 Πηγή: [Google Earth]

- Η διαδρομή συνεχίζεται ομαλά διαγράφοντας με ακρίβεια τη κίνηση του δέκτη μέχρις ότου εμφανιστούν και πάλι παρεμβολές στη λήψη, στον περιμετρικό δρόμο πριν τη στροφή για το κτήριο Αντισεισμικής τεχνολογίας. Ο δέκτης κινείται στο πεζοδρόμιο πολύ κοντά στα ψηλά δέντρα με αποτέλεσμα για αρχή να εμφανίζονται κάποιες παρεμβολές. Μετέπειτα όμως τα στίγματα χάνουν με μεγάλη απόκλιση την πραγματική κίνηση του δέκτη. Πάνω στη στροφή το στίγμα θέσης παρουσιάζει σφάλμα 1.45m στο γεωδαιτικό πλάτος (φ) και 1.23m στο γεωδαιτικό μήκος (λ). Στο συγκεκριμένο σημείο ο δέκτης υποδηλώνει πως λαμβάνει παρατηρήσεις από 5 δορυφόρους. Παραδόξως το επόμενο δευτερόλεπτο επαναπροσδιορίζει με ακρίβεια περίπου 9cm τη πραγματική πορεία αλλά μετά από 20sec χάνει εξ ολοκλήρου τη θέση του και παρουσιάζει σφάλμα 12m και 1.8m αντίστοιχα για γεωδαιτικό πλάτος και μήκος. Πράγματι σε εκείνο το χρονικό σημείο ο δέκτης λαμβάνει σήμα από 4 δορυφόρους γεγονός που επαληθεύει τα σφάλματα αυτά. Μετά από 2 sec εμφανίζει μέχρι και 18m στο φ και 1.9m στο λ σαν μέγιστο, ενώ με το πέρασμα 13sec και έπειτα σταδιακά τα σφάλματα κυμαίνονται στο 0.5m και

έπειτα πάλι μειώνονται στα μερικά εκατοστά (εικόνα 4.3).

- Επόμενο “κομμάτι” της διαδρομής που εμφανίζονται προβλήματα είναι στο ανηφορικό τμήμα της οδού προς τα κτήρια της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών. Ο δέκτης περνώντας κοντά από υψηλή βλάστηση για 5 sec λαμβάνει σήμα μόνον από 4 δορυφόρους, με αποτέλεσμα τα σφάλματα να κυμαίνονται στο 1m και να φτάνουν μέγιστα τα 2m. Τέτοιου μεγέθους σφάλματα παρατηρούνται μόνον για το γεωδαιτικό πλάτος και όχι στο μήκος για το οποίο τα σφάλματα φτάνουν μέγιστα τα 20cm (εικόνα 4.3)



*Εικόνα 4.3 Σφάλματα της πορείας στη στροφή και στην ανηφόρα του περιμετρικού δρόμου της Πολυτεχνειούπολης
Πηγή: [Google Earth]*

- Μετά και από τη προηγούμενη αναταραχή στη πορεία αποτύπωσης της διαδρομής, επόμενο σημείο που παρουσιάζει πρόβλημα είναι κοντά στο κτήριο των Υδραυλικών Έργων (εικόνα 4.4). Λόγω ύπαρξης δέντρων αλλά και του ίδιου του κτηρίου ο δέκτης όχι μόνο χάνει το σήμα του για 6sec αλλά όταν εντοπίζει δορυφόρους να είναι μόνον 3. Αυτομάτως χάνεται το στίγμα το οποίο εμφανίζεται με σφάλμα 25m στο φ και 4m στο λ. Για τα επόμενα 6sec ο δέκτης αρχίζει πλέον να παρακολουθεί τον ελάχιστο αριθμό απαιτούμενων δορυφόρων για να προσδιορίσει τη θέση του με σφάλματα του ενός μέτρου. Ύστερα, με την παρακολούθηση

περισσότερων δορυφόρων σε πιο ανοιχτό ορίζοντα τα σφάλματα σταδιακά φθίνουν και φτάνουν πλέον τα μερικά εκατοστά.



Εικόνα 4.4 Σφάλματα στο κτήριο Υδραυλικών έργων
Πηγή: [Google Earth]

- Επίσης εντοπίζεται σφάλμα πολυανάκλασης όταν ο δέκτης περνά από τη στάση του λεωφορείου της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογραφικών Μηχανικών, για 10sec με μέγιστο σφάλματα ανάμεσα στα 0.5m-1m.
- Τέλος το μεγαλύτερο και πιο αναμενόμενο πρόβλημα αντιμετωπίζεται στη ΣΑΤΜ, όταν ο δέκτης περνά κάτω από τη “γέφυρα” σημείο ένωσης του κτηρίου Λαμπαδαρίου και Βέη (εικόνα 4.5). Σε εκείνο το σημείο ο δέκτης αρχικά ελάχιστα πριν περάσει από κάτω παρακολουθεί μόνον 3 δορυφόρους έχοντας σφάλμα τα 6m στο φ και 39m στο λ. Η κατάσταση χειροτερεύει αφού αμέσως μετά χάνεται το σήμα για 2 sec, ενώ για τα επόμενα 8sec ο δέκτης περνά ακριβώς από κάτω από το υπόστεγο όπου παρακολουθεί ακόμα και ένα δορυφόρο και τα στίγματα που υπολογίζει αγγίζουν σφάλμα 100m για 2sec. Για τα επόμενα 27 sec

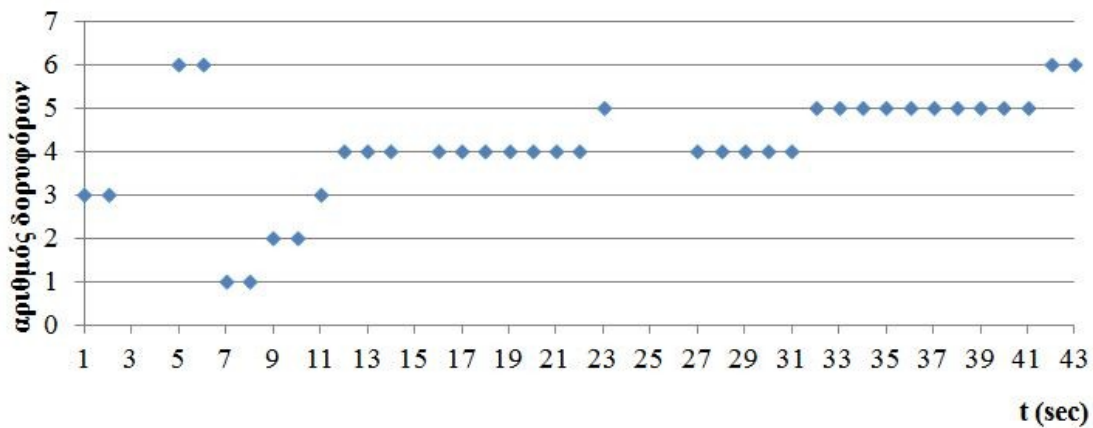
τα σφάλματα είναι εξωφρενικά μεγάλα ώσπου φθίνουν όσο περνά ο χρόνος και η πορεία ομαλοποιείται. Άξιο αναφοράς είναι πως η κίνηση του δέκτη προσεγγίζει τη πραγματική πορεία που είχε πριν μπει στο υπόστεγο μετά από 37sec ενώ η προσπέλαση του υποστέγου γίνεται σε 4sec. Αυτό δείχνει πόσο πολύ επηρεάστηκε η δυνατότητα προσδιορισμού της θέσης του δέκτη μετά από αυτή τη δοκιμή υποβολής του σε ακραίες συνθήκες.



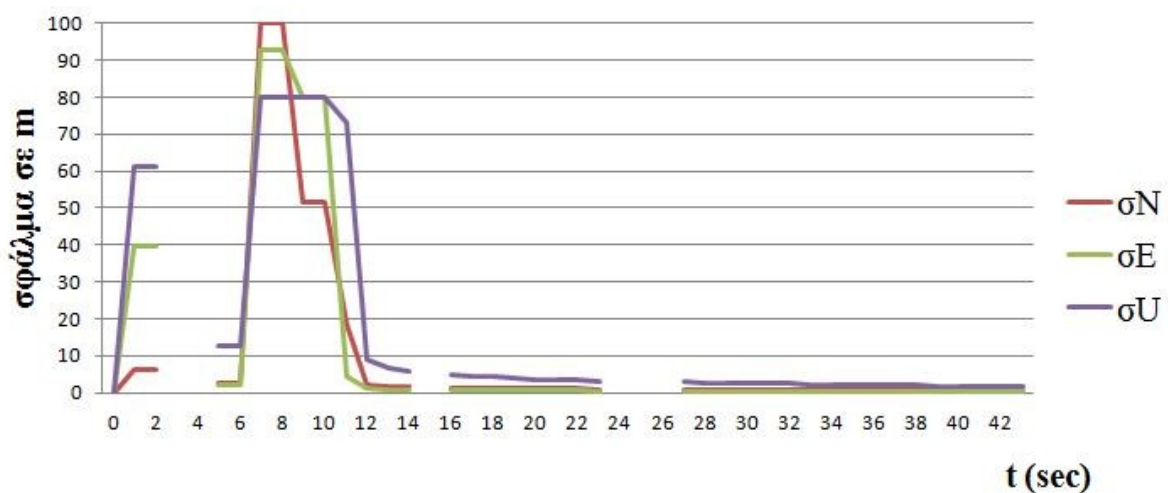
Εικόνα 4.5 Σφάλματα κάτω από τη γέφυρα της ΣΑΤΜ
Πηγή: [Google Earth]

Οπτικοποιώντας τα παραπάνω αποτελέσματα γίνεται ευκολότερα αντιληπτό το πως η απώλεια σήματος και ο μειωμένος αριθμός των δορυφόρων που παρακολουθούνται επηρεάζει τη θέση του στίγματος. Στο διάγραμμα 4.1 φαίνεται ο αριθμός των δορυφόρων που παρακολουθεί ο δέκτης κατά τη διάρκεια προσπέλασης του από το συγκεκριμένο σημείο για 43 δευτερόλεπτα. Ταυτόχρονα στο διάγραμμα 4.2 για το ίδιο χρονικό διάστημα παρουσιάζονται τα τυπικά σφάλματα των φ,λ και h σε north, east και up αντίστοιχα, σε ένα τοπικό προβολικό σύστημα αναφοράς, όπως δίνονται από το RTKLIB. Τα σφάλματα αυτά αυξάνονται όταν χαθεί το σήμα και μειωθεί ο αριθμός των παρατηρούμενων δορυφόρων ενώ μετέπειτα

σιγά σιγά εξομαλύνονται όταν ο δέκτης έχει και πάλι καλή ορατότητα. Όπως γίνεται φανερό στα πρώτα 11 δευτερόλεπτα που παρακολουθούνται μόνο για 2 sec παραπάνω από 4 δορυφόροι, τα σφάλματα είναι πολύ υψηλά, ενώ μετά το 22 δευτερόλεπτο που αρχίζει ο δέκτης να παρακολουθεί συστηματικά από 4 δορυφόρους και πάνω τα σφάλματα μειώνονται κάτω από το 1m και μετά το 40 δευτερόλεπτο κάτω από 0.5m.



Διάγραμμα 4.1 Αριθμός παρατηρούμενων δορυφόρων κατά τη διάρκεια προσπέλασης από το υπόστεγο



Διάγραμμα 4.2 Μέγεθος τυπικών σφαλμάτων north, east, up κατά τη κίνηση του δέκτη κάτω από το υπόστεγο (PPP-Kinematic)

Δέκτης 04280

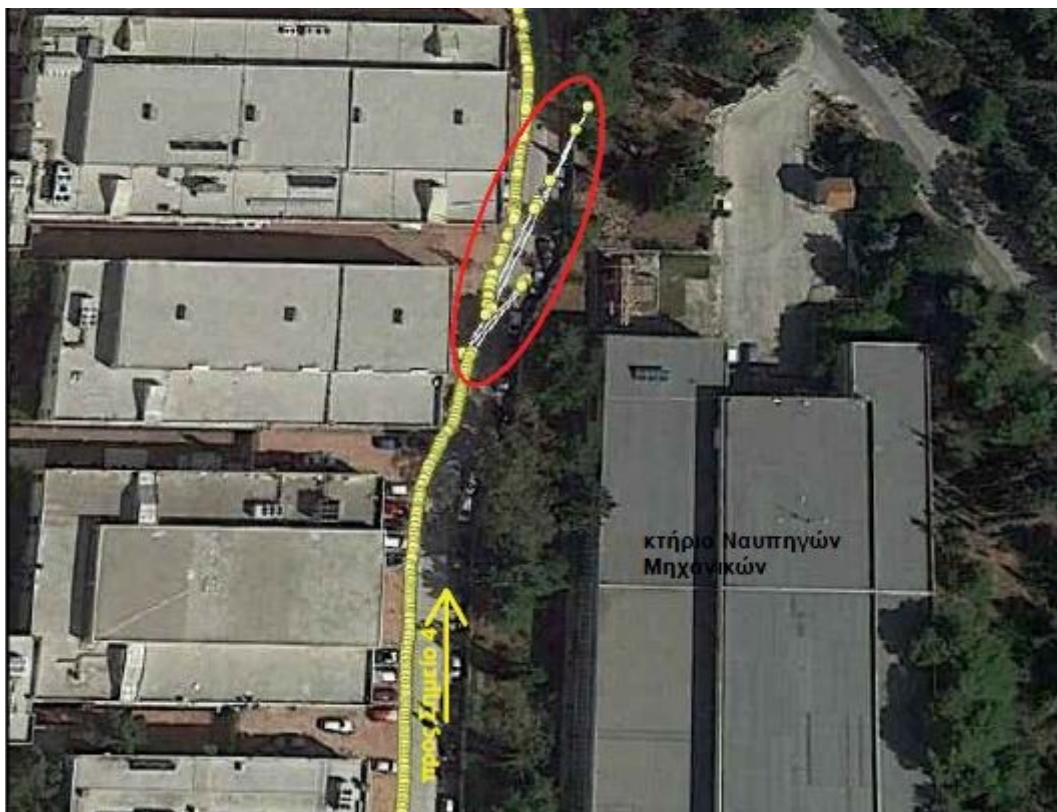
Ο δέκτης 04280 πραγματοποιεί τη μεγαλύτερη διαδρομή σε απόσταση 4.4 km αλλά και σε χρονική διάρκεια 3 ώρες 8 λεπτά και 26 δευτερόλεπτα. Η διαδρομή που ακολουθείται στη συγκεκριμένη περίπτωση υποβάλλει τον δέκτη σε πολύ δύσκολες συνθήκες λήψεις παρατηρήσεων μιας και πολλές φορές βρίσκεται είτε κάτω από υπόστεγα είτε μέσα σε συστάδες κτηρίων ή δέντρων. Η πορεία λυμένη με τη μέθοδο PPP-Kinematic παρουσιάζει τα εξής προβλήματα:

- Στο πέρας της διαδρομής από το Δ2 στο Σημείο 1 (Στάση Ηλεκτρολόγων Μεταλλειολόγων) στο πεζοδρόμιο απέναντι από τη Φοιτητική Εστία η διαδρομή βρίσκεται κάτω από μια συστάδα δέντρων. Ο δέκτης αρχίζει να παρακολουθεί πλέον 5 δορυφόρους και να αποκλίνει σιγά σιγά από τη πραγματική του θέση για 8 συνεχόμενα δευτερόλεπτα ώσπου φτάνει στους 4 και στο αμέσως επόμενο δευτερόλεπτο τους 3. Τα σφάλματα σταδιακά αυξάνονται ξεκινώντας από μερικά εκατοστά μέχρι τη χρονική στιγμή στην οποία παρακολουθεί μόνον 3 δορυφόρους και το σφάλμα φτάνει στο φ τα 68m και στο λ τα 20m. Σε αυτό το χρονικό διάστημα γίνονται αυξομειώσεις των σφαλμάτων και των δορυφόρων παρακολούθησης μέχρι να απομακρυνθεί ο δέκτης από το σημείο. Τα σφάλματα παραμένουν σε υψηλά επίπεδα για 25sec, ενώ μετά από επιπλέον 12sec και κλιμακούμενη μείωσή τους ο δέκτης εντοπίζει τη πραγματική πορεία (εικόνα 4.6).



Εικόνα 4.6 Σφάλματα σε συστάδα δέντρων
Πηγή: [Google Earth]

- Στην πορεία από το Σημείο 3 (νησίδα στο δρόμο προς τη σχολή Ναυπηγών Μηχανικών) και στο Σημείο 4 (νησίδα προς έξοδο πύλης Κατεχάκη), ο δέκτης διασχίζει κτηριακό σύμπλεγμα που απαρτίζουν η σχολή Ναυπηγών Μηχανικών, η σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών και άλλα κτήρια. Σε αυτό το τμήμα της διαδρομής ο δέκτης για 65 δευτερόλεπτα παρακολουθεί 4 με το πολύ 5 δορυφόρους. Αυτή η έλλειψη παρατηρήσεων δεν αντικατοπτρίζεται ούτε στα σφάλματα αλλά ούτε στην αποτύπωση της πορείας. Όμως κάποια στιγμή πολύ κοντά στα κτήρια ο δέκτης λαμβάνει παρατηρήσεις από 3 δορυφόρους και το σφάλμα ξαφνικά εκτοξεύεται στα 62m στο φ και 44m στο λ. Για 19sec τα σφάλματα κυμαίνονται σε επίπεδα 10 μέτρων περίπου με τα στίγματα να ξεφεύγουν αρκετά από την πορεία. Με το πέρασμα αυτών των δευτερολέπτων τα σφάλματα ακολουθούν καθοδική πορεία ενώ η διαδρομή ξαφνικά δείχνει να ακολουθεί ορθά τη διαδρομή χωρίς τον χρόνο προσαρμογής που χρειάστηκε στη παραπάνω περίπτωση (εικόνα 4.7).



Εικόνα 4.7 Σφάλματα στο κτήριο Ναυπηγών
Πηγή: [Google Earth]

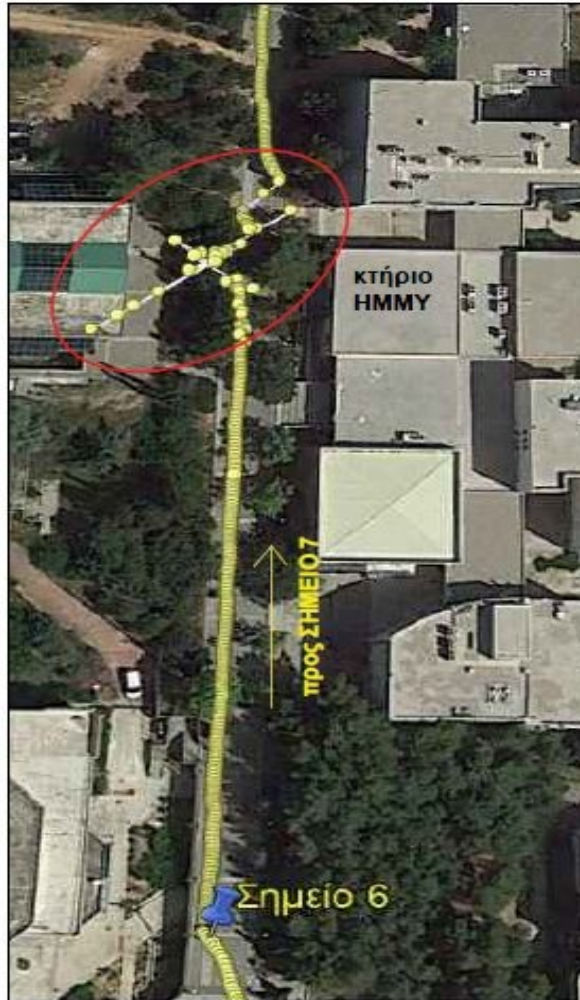
- Στη πορεία της διαδρομής προς τη κεντρική πλατεία της Πολυτεχνειούπολης, ανάμεσα στα κτήρια των Σχολών Ηλεκτρολόγων και Μηχανολόγων Μηχανικών, καθώς και στα υπόλοιπα που περιβάλλουν το δρόμο, ο δέκτης αρχίζει και αντιμετωπίζει προβλήματα. Όλα τα παραπάνω συμβαίνουν κοντά στο Σημείο 5 πίσω από το κτήριο των Ηλεκτρολόγων Μηχανικών. Για αρχή ο δέκτης για 10 δευτερόλεπτα δεν λαμβάνει μετρήσεις χωρίς να χάσει τη πορεία του. Στη συνέχεια φτάνοντας στο Σημείο 5 δίπλα στο κλιμακοστάσιο παρακολουθούνται μόνο 4 δορυφόροι με μεγάλα σφάλματα για μετρήσεις σε στατικό σημείο. Επίσης φαίνονται οπτικά στίγματα να εκτρέπονται σημαντικά (εικόνα 4.8,1). Ακολούθως κατά τη διαδρομή το σήμα αναμενόμενα χάνεται τελείως κάτω από το υπόστεγο του κτηρίου Υπολογιστών για 9 sec με τα σφάλματα να φτάνουν τα 30m μιας και παρακολουθούνται 2-3 και το πολύ 4 δορυφόροι (εικόνα 4.8,2). Η διαδρομή για λίγα δευτερόλεπτα (32sec) φαίνεται να αποτυπώνεται σχετικά ορθά μιας και οι ενδείξεις των σφαλμάτων φθίνουν σταδιακά κάτω από 0.5m αλλά οι δορυφόροι που παρακολουθούνται είναι μόνο 5. Μετά από λίγα μέτρα συναντάται το υπόστεγο της κεντρικής πλατείας όπου και εκεί χάνεται το σήμα για 27sec με παρακολούθηση 3-4 δορυφόρων και σφάλματα περίπου στα 20m (εικόνα 4.8,3). Από εκείνο σημείο και έπειτα οι παρατηρήσεις εξομαλύνονται. Οι αριθμοί στις παρενθέσεις μετά την αναφορά κάθε σφάλματος αποσκοπούν στο να δείξουν επακριβώς στην εικόνα 4.8 την θέση τους.



Εικόνα 4.8 Σφάλματα στο ΣΗΜΕΙΟ 5 προς την κεντρική πλατεία
 Πηγή: [Google Earth]

- Στον πεζόδρομο μπροστά από την είσοδο της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών (εικόνα 4.9) οι συστάδες δέντρων μειώνουν σημαντικά το πεδίο θέασης του δέκτη στον ουράνιο θόλο. Το πρόβλημα αρχίζει για 11sec κατά τα οποία ο δέκτης παρακολουθεί 4 δορυφόρους χωρίς όμως να παρουσιάζεται κάποια ένδειξη σφάλματος τόσο στην αποτυπωμένη διαδρομή όσο και στα σφάλματα. Κάποια στιγμή το πρόβλημα εντείνεται στο πέρασμα της διαδρομής από τα ψηλά δέντρα με έντονο φύλλωμα, οι παρακολουθούμενοι δορυφόροι μειώνονται στους 3-4 και τα σφάλματα φτάνουν ως και τα 36m στο φ και 70m στο λ. Η διαδρομή δεν αποτυπώνεται καθόλου καλά, ενώ όλη αυτή η

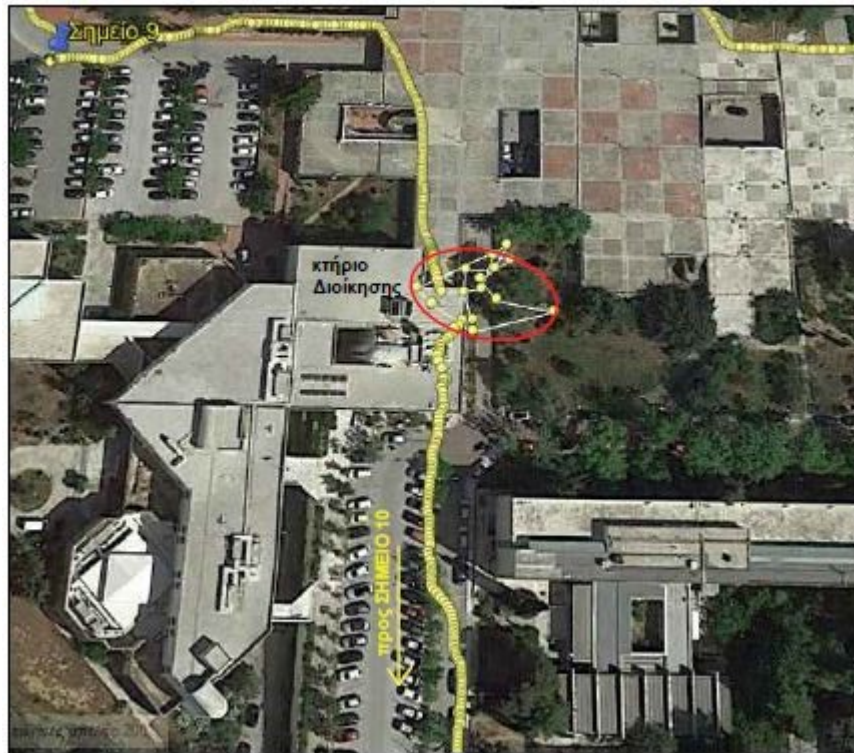
παρεμβολή διαρκεί για 43sec. Έπειτα ο δέκτης αρχίζει να επαναπροσδιορίζει τη θέση του μειώνοντας τα σφάλματα σταδιακά κάτω από τα 0.5m για 11sec για να ακολουθήσει εν τέλει τη πραγματική πορεία.



Εικόνα 4.9 Σφάλματα μπροστά από κτήρια ΣΗΜΜΥ
Πηγή: [Google Earth]

- Μεγάλη απόκλιση της πραγματικής πορείας από εκείνη που αποτυπώνει ο δέκτης εντοπίζεται στο τμήμα της διαδρομής από το Σημείο 9 – Σημείο 10 πάνω στην υπερυψωμένη πλατεία μπροστά από το κτήριο Διοίκησης (εικόνα 4.10). Ο δέκτης εκείνο το χρονικό διάστημα παρακολουθεί σταθερά 5-6 δορυφόρους έχοντας σφάλματα στον προσδιορισμό θέσης κοντά στα εκατοστά. Όμως τη στιγμή που περνά κάτω από το υπόστεγο του κτηρίου Διοίκησης φτάνει να παρακολουθεί 4 ως και 2 δορυφόρους με σφάλματα της τάξης των 66m στο φ και 72 m στο λ για 22sec. Μετά το πέρας της διαδρομής από το υπόστεγο, ανακτά και πάλι 5 δορυφόρους,

μειώνει σταδιακά το σφάλματα του για 23sec μέχρι να επανέλθει σε ανεκτά επίπεδα κάτω από τα 0.5m.



Εικόνα 4.10 Σφάλματα μπροστά από το κτήριο Διοίκησης
Πηγή: [Google Earth]

- Στη συνέχεια της διαδρομής μεγάλο πρόβλημα στον εντοπισμό της πραγματικής πορείας εντοπίζεται μπροστά από το παλιό κτήριο της ΣΕΜΦΕ (εικόνα 4.11). Ο δέκτης παρακολουθώντας σταθερά 5 με 6 δορυφόρους στο πέρασμα μπροστά από το μεγάλο κτήριο βρίσκει μόνο 4 για 20sec αυξάνοντας σταδιακά τα σφάλματα του, ώσπου σε 1sec χάνει τελείως τη θέση του παρουσιάζοντας σφάλμα στο φ κοντά στα 80m και στο λ 8m παρακολουθώντας 3 δορυφόρους. Αυτό το μέγεθος σφάλμα παρατηρείται μόνον για ένα δευτερόλεπτο και ο δέκτης αμέσως μετά μειώνει το σφάλμα του στο μέτρο παρακολουθώντας 5 με 4 δορυφόρους για 22sec και η πορεία γραφικά είναι τελείως λανθασμένη. Μετά το πέρας των 22 δευτερολέπτων που προαναφέρθηκαν για τα οποία τα σφάλματα είναι πάνω από 0.5m προκειμένου να προσεγγιστεί η πραγματική πορεία χρειάζονται 52sec με σφάλματα κάτω των 0.5m και επαφή με 4-5-6 ακόμα και 7 δορυφόρους!



Εικόνα 4.11 Σφάλματα μπροστά από παλαιό το κτήριο της ΣΕΜΦΕ
Πηγή: [Google Earth]

- Στα επόμενα μέτρα παρατηρείται προς την επιστροφή στο Δ2 αποσπασματικές διακοπές λήψης παρατηρήσεων για 21,6 και 11 δευτερόλεπτα αντίστοιχα χωρίς να μεταβάλλεται η πορεία ή να υπάρχουν μεγάλα σφάλματα.
- Προς την επιστροφή στο Δ2 στον περιμετρικό της Πολυτεχνειούπολης κοντά στη στάση στο Σημείο 2, ο δέκτης κινείται στο πεζοδρόμιο κάτω από μια συστάδα δέντρων. Για 18 sec ο δέκτης παρακολουθεί 4 δορυφόρους χωρίς να αποκλίνει από τη πορεία ή να έχει μεγάλο σφάλμα, μέχρι κάποια στιγμή να εμφανίσει σφάλμα στα 5m στο φ και 7m στο λ και να εκτοπιστεί από τη πορεία του για 6sec (εικόνα 4.12). Για τα επόμενα 7sec μειώνει τα σφάλματα του παρακολουθώντας 6 και 7 δορυφόρους μέχρι να επανέλθει στη πραγματική του διαδρομή, έπειτα από 7sec.



Εικόνα 4.12 Σφάλματα κατά την επιστροφή στο σημείο Δ2
Πηγή: [Google Earth]

Καταλήγοντας, συμπεραίνουμε ότι η διαδρομή σε πολλά σημεία δεν αποτυπώθηκε όπως επιζητούνταν. Αυτό συνέβη λόγω της δυσκολίας ως προς την ορατότητα που είχε σε πολλά κομμάτια της διαδρομής ο δέκτης.

Δέκτης 04592

Η διαδρομή του δέκτη 04592 αποτυπώνεται πιο πιστά και από τις τρεις διαδρομές. Αυτό συμβαίνει διότι αποφεύγει τη διαδρομή μέσα από τη πυκνή βλάστηση και από τις συστάδες κτηρίων, ενώ επίσης ένας άλλος παράγοντας είναι η πολύ χαμηλή ταχύτητα κίνησης του δέκτη σε σχέση με τις άλλες διαδρομές (μέσος όρος ταχύτητας κίνησης 1.7 km/h). Η απόσταση που διανύεται είναι η μικρότερη 2.3km αλλά όχι και μικρότερης διάρκειας 2ώρες 28λεπτά και 26δευτερόλεπτα.

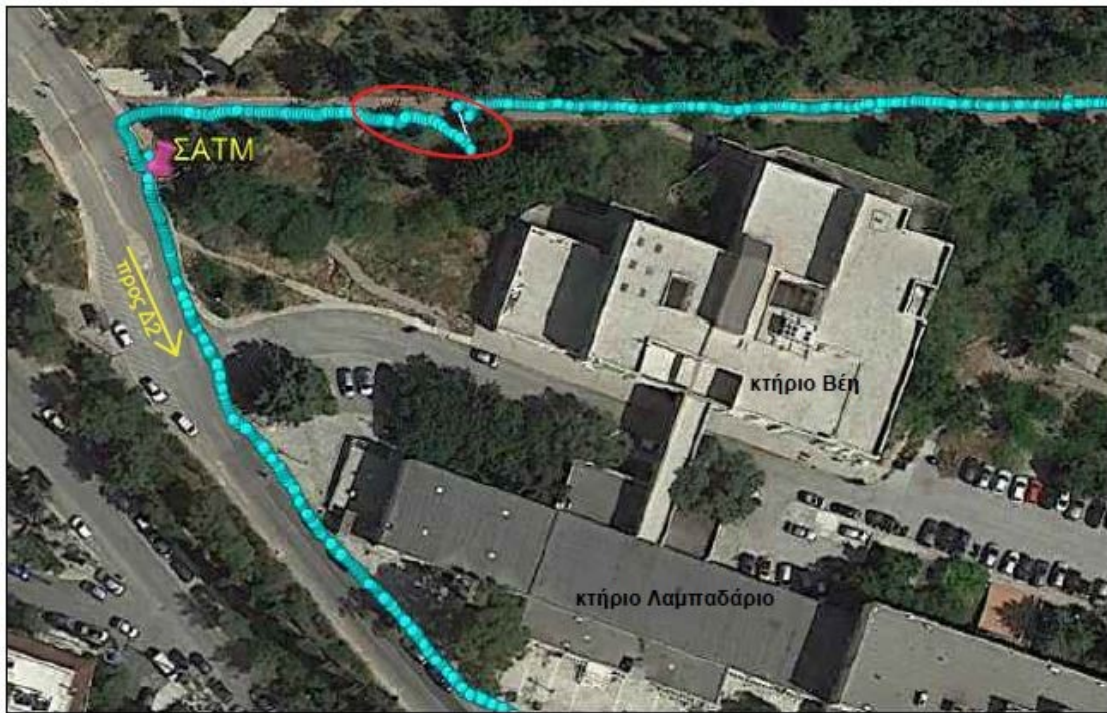
Τα τμήματα της διαδρομής τα οποία παρουσιάζουν σφάλματα στην αποτύπωση της πορείας είναι τα εξής:

- Στη διαδρομή προς το παλαιό κτήριο της ΣΕΜΦΕ (εικόνα 4.13,1) στη κίνηση στο πεζοδρόμιο απέναντι από τα παλαιά κτήρια των Ηλεκτρολόγων Μηχανικών, ο δέκτης λόγω της ύπαρξης των κτηρίων δεν λαμβάνει λήψεις για κάποια διάσπαρτα δευτερόλεπτα διάρκειας 3-10-20-3 και 6 δευτερολέπτων. Παρόλα αυτά δεν χάνει την θέση του και ούτε παρουσιάζει σφάλματα. Στο ίδιο κομμάτι διαδρομής αντιμετώπισε πρόβλημα μη λήψης σήματος και ο δέκτης 04280.
- Παρόμοιο πρόβλημα μη λήψης σήματος παρουσιάζεται λίγα μέτρα μετά μπροστά από το παλαιό κτήριο της ΣΕΜΦΕ. Για λίγα δευτερόλεπτα δεν λαμβάνεται σήμα ενώ έπειτα προς τον κόκκινο διάδρομο κάτω από μια συστάδα δέντρων παρουσιάζεται η μεγαλύτερη απόκλιση στη διαδρομή. Ενώ ο δέκτης παρακολουθεί 5 δορυφόρους κάτω από τα ψηλά δέντρα μένει στους 3 με αποτέλεσμα το σφάλμα να αυξηθεί ραγδαία στα 20m για φ και λ. Υψηλά σφάλματα παρατηρούνται για τα επόμενα 21sec, εκ των οποίων 3sec δεν λαμβάνεται σήμα, μέχρι ο δέκτης να ξαναεντοπίσει τους 5 δορυφόρους να μειώσει τα σφάλματα του και να ακολουθήσει την πραγματική πορεία (εικόνα 4.13,2).



*Εικόνα 4.13 Σφάλματα κοντά στη ΣΕΜΦΕ προς σημείο Ε
Πηγή: [Google Earth]*

- Κατά το πέρας του δέκτη ανάμεσα στη βλάστηση στον κόκκινο διάδρομο που οδηγεί στη πύλη Ζωγράφου, η διαδρομή πέρα από συγκεκριμένα διάσπαρτα δευτερόλεπτα δεν αντιμετωπίζει μεγάλες αποκλίσεις. Σε ένα συγκεκριμένο σημείο παρά την παρακολούθηση 5-6 δορυφόρων υπάρχει μια μεταβολή από την πραγματική πορεία για 15sec με σφάλματα που κυμαίνονται στο μέτρο (εικόνα 4.14).



Εικόνα 4.14 Σφάλματα κοντά στη ΣΑΤΜ
Πηγή: [Google Earth]

Η συγκεκριμένη πορεία αποτυπώνεται ακριβέστερα από όλες τις υπόλοιπες και δεν δείχνει να αποκλίνει ιδιαίτερα σε κανένα σημείο. Σε αυτό συντέλεσαν παράγοντες όπως η καλή ορατότητα και η χαμηλή ταχύτητα κίνησης του δέκτη.

Συνοψίζοντας για τις τρεις επιλυμένες πορείες με τη μέθοδο PPP-Kinematic στο RTKLIB εξάγονται κάποια συμπεράσματα ως προς τα αποτελέσματα. Πρώτον και κύριο σε καμία διαδρομή δεν συνέπιπτε η θέση του αρχικού και τελικού σημείου $\Delta 2$ παρά την παραμονή των δεκτών στο σημείο για τουλάχιστον 5λεπτά στην έναρξη και στη λήξη των διαδρομών. Αυτό φυσικά και οφείλεται στο γεγονός ότι ο δέκτης μέσα σε τόσο μικρό χρονικό διάστημα και με τη συγκεκριμένη μέθοδο δεν μπορεί να προσδιορίσει με ακρίβεια τη θέση του.

Μια άλλη παρατήρηση συνδέεται με τη μέση ταχύτητα των διαδρομών. Υπολογίστηκε, αφαιρώντας από τις διαδρομές τα σημεία όπου ο δέκτης παρέμεινε σταθερός και έμειναν μόνο τα σημεία με τις ταχύτητες που ο δέκτης κινούνταν. Η μέση ταχύτητα για τον εκάστοτε δέκτη ήταν: 2.7 km/h για τον 04626, 2.6 km/h για τον 04280 και τέλος 1.7 km/h για τον 04592. Ο τελευταίος δέκτης κινήθηκε με τη μικρότερη ταχύτητα γεγονός που συντελεί σε ένα βαθμό στην εξαγωγή μικρότερων σφαλμάτων γενικότερα στη διαδρομή, αλλά και στα τμήματα της εκείνα που υπήρχε πρόβλημα ορατότητας. Οι δέκτες 04280 και 04592 είχαν ορισμένα κοινά τμήματα στη διαδρομή τους. Λόγω της χαμηλής ταχύτητας του 04592 στο ίδιο σημείο που είχε πρόβλημα ο 04280, δεν αντιμετώπιζε καθόλου ή ελάχιστο πρόβλημα σε σχέση με τα σφάλματα των στιγμάτων. Αυτό το κοινό κομμάτι εντοπίζεται μπροστά από το παλαιό κτήριο της ΣΕΜΦΕ.

Ένα επίσης αποτέλεσμα που εξάχθηκε από τις παρατηρήσεις ήταν το ποσοστό εσφαλμένων παρατηρήσεων κάθε πορείας. Όπως ειπώθηκε στην αρχή, προβληματικά στίγματα θεωρήθηκαν αυτά που σε εκείνο το σημείο ο δέκτης εντόπιζε είτε 4 δορυφόρους και λιγότερους ή το σφάλμα σε φ,λ ήταν μεγαλύτερο του 0.5m. Επομένως για τον δέκτη 04626 το ποσοστό των προβληματικών του σημείων ήταν 3.4%, για τον 04280 6.3% και για τον 04592 2.5% . Παρότι οι δύο πρώτοι δέκτες είχαν τον ίδιο μέσο όρο ταχυτήτων η διαδρομή που ακολούθησε ο δεύτερος ήταν υπό πολύ δυσκολότερων συνθηκών και αυτό αποτυπώνεται στο ποσοστό. Ο τρίτος δέκτης είχε σχετικά εύκολη διαδρομή ως προς τον παράγοντα ορατότητα αλλά λόγω και της πολύ χαμηλής ταχύτητας κίνησης του το ποσοστό των σφαλμάτων ήταν το ελάχιστο.

Γενικότερα συμπεραίνεται πως με τη μέθοδο PPP-Kinematic στο RTKLIB εκτός από τις παραμέτρους εισαγωγής στο λογισμικό θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν και η πορεία της διαδρομής στο ύπαιθρο για τον δυνατόν καλύτερα αποτελέσματα.

4.3 Επίλυση RTKLIB με τη μέθοδο Kinematic

Οι ίδιες διαδρομές επιλύθηκαν και με τη μέθοδο Kinematic (Σχετικός κινηματικός προσδιορισμός εκ των υστέρων) χρησιμοποιώντας τις παρατηρήσεις του σταθμού αναφοράς Base, ο οποίος ήταν τοποθετημένος στο βάθρο στην οροφή του κτηρίου Λαμπαδαρίου και λάμβανε ταυτόχρονες παρατηρήσεις κατά την κίνηση των δεκτών. Η

εισαγωγή των παραμέτρων στο λογισμικό δεν άλλαξε στις περισσότερες επιλογές αλλά υπήρχαν κάποιες σημαντικές τροποποιήσεις. Καταρχάς προστέθηκε το αρχείο παρατηρήσεων (.obs) του σταθμού αναφοράς. Επιπλέον επιλέχθηκε διαφορετική μέθοδος επίλυσης στο Positioning mode δηλαδή η Kinematic. Τέλος η επίλυση των ασαφειών φάσης του συστήματος GPS (Integer Ambiguity Res) γίνεται με τη μέθοδο Fix and Hold, κατά την οποία οι ακέραιες ασάφειες φάσης εκτιμώνται και επιλύονται συνεχώς και διαλέγεται η βέλτιστη τιμή τους.

Με τη συγκεκριμένη μέθοδο ο σταθερός δέκτης παραμένει καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων ενεργοποιημένος σε σημείο γνωστών συντεταγμένων και ο κινούμενος αποτυπώνει την επιλεγμένη διαδρομή ή παραμένει κατά βούληση σε κάποια σημεία σταθερός για μικρό χρονικό διάστημα. Στη συγκεκριμένη περίπτωση η εκκίνηση του κινητού δέκτη έγινε σε σημείο άγνωστων συντεταγμένων ($\Delta 2$) για λίγα λεπτά προκειμένου να επιλυθεί η αντίστοιχη βάση μαζί με τις ασάφειες κατά την επεξεργασία στο RTKLIB.

4.3.1 Ανάλυση διαδρομών με τη μέθοδο Kinematic

Ως πρώτη ανάλυση οι διαδρομές φαίνεται να περιγράφονται με μεγαλύτερη ακρίβεια ως προς τη θέση και την πορεία τους πάνω στο χάρτη. Φυσικά όμως δεν λείπουν τα σφάλματα και οι αποκλίσεις από την πραγματική θέση στα σημεία όπου εντοπίστηκαν και στην επίλυση των διαδρομών με τη μέθοδο υψηλής ακρίβειας κινηματικό εντοπισμό θέσης.

Δέκτης 04626

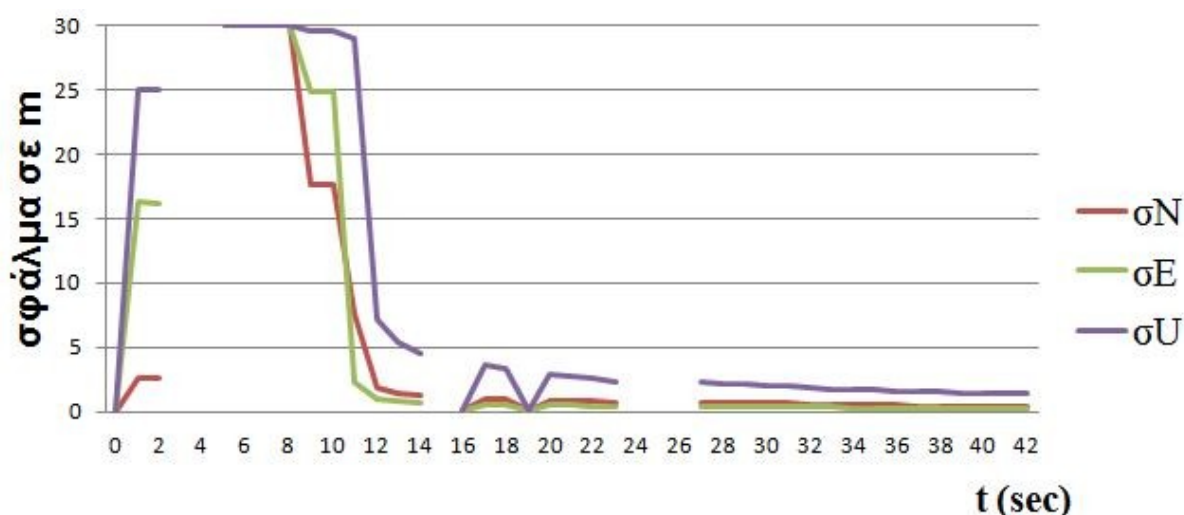
Όπως και στη μέθοδο PPP-Kinematic υπάρχουν κάποια σημεία στα οποία η διαδρομή αντιμετωπίζει προβλήματα σε ορατότητα δορυφόρων και αυτό αποτυπώνεται στα σφάλματα των γεωδαιτικών συντεταγμένων φ,λ. Η αλλαγή μεθόδου επίλυσης δεν μπορεί να επιλύσει εξ ολοκλήρου αυτά τα προβλήματα αλλά μπορεί να τα μετριάσει. Ο βαθμός στον οποίο μπορούν να μειωθούν τα σφάλματα αναλύεται μεταγενέστερα. Όσον αφορά στα τμήματα της διαδρομής κατά τα οποία δεν υπάρχουν παρατηρήσεις, παραμένουν τα ίδια, ανεξαρτήτως τεχνικής επίλυσης. Τα τμήματα της διαδρομής τα οποία χρίζουν αναφοράς είναι:

Σε όλη τη διαδρομή βρίσκονται κάποια μεμονωμένης διάρκειας στίγματα τα οποία υπερβαίνουν τα όρια που έχουν τεθεί, αλλά δεν είναι

ικανά ώστε να εκτρέψουν την πορεία σε τέτοιο βαθμό που να θεωρηθούν ότι παρεμποδίζουν την αποτύπωση της διαδρομής για την επιθυμητή ακρίβεια της συγκεκριμένης εφαρμογής.

- Το πρώτο τμήμα της διαδρομής που παρεκκλίνει από τη πραγματική πορεία είναι στη στροφή του περιμετρικού δρόμου κοντά στο δρόμο που οδηγεί στο κτήριο Αντισεισμικής τεχνολογίας. Σε εκείνο το σημείο η πορεία δεν αποτυπώνεται στη πραγματική της θέση για 5sec με μέγιστο σφάλμα τα 11m στο φ και 1.5m στο λ. Τα σφάλματα εμφανίζονται μειωμένα σε σχέση με τον PPP-Kinematic αλλά δεν παύουν να είναι αρκετά μεγάλα.
- Το επόμενο σημείο που εμφανίζονται σφάλματα είναι στην ανηφόρα προς το κτήριο των Πολιτικών Μηχανικών, όπου για ένα χρονικό διάστημα των 9sec εμφανίζονται σφάλματα περίπου στο μέτρο λόγω της ύπαρξης των δέντρων.
- Η πορεία περνώντας από το κτήριο των Υδραυλικών Έργων συναντά πρόβλημα εντοπισμού επαρκούς αριθμού δορυφόρων αλλά και έλλειψη σήματος για 6sec. Όταν εντοπίζει ξανά σήμα σε 3 δορυφόρους μόνο, τα σφάλματα σε φ και λ αυξάνονται σε 9m και 2m αντίστοιχα δηλαδή πολύ μικρότερα σε σχέση με τη μέθοδο PPP-Kinematic. Το χρονικό διάστημα μείωσης του σφάλματος κάτω από τα 0.5m παραμένει το ίδιο αλλά στον κινηματικό εντοπισμό η έκταση του σφάλματος σε τιμή είναι μικρότερη.
- Ένα πρόβλημα που αντιμετωπίστηκε και στη κινηματική μέθοδο είναι το σφάλμα πολυανάκλασης όταν ο δέκτης πέρασε κοντά από τη στάση “Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών” του λεωφορείου 242. Βέβαια στη περίπτωση του κινηματικού εντοπισμού η διάρκεια παραμένει ίδια αλλά τα σφάλματα περιορίζονται λίγο μεγαλύτερα από το 0.5m με μέγιστο σε ένα δευτερόλεπτο τα 0.9m.
- Το μεγαλύτερο πρόβλημα εντοπίζεται στο υπόστεγο ένωσης του κτηρίου Λαμπαδαρίου και Βέη στη ΣΑΤΜ. Σε εκείνο το σημείο ο δέκτης αντιμετωπίζει μεγάλο πρόβλημα καθώς χάνει την ορατότητα του και τα σφάλματα εκτοξεύονται στο μέγιστο 30m, πολύ χαμηλότερα όμως από ότι στη μέθοδο PPP-Kinematic. Τα μεγάλα σφάλματα συνεχίζονται για 28sec και η πορεία ακολουθεί τη πραγματική της θέση μετά από συνολικά 37sec.

Σε αυτό το σημείο παρατίθεται το διάγραμμα 4.3 που είναι το αντίστοιχο του 4.2 για τα σφάλματα που εμφανίζονται στο ίδιο τμήμα διαδρομής αλλά στη μέθοδο Kinematic. Πλέον φαίνεται ξεκάθαρα και από τα διαγράμματα η διαφορά των δύο μεθόδων και στο μέγεθος αλλά και στη διάρκεια εμφάνισης μεγάλων σφαλμάτων μιας και στο 18 δευτερόλεπτο τα σφάλματα μειώνονται στο μέτρο, ενώ στο 35 δευτερόλεπτο κάτω από τα 0.5m.



Διάγραμμα 4.3 Μέγεθος τυπικών σφαλμάτων north, east, up κατά τη κίνηση του δέκτη κάτω από το υπόστεγο (Kinematic)

Όπως αναλύεται παραπάνω η πορεία περιγράφεται με μεγαλύτερη ακρίβεια με τη κινηματική μέθοδο από την PPP-Kinematic. Αυτό αποδεικνύεται και από τα αντίστοιχα σφάλματα των στιγμάτων ανά δευτερόλεπτο, τα οποία είναι πολύ μικρότερα. Σχετικά με τα στίγματα με μεγάλα σφάλματα των προβληματικών κομματιών της διαδρομής, αυτά μετριάζονται σε μέγεθος στον κινηματικό εντοπισμό.

Δέκτης 04280

Η επίλυση της συγκεκριμένης διαδρομής με την κινηματική μέθοδο δεν επέφερε τις αναμενόμενες μειώσεις των σφαλμάτων σε προβληματικά σημεία όπως έγινε στις άλλες δύο διαδρομές. Αυτό το γεγονός οφείλεται στη δυσχέρεια αποτύπωσης της πορείας λόγω των δύσκολων συνθηκών.

- Στην αρχή της διαδρομής ανάμεσα στη στάση του λεωφορείου “Φοιτητική Εστία” και “Ηλεκτρολόγων Μεταλλειολόγων” μπροστά από τις φοιτητικές εστίες στην ίδια συστάδα δέντρων όπως περιγράφηκε στη μέθοδο PPP-Kinematic παρουσιάζεται το

πρώτο προβληματικό σημείο. Σταδιακά ο δέκτης αποκλίνει από την πορεία του ενώ έχει ορατότητα σε 7 δορυφόρους αυξάνοντας τα σφάλματα του. Συνολικά τα σφάλματα είναι πάνω από 0.5m για 19sec. Άξιο αναφοράς είναι πως ενώ η αποτυπωμένη πορεία δεν περιγράφει σε καμία περίπτωση την πραγματική, τα σφάλματα για αρχή δείχνουν να είναι μικρά σε σχέση με την διαφορά αποτύπωσης των διαδρομών. Όσπου στα τελευταία δευτερόλεπτα του προβληματικού διαστήματος εμφανίζονται σφάλματα της τάξης των 23m. Στο επόμενο δευτερόλεπτο, ενώ ο δέκτης παρατηρεί μόνον 4 δορυφόρους, το σφάλμα μειώνεται δραματικά στην τάξη των λίγων εκατοστών και η πορεία ακολουθεί την πραγματική της διαδρομή. Να σημειωθεί ότι τα σφάλματα στην ίδια θέση με τη μέθοδο PPP-Kinematic είναι πολύ μεγαλύτερα.

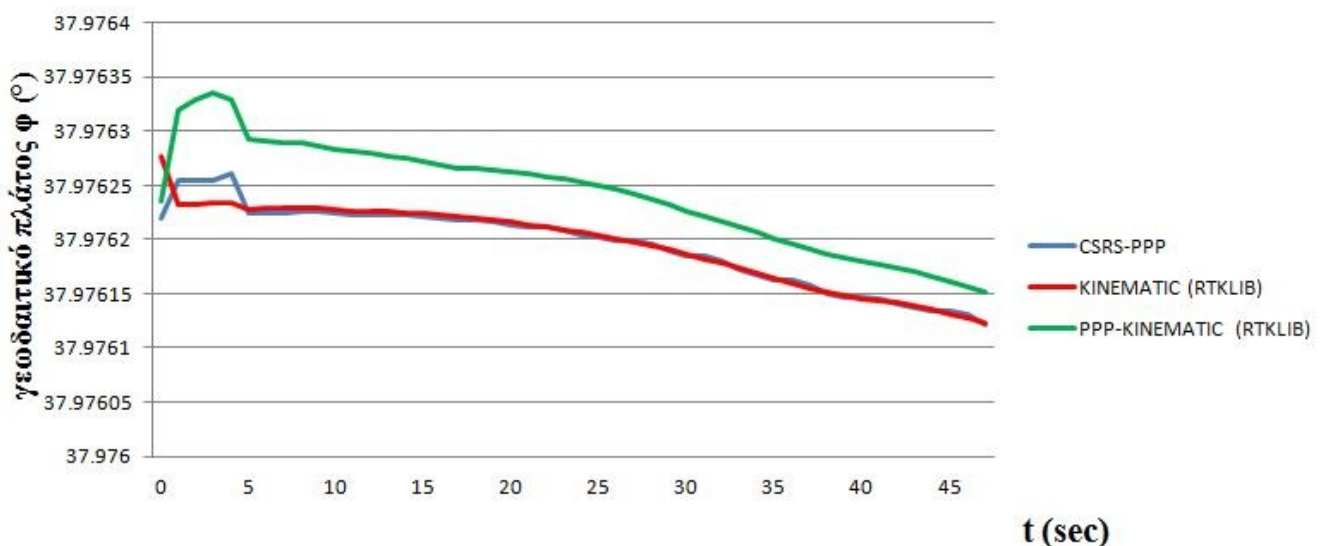
- Επόμενο σημείο που αντιμετωπίζεται πρόβλημα είναι έξω ακριβώς από το κτήριο των Ναυπηγών Μηχανικών ανάμεσα στα μεγάλα κτήρια. Σε εκείνο το σημείο όπως και με την επίλυση PPP-Kinematic υπάρχουν προβλήματα ορατότητας δορυφόρων. Για αρκετά δευτερόλεπτα (44sec) σε εκείνο το διάστημα ο δέκτης παρακολουθεί 4-5 δορυφόρους χωρίς να εμφανίζεται σφάλμα ενώ έπειτα από 20sec ο δέκτης αρχίζει να αυξάνει σταδιακά τα σφάλματα του. Αυτή η ανεπάρκεια σε παρατηρήσεις εκδηλώνεται έντονα σε σφάλμα και απόκλιση των στιγμάτων πολλών μέτρων από τη διαδρομή για ένα χρονικό διάστημα των 6sec στο οποίο παρακολουθούνται 3-4 δορυφόροι και το μέγιστο σφάλμα φτάνει για 3sec τα 19m στο φ.
- Στο δρόμο προς την κεντρική πλατεία πίσω από το κτήριο των Ηλεκτρολόγων Μηχανικών ο δέκτης αντιμετωπίζει πρόβλημα ορατότητας δορυφόρων μιας και αρκετό χρονικό διάστημα παρακολουθεί 4 δορυφόρους. Κατά τη διάρκεια στάσης του στο Σημείο 5 έχει ορατότητα σε 4 δορυφόρους για εύλογο χρονικό διάστημα με αποτέλεσμα να εμφανίζονται σχετικά μεγάλα σφάλματα για ένα στατικό σημείο. Στη συνέχεια της διαδρομής ο δέκτης περνώντας κάτω από το υπόστεγο αναπόφευκτα για 11sec εμφανίζει σφάλματα που φτάνουν έως τα 8m στο φ και 30 στο λ. Λίγα μέτρα πριν φτάσει ο δέκτης στην κεντρική πλατεία ένα μικρό χρονικό διάστημα περνά πλησίον του υπόγειου χώρου στάθμευσης με αποτέλεσμα να γίνονται ορατοί 3-4 δορυφόροι και να εμφανίζονται σφάλματα των μερικών μέτρων για 24sec.

- Στη συνέχεια της πορείας μπροστά από την είσοδο του κτηρίου της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών κάτω από τη συστάδα των δέντρων αντιμετωπίζεται πρόβλημα ορατότητας δορυφόρων. Σφάλματα πάνω από 0.5m εμφανίζονται για 44sec με παρατήρηση σε 3-4 δορυφόρους. Τα στίγματα στο προβληματικό σημείο εκτρέπονται σημαντικά από τη πορεία τους αλλά μόλις τα σφάλματα μειωθούν η πορεία που ακολουθείται είναι η πραγματική χωρίς να χρειαστεί χρόνος προσαρμογής.
- Δίπλα από το κτήριο Διοίκησης για 40 δευτερόλεπτα η πορεία εκτρέπεται λόγω της ύπαρξης του μεγάλου κτηρίου που μειώνει την ορατότητα του δέκτη. Ως εκ τούτου γίνεται παρατήρηση 3-4 ακόμα και 2 δορυφόρων με αποτέλεσμα τα σφάλματα να φτάνουν έως μέγιστα 20m και 26m σε φ και λ αντίστοιχα.
- Επόμενο πρόβλημα αντιμετωπίζεται μπροστά από το παλιό κτήριο της ΣΕΜΦΕ. Σε εκείνο το σημείο το μεγάλο κτήριο μειώνει αισθητά την δυνατότητα παρατήρησης των δορυφόρων. Για 9sec ο δέκτης παρακολουθεί 3-4 δορυφόρους με αποτέλεσμα τα σφάλματα να φτάσουν και τα 27m στο φ ενώ στο λ μόνον τα 2m. Αξίζει να σημειωθεί πως σε αυτή την περίπτωση φαίνεται αισθητά η διαφορά ακρίβειας της Kinematic με τη PPP-Kinematic μέθοδο. Στην κινηματική όχι μόνο τα σφάλματα είναι πολύ μικρότερα από τα αντίστοιχα της PPP αλλά και η διαδρομή δεν παρουσιάζει σε καμία περίπτωση την απόκλιση που έχει με τη μέθοδο PPP μιας και ακολουθείται κανονικά η πορεία μετά το πέρας των σφαλμάτων. Υπενθυμίζοντας στη μέθοδο PPP-Kinematic χρειάστηκαν 52sec για να συγκλίνει η αποτύπωση της πορείας στην πραγματική ενώ με τη κινηματική μέθοδο γίνεται μετά ακριβώς από το πέρας εμφάνισης των σφαλμάτων.

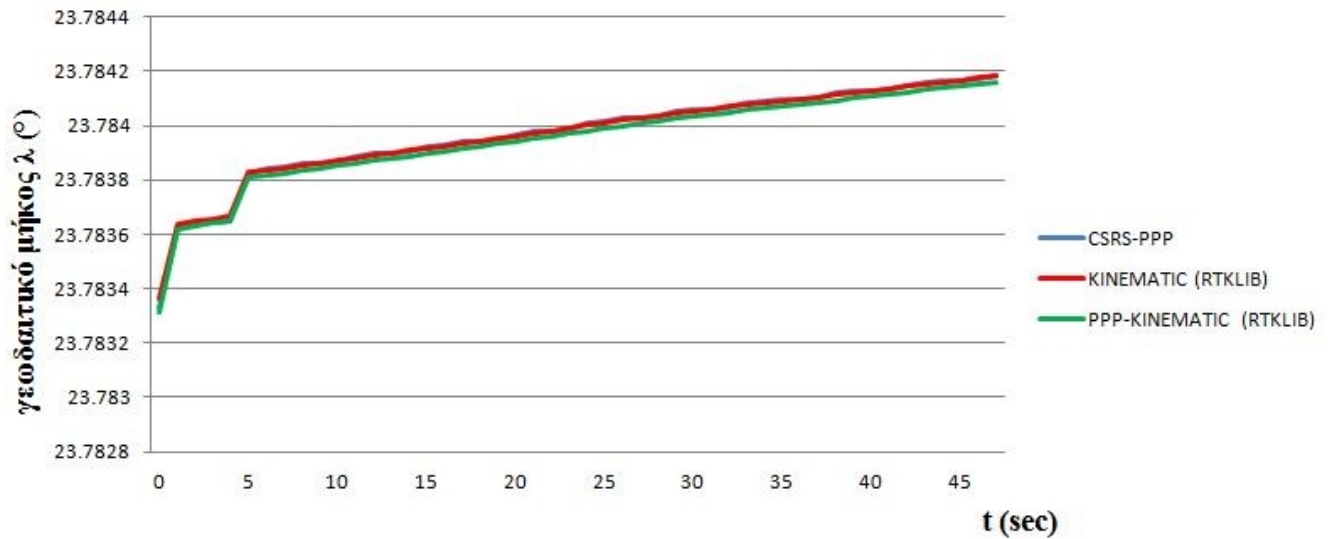
Σε αυτό το σημείο για να γίνει εμφανέστερη η διαφορά επίλυσης των μεθόδων PPP-Kinematic και Kinematic στο RTKLIB παρατίθενται τρία διαγράμματα, ένα για κάθε γεωδαιτική συντεταγμένη φ (διάγραμμα 4.4), λ (διάγραμμα 4.5) και ένα για το γεωμετρικό υψόμετρο h (διάγραμμα 4.6). Σε αυτά τα διαγράμματα συγκρίνονται τα αντίστοιχα φ, λ και h που προσδιορίστηκαν από τις δύο μεθόδους PPP-Kinematic και Kinematic στο RTKLIB, με αυτές που προσδιορίστηκαν από την CSRS-PPP για το συγκεκριμένο κομμάτι της διαδρομής.

Όπως φαίνεται οι τιμές του γεωδαιτικού πλάτους φ και του γεωμετρικού υψομέτρου h δεν προσεγγίζονται ικανοποιητικά από

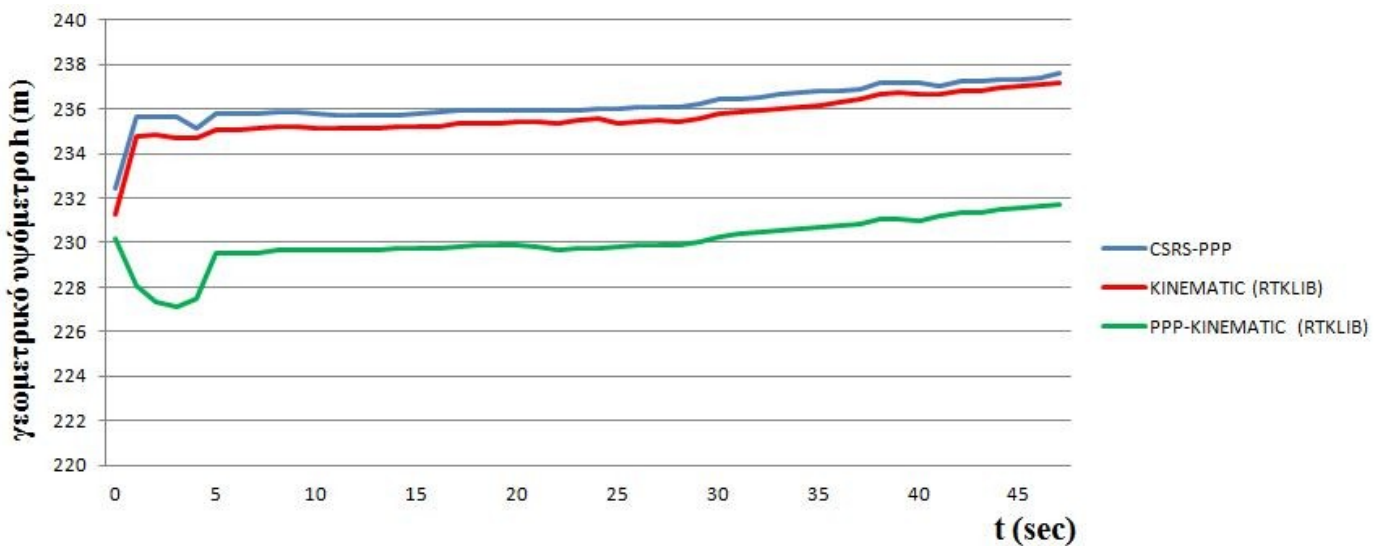
τη μέθοδο PPP-Kinematic στο RTKLIB μιας και απέχουν αρκετά από την ορθή πορεία που αποτυπώνει η υπηρεσία CSRS. Το γεωμετρικό υψόμετρο απέχει συστηματικά περίπου 6m από αυτό που υπολογίζει η CSRS, ενώ το φ σε καμία περίπτωση δεν συγκλίνει σε αυτό που υπολογίζει η Καναδική Υπηρεσία. Εν αντιθέσει το γεωδαιτικό μήκος λ ταυτίζεται επακριβώς και για τις τρεις κινηματικές πορείες. Σχετικά με τη μέθοδο Kinematic στο RTKLIB προσεγγίζει πολύ καλύτερα την πορεία που ακολουθεί και η CSRS τόσο στο γεωδαιτικό πλάτος όπου μόνο για τα πρώτα 5 δευτερόλεπτα αφότου ο δέκτης είναι κοντά στο παλαιό κτήριο της ΣΕΜΦΕ αποκλίνει από την ορθή πορεία της, όσο και στο γεωμετρικό υψόμετρο παρόλο που δεν συμπίπτουν επακριβώς τα υπολογισμένα υψόμετρα αλλά απέχουν συστηματικά περίπου στο 1m.



Διάγραμμα 4.4 Προσδιορισμός φ με τις δύο μεθόδους από το RTKLIB και CSRS για τον δέκτη 04280 στο παλαιό κτήριο της ΣΕΜΦΕ



Διάγραμμα 4.5 Προσδιορισμός λ με τις δύο μεθόδους από το RTKLIB και CSRS για τον δέκτη 04280 στο παλαιό κτήριο της ΣΕΜΦΕ



Διάγραμμα 4.6 Προσδιορισμός h με τις δύο μεθόδους από το RTKLIB και CSRS για τον δέκτη 04280 στο παλαιό κτήριο της ΣΕΜΦΕ

Στην εικόνα 4.15 φαίνεται στον χάρτη Google Earth η αποτύπωση του προαναφερθέν τμήματος της διαδρομής του δέκτη 04280 με τους τρεις τρόπους. Όπως γίνεται φανερό η μέθοδος Kinematic (RTKLIB) προσεγγίζει καλύτερα την ορθή πορεία της CSRS-PPP.



Εικόνα 4.15 Διαδρομή δέκτη 04280 αποτυπωμένη από τις τρεις μεθόδους μπροστά από τη ΣΕΜΦΕ

- Τελευταίο προβληματικό κομμάτι της διαδρομής του δέκτη 04280 αποτελεί ο δρόμος κοντά στη στροφή για την στάση του λεωφορείου “Ηλεκτρολόγων Μεταλλειολόγων”. Στη συστάδα των δέντρων για κάποια μεμονωμένα και διάσπαρτα δευτερόλεπτα εμφανίζονται σφάλματα των 3-4 μέτρων με αποτέλεσμα να μην περιγράφεται καλά η διαδρομή για το συγκεκριμένο κομμάτι.

Δέκτης 04592

Η διαδρομή του συγκεκριμένου δέκτη λόγω συνθηκών διαδρομής αλλά και τεχνικής κίνησης αντιμετωπίζει τα λιγότερα προβλήματα σε σχέση με τους άλλους δύο. Όπως και με τη μέθοδο PPP-Kinematic έτσι και με το κινηματικό εντοπισμό (Kinematic) αντιμετωπίζονται σε μεμονωμένα και μικρά τμήματα κάποια προβλήματα ως προς την αποτύπωση της διαδρομής, πολύ πιο περιορισμένα σε ένταση και

διάρκεια όμως. Γενικότερα στη σύγκριση των δύο διαδρομών, στο μεγαλύτερο μέρος τους ταυτίζονται, ενώ ανάμεσα σε βλάστηση και ψηλά κτήρια η επίλυση με την κινηματική μέθοδο αναμενόμενα εξήγαγε ακριβέστερα αποτελέσματα.

➤ Οι πρώτες δυσκολίες αντιμετωπίζονται στη στροφή προς το παλαιό κτήριο της ΣΕΜΦΕ. Σε εκείνο το τμήμα της διαδρομής λόγω των υψηλών κτηρίων ο δέκτης για μερικά δευτερόλεπτα λαμβάνει σήμα από 4 δορυφόρους και έτσι σταδιακά αυξάνονται τα σφάλματα στα στίγματα του κοντά στο ένα μέτρο. Έπειτα μπροστά από το παλαιό κτήριο της ΣΕΜΦΕ δεν λαμβάνονται παρατηρήσεις για κάποια δευτερόλεπτα όπως προαναφέρθηκε και στην ανάλυση της διαδρομής με PPP-Kinematic, αλλά τα σφάλματα δεν ξεπερνούν το 0.5m. Σε εκείνο το διάστημα στην πορεία από το κτήριο στο κόκκινο διάδρομο, που οδηγεί στην πύλη Ζωγράφου παρατηρούνται οι μεγαλύτερες εκτροπές από τη διαδρομή. Κάτω από τη συστάδα των δέντρων για 14sec λόγω θέασης 3 δορυφόρων παρουσιάζονται σφάλματα των 7m σε φ και λ. Μετά από 4 δευτερόλεπτα όπου τα σφάλματα φθίνουν και πάλι τα στίγματα αποκτούν σφάλμα θέσης κάτω των 0.5m και η πορεία συνεχίζεται κανονικά. Επομένως ο συνολικός χρόνος ύπαρξης μεγάλων σφαλμάτων ήταν 21sec μαζί με μια ενδιάμεση διακοπή των 3 sec στις λήψεις.

➤ Τέλος προς τη πύλη Ζωγράφου κοντά στη στάση “Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών” εντοπίζεται μια απόκλιση από τη πορεία η οποία οφείλεται σε σφάλματα λίγο μεγαλύτερα των 0.5m για 5sec.

Η διαδρομή περιγράφεται με μεγάλη ακρίβεια χωρίς ιδιαίτερες μεταβολές και αποτελεί μια αξιόπιστη λύση του λογισμικού RTKLIB εφόσον ληφθούν υπόψιν κάποιοι παράγοντες σχετικά με την ορατότητα του δέκτη.

Εκ του αποτελέσματος συμπεραίνεται ότι ο κινηματικός εντοπισμός θέσης παρουσιάζει μικρότερα σφάλμα θέσης των στιγμάτων, μιας και κάθε δευτερόλεπτο η θέση των στιγμάτων υπολογίζεται ως ένα τρισδιάστατο διάνυσμα $\Delta X, \Delta Y$ και ΔZ με αφετηρία ένα σταθερό σημείο γνωστών συντεταγμένων. Δεν παρουσιάζονται εικόνες των προβληματικών σημείων διότι είναι ακριβώς τα ίδια όπως περιγράφηκαν με τη μέθοδο PPP-Kinematic.

4.4 Ανάλυση διαδρομών με χρήση της υπηρεσίας CSRS-PPP

Η επίλυση των κινηματικών πορειών έγινε και με επεξεργασία από τη διαδικτυακή υπηρεσία του Καναδά. Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε ήταν η PPP-Kinematic με χρήση εφημερίδων και χρονομέτρων ακρίβειας. Η λύση τους είναι η πλέον αξιόπιστη για την συγκεκριμένη εφαρμογή και αυτό αποδεικνύεται τόσο από την ακρίβεια αποτύπωσης της διαδρομής σε περιβάλλον Google Earth, όσο και από τους δείκτες ποιότητας που επισυνάπτονται μαζί με τις λύσεις.

Η πορεία των δεκτών αποτυπώνεται με ακρίβεια στο χάρτη ενώ περιγράφονται ορθά και οι τρεις διαδρομές. Τα προβληματικά στίγματα της διαδρομής για τα οποία ο δέκτης είτε δεν λάμβανε σήμα είτε είχε μεγάλα σφάλματα, η υπηρεσία τα έχει απορρίψει με τους σχετικούς της αλγόριθμους επομένως δεν εμφανίζονται. Η αξιοπιστία των επιλύσεων μπορεί να εξακριβωθεί αναλύοντας τα επισυναπτόμενα pdf τα οποία περιέχουν χρήσιμα διαγράμματα και πληροφορίες για τις διαδρομές.

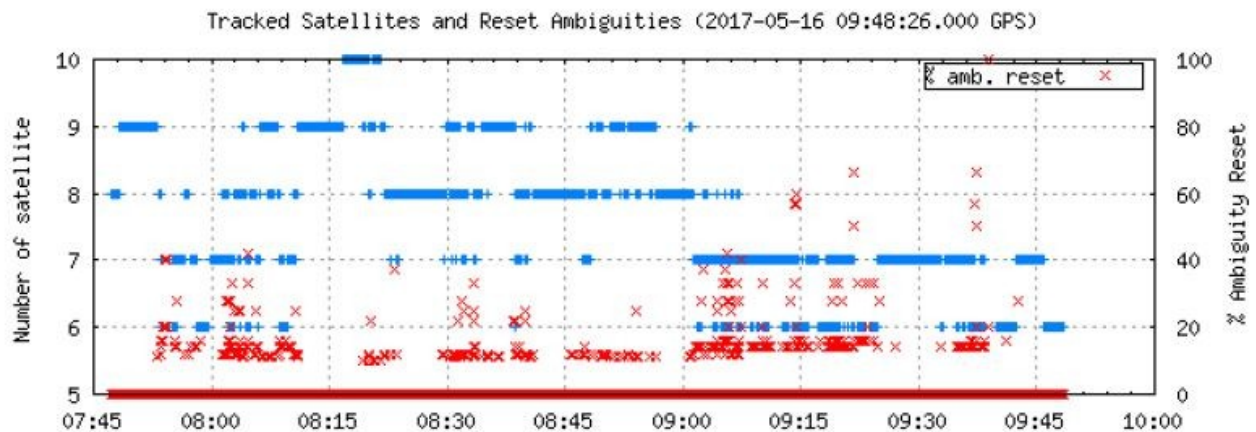
Δέκτης 04626

Οι μετρήσεις για τον συγκεκριμένο δέκτη έγιναν σε δύο συχνότητες L1 και L2 αλλά επίσης και σε μετρήσεις κώδικα. Η a priori τυπική απόκλιση στη μέτρηση της φάσης είναι 0.015m ενώ στην a posteriori 0.01 m. Αυτό σημαίνει πως τα υπόλοιπα της διαφοράς των μετρήσεων με τη μέση τους τιμή κυμαίνονται στα λίγα εκατοστά, γεγονός που καθιστά τις παρατηρήσεις αρκετά ακριβείς. Σχετικά με τις μετρήσεις κώδικα η a posteriori αβεβαιότητα είναι στα 2.158m. Η μάσκα αποκοπής έχει ληφθεί στις 10° και το βήμα δειγματοληψίας είναι το 1 δευτερόλεπτο. Επίσης έχει απορριφθεί το 1.32% των εποχών.

Από τα παρατιθέμενα διαγράμματα εξάγονται οι εξής πληροφορίες:

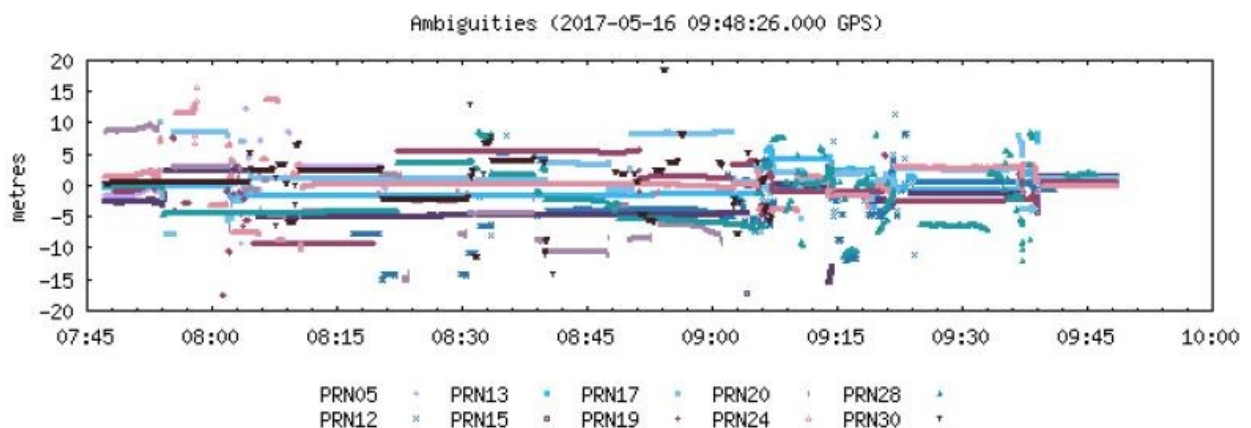
- Στο πρώτο διάγραμμα 4.7 παρουσιάζεται ο αριθμός των δορυφόρων (μπλε σταυροί) και το ποσοστό επανέναρξης των ασαφειών φάσης (κόκκινοι σταυροί) σε σχέση με το χρόνο. Σχετικά με τους δορυφόρους, το αρχικό χρονικό διάστημα 7:45 – 9:00 (GPST) παρατηρούνται 8 με 9 δορυφόροι, ενώ από τις 9:00 έως το τέλος των παρατηρήσεων 7 και λιγότερο 6. Όσον αφορά στο ποσοστό επανέναρξης των ασαφειών φάσης τη μεγαλύτερη περίοδο που ο δέκτης χρειάστηκε να κάνει επανέναρξη επίλυσής τους έγινε για το 15% των ασαφειών φάσης ενώ υπάρχουν κάποια διαστήματα στο 20%-40%. Κατά τη διάρκεια των παρατηρήσεων όταν ο δέκτης έχανε το σήμα του αναγκαστικά έλυνε τις ασάφειες

φάσης παράλληλα με την λήψη παρατηρήσεων. Το ποσοστό αυτών που χρειάστηκε να επιλύσει περιγράφεται στο εν λόγω διάγραμμα.



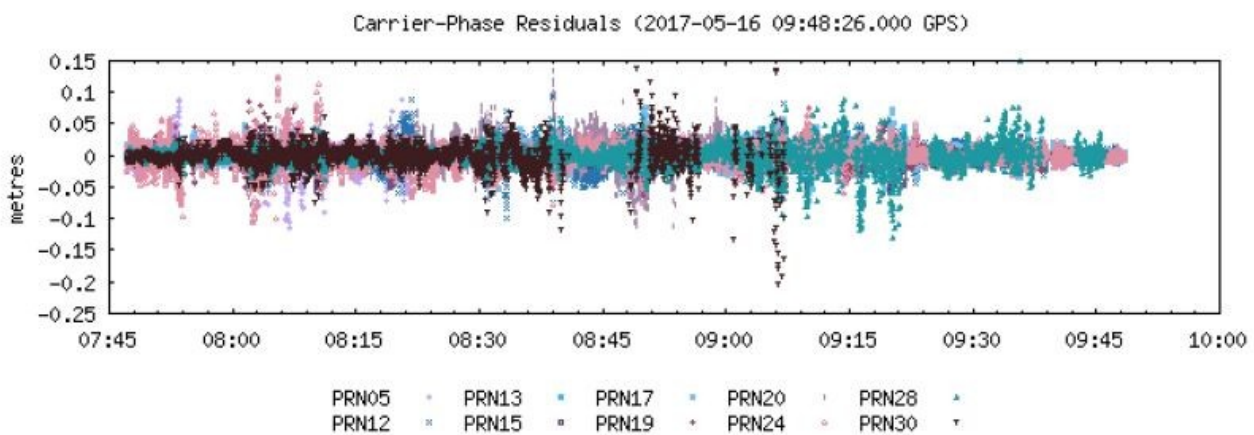
Διάγραμμα 4.7 Αριθμός δορυφόρων & Ποσοστό επανέναρξης ασαφειών φάσης (04626)
Πηγή: [CSRS-PPP]

- Στο επόμενο διάγραμμα 4.8 φαίνεται το μέγεθος των ασαφειών του κώδικα ψευδοτυχαίου θορύβου σε μέτρα στο χρονικό διάστημα των παρατηρήσεων. Κάθε χρώμα υποδεικνύει ένα μοναδικό κώδικα ο οποίος προέρχεται από συγκεκριμένο δορυφόρο. Όπως παρατηρείται και στο παρακάτω διάγραμμα 4.2 οι περισσότερες ασάφειες κυμαίνονται στα 1-2m έως 5m ενώ υπάρχουν και διαστήματα για κάποιους συγκεκριμένους κώδικες από 5m έως 10m.



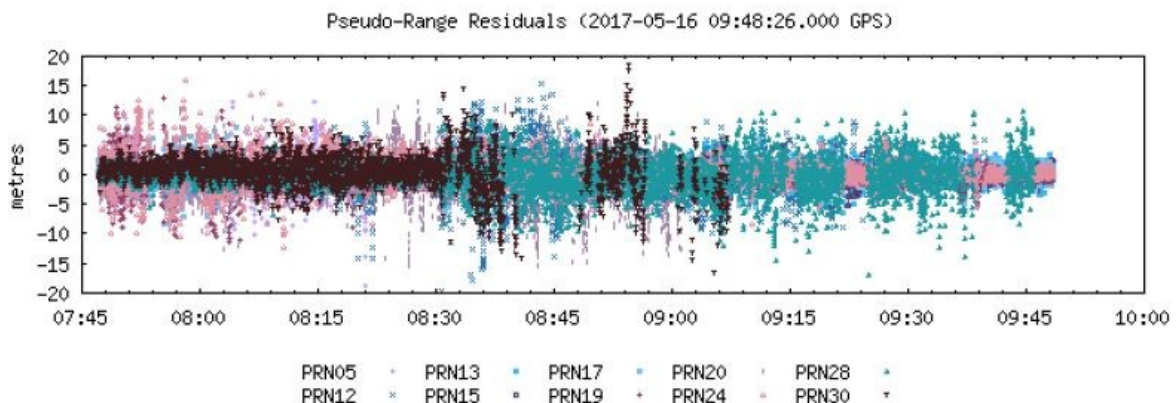
Διάγραμμα 4.8 Ασάφειες φάσης ψευδοτυχαίου θορύβου (04626)
Πηγή: [CSRS-PPP]

- Στο διάγραμμα 4.9 απεικονίζονται τα υπόλοιπα των φέρουσων συχνοτήτων κατά τη διάρκεια των παρατηρήσεων. Ως γνωστών εκτός από την άμεση χρήση των φέρουσων συχνοτήτων για τον εντοπισμό θέσης μέσω της επίλυσης των διαφορών φάσης, κατά κύριο λόγο χρησιμοποιούνται για να “φέρουν” και τον κώδικα ψευδοτυχαίου θορύβου, εξ ου και το όνομα τους. Γι αυτόν ακριβώς το λόγο αναφέρονται στο διάγραμμα και οι κώδικες PRN. Τα υπόλοιπα των συχνοτήτων κυμαίνονται στη πλειονότητα τους από 0.01m έως και 0.05m, ενώ υπάρχουν και διάσπαρτες εξάρσεις κατά τις οποίες κυμαίνονται στα 0.05m-0.1m.



Διάγραμμα 4.9 Υπόλοιπα φέρουσων συχνοτήτων (04626)
Πηγή: [CSRS-PPP]

- Τέλος τα υπόλοιπα των ψευδοτυχαίων κωδίκων εμφανίζονται στο επόμενο διάγραμμα 4.10. Αυτά κατά το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα κυμαίνονται στα 1m-2m και μέγιστα 5m. Φυσικά υπάρχει κάποιος αριθμός υπολοίπων που ξεπερνούν τα 5m και φτάνουν μέχρι και τα 10m.

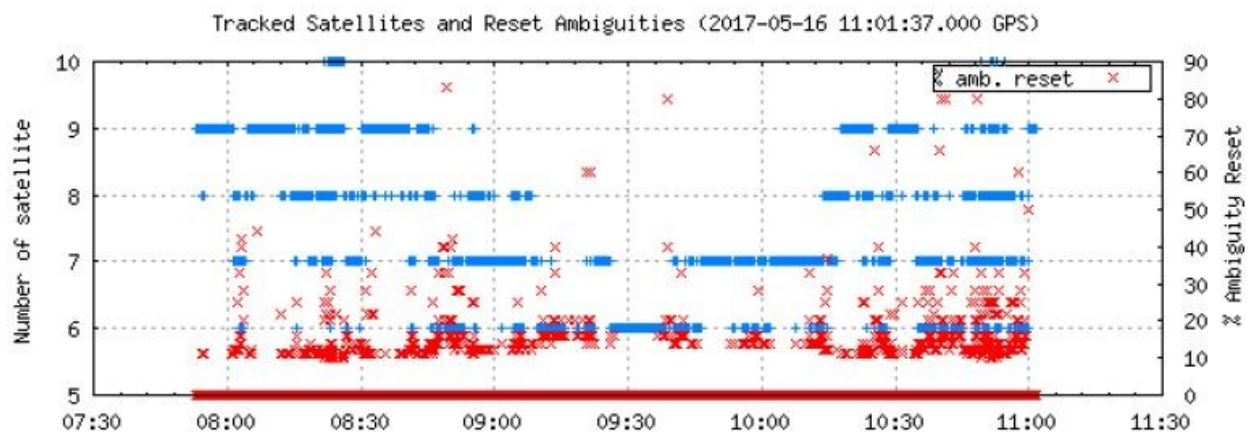


Διάγραμμα 4.10 Υπόλοιπα ψευδοτυχαίου θορύβου (04626)
Πηγή: [CSRS-PPP]

Δέκτης 04280

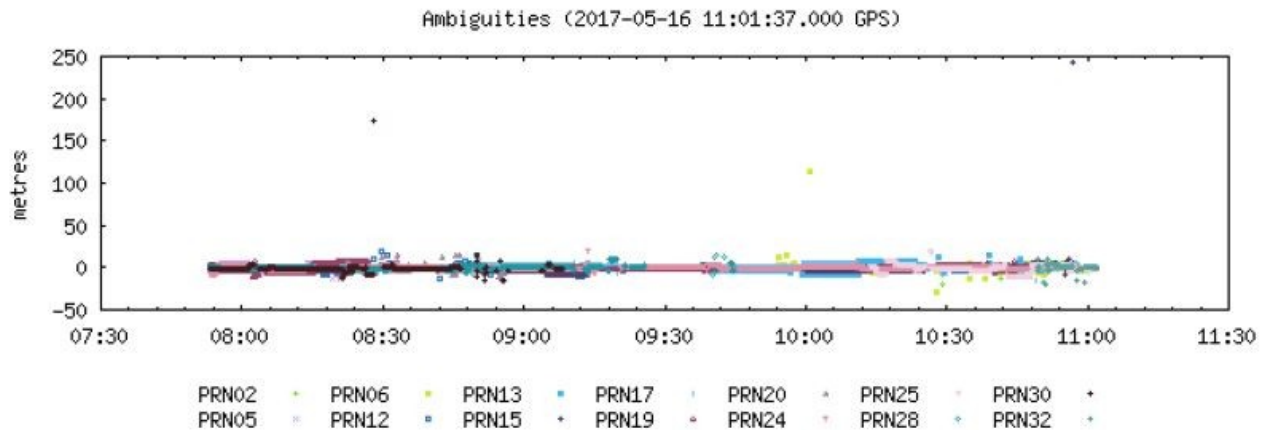
Για τη συγκεκριμένη διαδρομή έγιναν επίσης μετρήσεις φάσεις στις συχνότητες L1 -L2 και κώδικα. Τα a priori και a posteriori τυπικά σφάλματα είναι 0.015m/0.01m αντίστοιχα για τις μετρήσεις φάσης και 2m/1.719m για τους κώδικες ψευδοτυχαίου θορύβου. Στη διαδρομή αυτή το a posteriori τυπικό σφάλμα μειώνεται στις μετρήσεις κώδικα γεγονός που υποδεικνύει ότι έγιναν καλές παρατηρήσεις κώδικα. Το βήμα δειγματοληψίας και η μάσκα αποκοπής δορυφόρων παραμένουν, ίδια ενώ το ποσοστό απορριφθέντων εποχών είναι 3.79%, σχετικά υψηλό.

- Στο διάγραμμα 4.11 ποσοστού επανέναρξης ασαφειών και εντοπισμού δορυφόρων φαίνεται πως στο αρχικό διάστημα γίνεται εντοπισμός 9 δορυφόρων για μια ώρα (8:00-9:00) για αρκετές παρατηρήσεις, έπειτα εντοπίζονται 6 με 7 δορυφόροι στο διάστημα 9:15-10:15 και τέλος 10:15-11:00 ο αριθμός ποικίλει από 7-8 και 9 δορυφόρους. Αναφορικά με το ποσοστό επανέναρξης των ασαφειών αυτό κυμαίνεται για αρκετά στίγματα στο 10%-20% και λιγότερα για 20%-30% και παραπάνω.



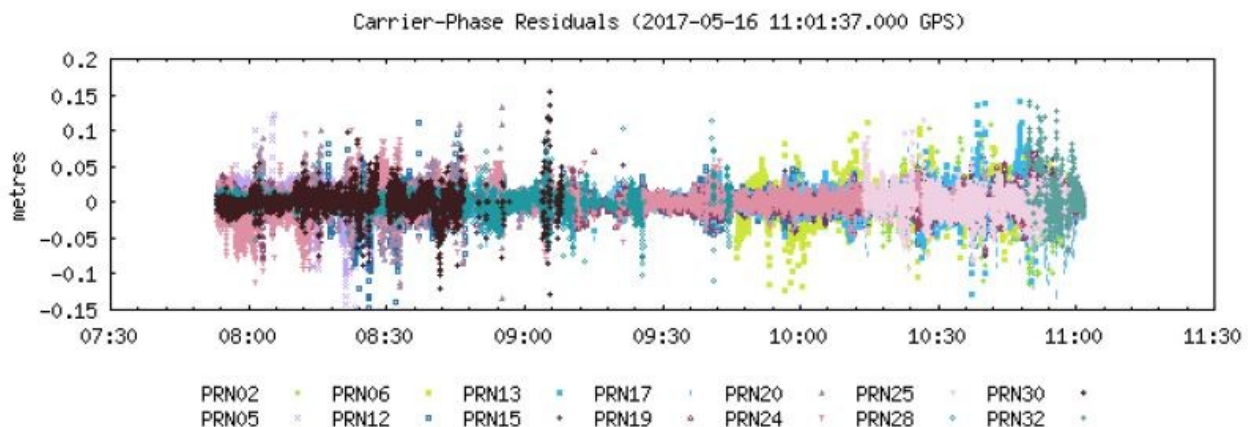
Διάγραμμα 4.11 Αριθμός δορυφόρων & Ποσοστό επανέναρξης ασαφειών φάσης (04280)
Πηγή: [CSRS-PPP]

- Το διάγραμμα 4.12 ασαφειών των κωδίκων παρουσιάζει τις ασάφειες οι οποίες λογίζονται στα μερικά μέτρα, ενώ υπάρχουν στίγματα σε πολύ μεγάλες αποστάσεις 100m-150m γι αυτό το λόγο ο άξονα τον y (m) έχει μεγάλη έκταση στις τιμές των μέτρων.



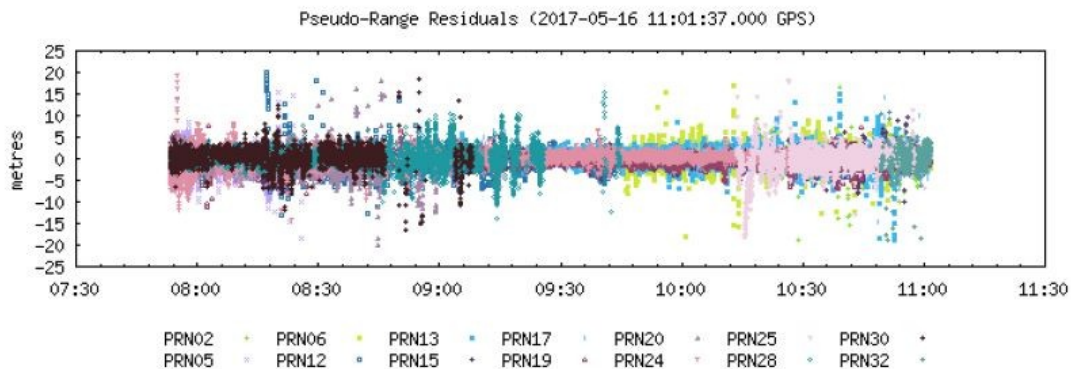
Διάγραμμα 4.12 Ασάφειες φάσης ψευδοτυχαίου θορύβου (04280)
 Πηγή: [CSRS-PPP]

- Ενδιαφέρον παρουσιάζει το διάγραμμα 4.13 υπολοίπων των φέρουσων συχνοτήτων. Στη πλειονότητα τους τα υπόλοιπα κυμαίνονται μέχρι τα 0.05m αλλά στο χρονικό διάστημα κοντά στις 9:30 συσπειρώνονται σε τιμές κοντά στο 0.01m ενώ από τις 10:30 έως το τέλος στις 11:00 οι τιμές των υπολοίπων αυξάνονται και πάλι.



Διάγραμμα 4.13 Υπόλοιπα φέρουσων συχνοτήτων (04280)
 Πηγή: [CSRS-PPP]

- Σχετικά με τα υπόλοιπα των κωδίκων στο διάγραμμα 4.14 αυτά αυξομειώνονται ως τα 2m-3m κατά κύριο λόγο ενώ στο διάστημα 9:30-10:00 συσπειρώνονται αρκετά κοντά στο 1m-2m.

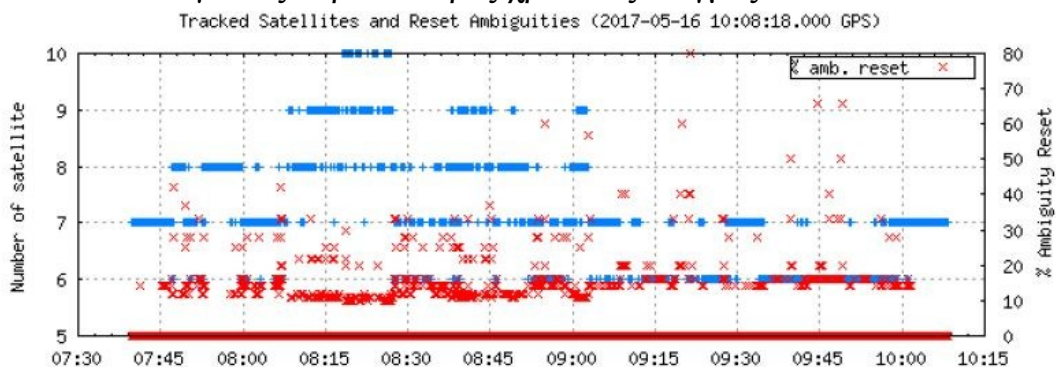


Διάγραμμα 4.14 Υπόλοιπα ψευδοτυχαίου θορύβου (04280)
Πηγή: [CSRS-PPP]

Δέκτης 04592

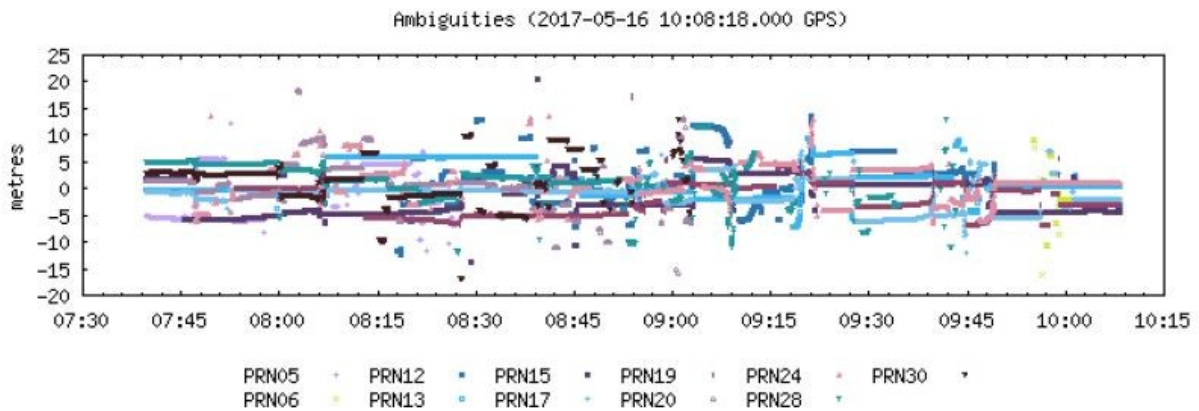
Τα αποτελέσματα του δέκτη 04592 δεν διαφοροποιούνται ιδιαίτερα από τους προηγούμενους. Οι μετρήσεις γίνονται σε δύο συχνότητες L1-L2 με την ίδια μάσκα αποκοπής και βήμα δειγματοληψίας. Οι μετρήσεις φάσεων και κώδικα με τα a priori και a posteriori τυπικά τους σφάλματα είναι 0.015m/0.011m και 2m/2.378m αντίστοιχα. Το ποσοστό των εποχών που απορρίφθηκαν είναι 1.79%.

- Στο πρώτο διάγραμμα 4.15 φαίνεται ο αριθμός των δορυφόρων που παρακολούθηθηκαν ο οποίος είναι 7 κατά τη μεγαλύτερη διάρκεια αλλά και 8 κατά το πρώτο διάστημα παρατηρήσεων. Το ποσοστό επανέναρξης επίλυσης των ασαφειών βρίσκεται περίπου στο 20% για τις περισσότερες χρονικές στιγμές.



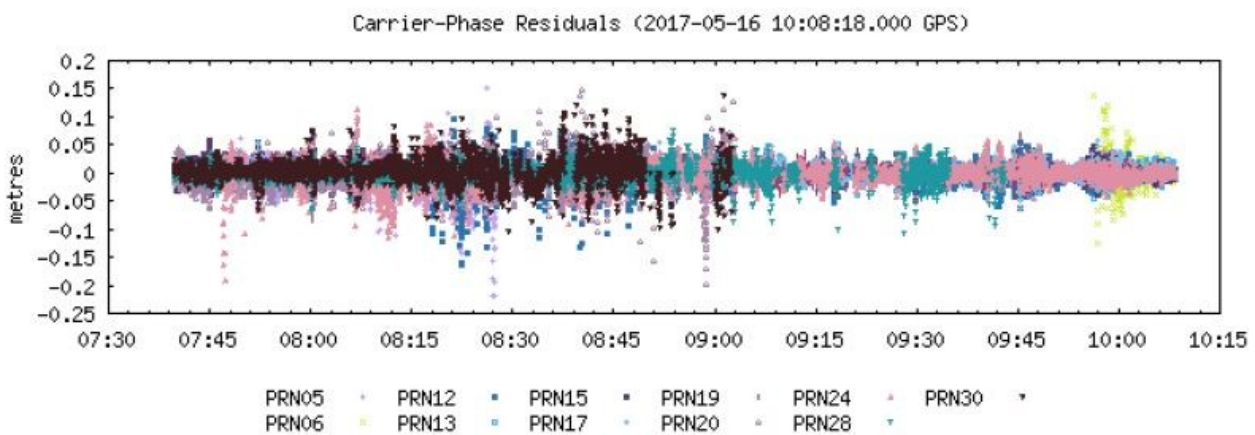
Διάγραμμα 4.15 Αριθμός δορυφόρων & Ποσοστό επανέναρξης ασαφειών φάσης (04592)
Πηγή: [CSRS-PPP]

- Οι ασάφειες φάσης των κωδίκων φαίνεται να έχουν μεγαλύτερο εύρος στη συγκεκριμένη διαδρομή. Μεγάλο μέρος τους βρίσκεται κοντά στα 5m για αρκετό χρονικό διάστημα (διάγραμμα 4.16).



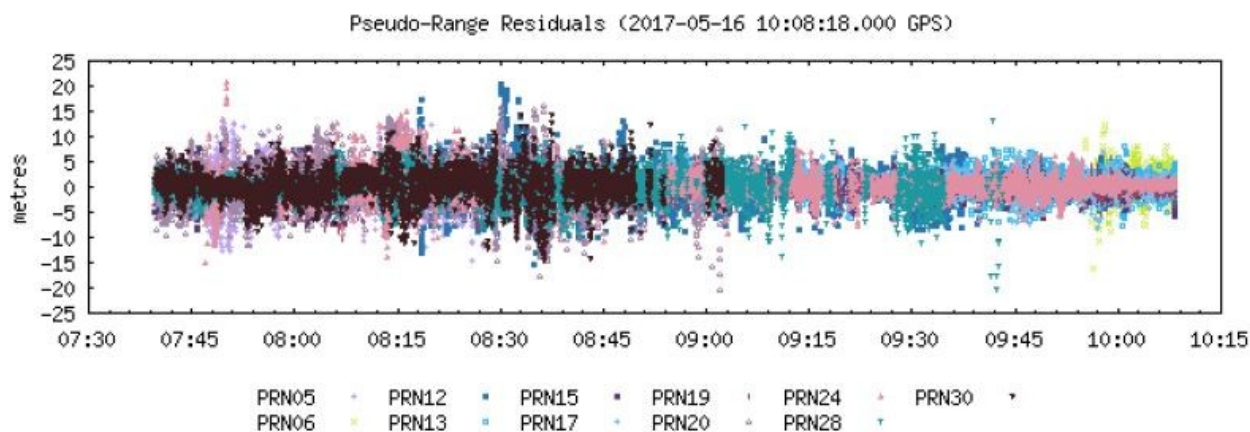
*Διάγραμμα 4.16 Ασάφειες φάσης ψευδοτυχαίου θορύβου (04592)
Πηγή: [CSRS-PPP]*

- Τα υπόλοιπα των φέρουσων συχνοτήτων στο πρώτο χρονικό διάστημα κυμαίνονται μέχρι τα 0.05m. Από τις 9:00 φαίνεται να μικραίνουν και τα μέγιστα τους να μην περνούν τα 0.03m (διάγραμμα 4.17).



*Διάγραμμα 4.17 Υπόλοιπα φέρουσων συχνοτήτων (04592)
Πηγή: [CSRS-PPP]*

- Τα υπόλοιπα του ψευδοτυχαίου θορύβου κυμαίνονται αρκετά υψηλά το πρώτο χρονικό διάστημα μέχρι τις 9:15. Σε εκείνο το χρονικό διάστημα πολλά υπόλοιπα ξεπερνούν ακόμα και τα 10m. Μετά τις 9:15 τα υπόλοιπα μικραίνουν και δεν ξεπερνούν πολλές φορές τα 5m (διάγραμμα 4.18).



*Διάγραμμα 4.18 Υπόλοιπα ψευδοτυχαίου θορύβου (04592)
Πηγή: [CSRS-PPP]*

Όλα τα παραπάνω διαγράμματα υπολοίπων και ασαφειών αποτελούν ποιοτικούς δείκτες που χρησιμεύουν στο να ενημερώσουν τον χρήστη για τη ποιότητα της λύσης που εξάχθηκε και την ακρίβεια αποτύπωσης της διαδρομής. Τα αποτελέσματα των δεικτών είναι άκρως ικανοποιητικά για την συγκεκριμένη εφαρμογή μιας και οι ακρίβειες κυμαίνονται στην τάξη των εκατοστών. Ως προς την ορθότητα της λύσης αυτή μπορεί να διαπιστωθεί από τον παραγόμενο χάρτη. Ορθότητα και ακρίβεια μαζί συντελούν την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. Η επίλυση από την CSRS-PPP αποτελεί βαρόμετρο και θα χρησιμοποιηθεί ως βάση για τις συγκρίσεις με τις υπόλοιπες μεθόδους των ίδιων διαδρομών.

4.5 Σημεία στάσης κατά τη διάρκεια των διαδρομών

Κατά τη διάρκεια των διαδρομών όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, έγιναν ολιγόλεπτες στάσεις σε επιλεγμένα σημεία προκειμένου να εξετασθεί η δυνατότητα εντοπισμού της θέσης στατικών σημείων μέσα σε μια κινηματική διαδικασία με αυτή την απλή μέθοδο. Ο εκάστοτε χειριστής του δέκτη επέλεξε τα σημεία που στάθηκε για λίγα λεπτά. Για τις τρεις διαδρομές σημείο εκκίνησης και τερματισμού ήταν το σημείο Δ2 όπου οι δέκτες παρέμειναν για περίπου 5 λεπτά στην αρχή αλλά και στο πέρας της διαδρομής τους. Έπειτα ο κάθε δέκτης ακολούθησε τη δικιά του ανεξάρτητη πορεία και σταμάτησε σε διαφορετικά σημεία. Οι συντεταγμένες των σταθερών σημείων βρέθηκαν με τη μέθοδο Static (σχετικός στατικός εντοπισμός) στο RTKLIB μιας

και υπήρχε διαθέσιμος δέκτης (Base) ως σταθμός αναφοράς και με τη μέθοδο PPP-Static της Καναδικής Υπηρεσίας CSRS-PPP. Η επιλογή του εκ των υστέρων σχετικού στατικού εντοπισμού θέσης έγινε διότι στόχος της εφαρμογής είναι όσο το δυνατόν καλύτερος εντοπισμός της θέσης των σημείων σε ολιγόλεπτες στάσεις. Γι αυτό το λόγο παρόλο που η CSRS-PPP επιλύει υψηλής ακρίβειας στατικό εντοπισμό η βέλτιστη δυνατή επίλυση με το RTKLIB είναι η λύση Static και αυτή επιλέχθηκε.

Για να προκύψουν όμως οι συντεταγμένες των σημείων που ήταν τμήμα της κινηματικής πορείας, χρειάστηκε να απομονωθούν οι παρατηρήσεις στα σταθερά σημεία από αυτές που έγιναν κινηματικά. Προκειμένου να επιτευχθεί ο διαχωρισμός αυτός έγινε η ακόλουθη διαδικασία:

Από την CSRS-PPP, εκτός από το pdf με την σύντομη περιγραφή των αποτελεσμάτων παρελήφθη επίσης ένα αρχείο .csv μορφής excel με τα στίγματα των σημείων ανά βήμα δειγματοληψίας. Στο συγκεκριμένο αρχείο δίνονται γεωδαιτικές συντεταγμένες και γεωμετρικό υψόμετρο (φ,λ,h) καθώς και ο χρόνος σε δεκαδικές ώρες για κάθε στίγμα. Βρίσκοντας την απόσταση σε μέτρα μεταξύ των στιγμάτων των αντίστοιχων συντεταγμένων φ,λ ανά βήμα δειγματοληψίας έγινε εφικτός ο υπολογισμός της ταχύτητας κίνησης.

Αναλυτικότερα οι εκάστοτε διαφορές του επόμενου και προηγούμενου στίγματος φ,λ μετατράπηκαν από μοίρες σε μέτρα ($1'' \rightarrow 30.888\text{m}$). Η ρίζα του αθροίσματος των τετραγώνων των διαφορών του προηγούμενου στίγματος με το επόμενο για Δφ, Δλ σε μέτρα δίνουν την απόσταση σε μέτρα μεταξύ των στιγμάτων. Ύστερα ο χρόνος μετατράπηκε σε δευτερόλεπτα και υπολογίστηκε για κάθε βήμα δειγματοληψίας η απόσταση που είχε διανυθεί, καθώς η ταχύτητα κίνησης δίνεται από τον απλούστατο τύπο $v = \Delta x / \Delta t$. Ο έλεγχος κίνησης ή στάσης ενός στίγματος έγινε θεωρώντας ως ελάχιστη ταχύτητα τα 0.09 m/s . Αυτό το όριο εξάχθηκε μέσω παρατήρησης των ταχυτήτων καθώς και των χρονικών διαστημάτων που είχαν γίνει οι στάσεις -υπενθυμίζεται πως οι χειριστές των δεκτών σημείωναν τις ώρες στάσεις κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Γι αυτό το λόγο τα 0.09m/s θεωρήθηκαν η ταχύτητα μετάβασης του δέκτη από τη στατική στην κινητική κατάσταση και το αντίστροφο.

Με αυτή τη μεθοδολογία βρέθηκαν σε τάξη δευτερολέπτων οι χρόνοι στάσης και έγινε εφικτή η περαιτέρω επεξεργασία των παρατηρήσεων. Μέσω του TEQC από τα ολόκληρα αρχεία των κινηματικών

παρατηρήσεων περικόπηκαν τα μικρά διαστήματα των στάσεων. Έτσι προέκυψε για κάθε στάση ένα ολιγόλεπτο μικρό αρχείο RINEX (.o). Κάθε αρχείο στάλθηκε ξεχωριστά στην CSRS-PPP επιλύθηκε με την μέθοδο PPP-Static και προσδιορίστηκαν συντεταγμένες καθώς και τυπικά σφάλματα. Αντίστοιχα έγινε και η επεξεργασία στο RTKLIB με τη μέθοδο σχετικού στατικού εντοπισμού με σταθερό δέκτη εκείνο στην οροφή του κτηρίου Λαμπαδαρίου, προσδιορίστηκαν συντεταγμένες και τα αντίστοιχα σφάλματα.

Ενώ οι συντεταγμένες του εκάστοτε σημείο δίνονται σε pdf από την Καναδική υπηρεσία όπου η επεξεργασία του αρχείου obs έγινε εξ ολοκλήρου στους servers της, στο RTKLIB γίνεται μια περαιτέρω επεξεργασία για την εξαγωγή τους. Στο RTKLIB εκτός από τα στίγματα θέσης για κάθε δευτερόλεπτο παρατήρησης δίνονται και τα αντίστοιχα τυπικά σφάλματα σε ένα τοπικό προβολικό σύστημα αναφοράς για κάθε στίγμα ανά συντεταγμένη. Από τα τυπικά σφάλματα εξάγεται το βάρος κάθε παρατήρησης. Το βάρος προκύπτει ως το υψωμένο στο τετράγωνο πηλίκο ενός εκ των προτέρων τυπικού σφάλματος (διαλέγεται $\sigma_{\text{apriori}} = 1\text{m}$) προς το τυπικό σφάλμα της κάθε μέτρησης (σχέση 4.1). Η εξαγωγή της μέσης τιμής γίνεται με την συμπίληψη βαρών ενώ και για την εύρεση του τυπικού σφάλματος της μέσης τιμής βαρύνουσα σημασία διαδραματίζουν τα βάρη. Πρέπει να σημειωθεί πως επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία για την εύρεση μέσου γεωδαιτικού πλάτους (φ) (σχέση 4.2), μήκους (λ) (σχέση 4.3) και γεωμετρικού υψομέτρου (h) (σχέση 4.4) καθώς και των αντίστοιχων τυπικών τους σφαλμάτων με βάρη μιας και για κάθε συντεταγμένη φ (σχέση 4.5) λ (σχέση 4.6), h (σχέση 4.7) δίνεται ξεχωριστά τυπικό σφάλμα για κάθε στίγμα. Εφαρμόζεται το εξής τυπολόγιο σε κάθε συντεταγμένη :

$$P_i = \frac{\sigma_{\text{apriori}}^2}{\sigma_i^2} \quad (4.1)$$

$$\bar{\varphi} = \frac{\sum(P_i^\varphi \cdot \varphi_i)}{\sum P_i^\varphi} \quad (4.2)$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\sum(P_i^\lambda \cdot \lambda_i)}{\sum P_i^\lambda} \quad (4.3)$$

$$\bar{h} = \frac{\sum(P_i^h \cdot h_i)}{\sum P_i^h} \quad (4.4)$$

$$\sigma\varphi = \sqrt{\sum \frac{P_i^\varphi \cdot (\varphi_i - \bar{\varphi})^2}{n \cdot (n-1)}} \quad (4.5)$$

$$\sigma\lambda = \sqrt{\sum \frac{P_i^\lambda \cdot (\lambda_i - \bar{\lambda})^2}{n \cdot (n-1)}} \quad (4.6)$$

$$\sigma h = \sqrt{\sum \frac{P_i^h \cdot (h - \bar{h})^2}{n \cdot (n-1)}} \quad (4.7)$$

Οι μορφή των συντεταγμένων της CSRS-PPP είναι γεωδαιτικές συντεταγμένες (φ, λ, h) με τα τυπικά σφάλματα των μέσων όρων τους (σ_N , σ_E και σ_U) να εκφράζονται σε ένα τοπικό προβολικό σύστημα για γίνονται αντιληπτά τα μεγέθη σε μέτρα. Αντίστοιχα για το RTKLIB ακολουθείται η ίδια μεθοδολογία ώστε να είναι άμεσα συγκρίσιμα τα μεγέθη των τυπικών σφαλμάτων μεταξύ των δύο υπηρεσιών. Τα $\sigma\varphi$ και $\sigma\lambda$ της καλύτερης τιμής εξάγονται σε δεκαδικές μοίρες ενώ το σh σε μέτρα. Προκειμένου να μετατραπούν και τα $\sigma\varphi$ και $\sigma\lambda$ σε μέτρα σε ένα τοπικό προβολικό σύστημα αναφοράς χρησιμοποιείται η σχέση πως 1" μοίρας αντιστοιχεί σε 30.888m. Ύστερα αφού εκφράζονται τα τυπικά σφάλματα σε m για να μετατραπούν σε ένα τοπικό προβολικό σύστημα αναφοράς χρησιμοποιείται η σχέση :

$$\hat{V}_{N,E,U} = R^T \cdot \hat{V}_{\varphi,\lambda,h} \cdot R \quad (4.8)$$

Η παραπάνω σχέση (σχέση 4.8) χρησιμοποιεί ένα πίνακα στροφής R (σχέση 4.9) ο οποίος περιέχει τις καλύτερες τιμές των συντεταγμένων φ και λ μετατρέποντας τον διαγώνιο πίνακα μεταβλητοτήτων $V_{\varphi,\lambda,h}$, που περιέχει τα τυπικά σφάλματα της καλύτερης τιμής των φ, λ, h σε μέτρα, στον $V_{N,E,U}$ ο οποίος πλέον έχει στη διαγώνιο του τα τυπικά σφάλματα σ_N , σ_E και σ_U στο τετράγωνο.

$$R = \begin{pmatrix} -\sin \lambda & \cos \lambda & 0 \\ -\cos \lambda \cdot \sin \varphi & -\sin \varphi \cdot \cos \lambda & \cos \varphi \\ \cos \varphi \cdot \cos \lambda & \cos \varphi \cdot \sin \lambda & \sin \varphi \end{pmatrix} \quad (4.9)$$

Όλα τα τυπικά σφάλματα από την CSRS-PPP και από το RTKLIB παρουσιάζονται για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, άρα όλες οι τιμές των τυπικών σφαλμάτων είναι πολλαπλασιασμένες με την τιμή $z=1.96$.

4.5.1 Συντεταγμένες σημείων εκάστοτε διαδρομής

Σε αυτό το σημείο παρουσιάζονται οι γεωδαιτικές συντεταγμένες των σημείων καθώς. Οι συντεταγμένες των σημείων χρησιμοποιώντας το λογισμικό RTKLIB προέκυψαν με τη μέθοδο Static και η επίλυση των ασαφειών φάσης έγινε με τη μέθοδο Continuous κατά την οποία οι ασάφειες φάσης εκτιμώνται και επιλύονται συνεχώς. Η συγκεκριμένη επιλογή γίνεται επειδή το χρονικό διάστημα μέτρησης στα σημεία είναι μικρό επομένως κάθε δευτερόλεπτο επίλυσης ασαφειών είναι πολύ σημαντικό για το τελικό αποτέλεσμα. Στην υπηρεσία CSRS-PPP απλώς γίνεται η επιλογή Static κατά την αποστολή των αρχείων.

Δέκτης 04626

Στον παρακάτω πίνακα 4.1 φαίνονται οι συντεταγμένες των σταθερών σημείων όπως δόθηκαν από την CSRS-PPP.

Σημεία	φ (°)	λ (°)	h (m)
Δ2	37° 58' 28.4995"	23° 46' 51.1935"	234.154
Στ40	37° 58' 27.0530"	23° 46' 54.9401"	232.266
ΣΕΜΦΕ	37° 58' 33.9193"	23° 46' 56.1328"	222.778
Στ94	37° 58' 35.2245"	23° 46' 51.3287"	211.339
Στ92	37° 58' 38.3667"	23° 46' 47.1450"	209.114
Δ5	37° 58' 39.5140"	23° 46' 45.5701"	206.033
ΜΕΤ	37° 58' 46.3208"	23° 46' 45.9751"	211.029
ΛΙΜΕΝ	37° 58' 38.5866"	23° 46' 36.6864"	216.521
Δ2	37° 58' 28.4864"	26° 46' 51.1749"	234.449

Πίνακας 4.1 Σημεία διαδρομής δέκτη 04626 σε γεωδαιτικές συντεταγμένες από την CSRS-PPP με τις αντίστοιχες τυπικές αποκλίσεις

Όσον αφορά στα αποτελέσματα από το RTKLIB (πίνακας 4.2) πλέον μεταξύ του σταθερού δέκτη (Base) και του κινούμενου δέκτη, επιλύεται ένα διάνυσμα ΔX , ΔY , ΔZ μεταξύ του γνωστού σημείο του σταθμού

αναφοράς και του άγνωστου άρα ο δέκτης δεν λειτουργεί αυτόνομα στηριζόμενος αποκλειστικά στις δικές του παρατηρήσεις.

Σημεία	φ (°)	λ (°)	h (m)
Δ2	37° 58' 28.4986"	23° 46' 51.1797"	234.251
Στ40	37° 58' 27.0544"	23° 46' 54.9241"	230.216
ΣΕΜΦΕ	37° 58' 33.9209"	23° 46' 56.1088"	221.593
Στ94	37° 58' 35.2565"	23° 46' 51.2811"	211.895
Στ92	37° 58' 38.3672"	23° 46' 47.1098"	208.454
Δ5	37° 58' 39.5151"	23° 46' 45.5832"	207.319
MET	37° 58' 46.3184"	23° 46' 45.9787"	211.087
ΛΙΜΕΝ	37° 58' 38.5731"	23° 46' 36.6911"	218.160
Δ2	37° 58' 28.4888"	23° 46' 51.1739"	233.957

Πίνακας 4.2 Σημεία διαδρομής δέκτη 04626 σε γεωδαιτικές συντεταγμένες από το RTKLIB με τις αντίστοιχες τυπικές αποκλίσεις

Στον πίνακα 4.3, καταγράφονται οι χρόνοι παραμονής του δέκτη 04626 στα επιλεγμένα σημεία:

Σημεία	Χρόνος παραμονής
Δ2	5min 37sec
Στ 40	5min 55sec
ΣΕΜΦΕ	7min 29sec
Στ 94	5min 46sec
Στ 92	4min 51sec
Δ5	6min 56sec
MET	6min 22sec
ΛΙΜΕΝ	7min 33sec
Δ2	5min 49sec

Πίνακας 4.3 Χρόνοι παραμονής σε κάθε σημείο δέκτης 04626

Δέκτης 04280

Τα σημεία που σταμάτησε ο δέκτης 04280 και επιλύθηκαν από την υπηρεσία CSRS-PPP φαίνονται στον πίνακα 4.4.

Σημεία	φ (°)	λ (°)	h (m)
Δ2	37° 58' 28.5014"	23° 46' 51.1976"	234.258
ΣΗΜΕΙΟ 1	37° 58' 27.3599"	23° 47' 02.8300"	229.986
ΣΗΜΕΙΟ 2	37° 58' 27.6827"	23° 47' 10.5235"	242.246
ΣΗΜΕΙΟ 3	37° 58' 38.9071"	23° 47' 13.7392"	241.146
ΣΗΜΕΙΟ 4	37° 58' 50.4944"	23° 47' 04.2544"	224.283
ΣΗΜΕΙΟ 5	37° 58' 44.0141"	23° 47' 01.0655"	222.488
ΣΗΜΕΙΟ 6	37° 58' 41.7078"	23° 46' 57.3136"	222.137
ΣΗΜΕΙΟ 7	37° 58' 51.5679"	23° 46' 57.3607"	220.764
ΣΗΜΕΙΟ 8	37° 58' 46.1376"	23° 46' 46.1077"	210.857
ΣΗΜΕΙΟ 9	37° 58' 40.5001"	23° 46' 52.5872"	216.872
ΣΗΜΕΙΟ 10	37° 58' 34.1871"	23° 46' 56.5434"	224.215
Δ2	37° 58' 28.5075"	23° 46' 51.1654"	234.857

Πίνακας 4.4 Σημεία διαδρομής δέκτη 04280 σε γεωδαιτικές συντεταγμένες από την CSRS-PPP με τις αντίστοιχες τυπικές αποκλίσεις

Η αντίστοιχη λύση σχετικού στατικού εντοπισμού (Static) από το λογισμικό RTKLIB για τα σταθερά σημεία του δέκτη 04280

Σημεία	φ (°)	λ (°)	h (m)
Δ2	37° 58' 28.5043"	23° 46' 51.1888"	234.388
ΣΗΜΕΙΟ 1	37° 58' 27.3734"	23° 47' 02.8224"	230.388
ΣΗΜΕΙΟ 2	37° 58' 27.6735"	23° 47' 10.4750"	237.210
ΣΗΜΕΙΟ 3	37° 58' 38.9116"	23° 47' 13.7279"	240.193
ΣΗΜΕΙΟ 4	37° 58' 50.4949"	23° 47' 04.2488"	224.066
ΣΗΜΕΙΟ 5	37° 58' 44.0762"	23° 47' 01.0505"	225.351
ΣΗΜΕΙΟ 6	37° 58' 41.7070"	23° 46' 57.3060"	223.053
ΣΗΜΕΙΟ 7	37° 58' 51.5685"	23° 46' 57.3563"	220.071
ΣΗΜΕΙΟ 8	37° 58' 46.1405"	23° 46' 46.1156"	210.864
ΣΗΜΕΙΟ 9	37° 58' 40.4553"	23° 46' 52.6652"	220.537
ΣΗΜΕΙΟ 10	37° 58' 34.2201"	23° 46' 56.5415"	226.556
Δ2	37° 58' 28.5316"	23° 46' 51.1830"	233.542

Πίνακας 4.5 Σημεία διαδρομής δέκτη 04280 σε γεωδαιτικές συντεταγμένες από το RTKLIB με τις αντίστοιχες τυπικές αποκλίσεις

Στον πίνακα 4.6, καταγράφονται οι χρόνοι παραμονής του δέκτη 04280 στα επιλεγμένα σημεία:

Σημεία	Χρόνος παραμονής
Δ2	7min 39sec
ΣΗΜΕΙΟ 1	3min 22sec
ΣΗΜΕΙΟ 2	5min 22sec
ΣΗΜΕΙΟ 3	6min 59sec
ΣΗΜΕΙΟ 4	7min 26sec
ΣΗΜΕΙΟ 5	5min 48sec
ΣΗΜΕΙΟ 6	8min 43sec
ΣΗΜΕΙΟ 7	7min 14sec
ΣΗΜΕΙΟ 8	5min 48sec
ΣΗΜΕΙΟ 9	6min 56sec
ΣΗΜΕΙΟ 10	4min
Δ2	1min 26sec

Πίνακας 4.6 Χρόνοι παραμονής σε κάθε σημείο δέκτης 04280

Δέκτης 04592

Οι συντεταγμένες των σταθερών σημείων από την CSRS-PPP για τον δέκτη 04592 είναι:

Σημεία	φ (°)	λ (°)	h (m)
Δ2	37° 58' 28.4992"	23° 46' 51.1908"	234.771
Στ 38	37° 58' 27.9639"	23° 46' 51.2264"	234.419
Φ	37° 58' 27.9350"	23° 46' 52.8271"	234.060
Δ1	37° 58' 27.3592"	23° 46' 54.9745"	231.337
ΗΜ	37° 58' 27.4610"	23° 47' 02.2975"	229.916
ΙΑΤ	37° 58' 27.6760"	23° 47' 10.3548"	242.307
Ε	37° 58' 33.1893"	23° 46' 54.7390"	218.167
ΣΑΤΜ	37° 58' 33.0732"	23° 46' 43.5567"	228.275
Δ2	37° 58' 28.4931"	23° 46' 51.1759"	234.240

Πίνακας 4.7 Σημεία διαδρομής δέκτη 04592 σε γεωδαιτικές συντεταγμένες από την CSRS-PPP με τις αντίστοιχες τοπικές αποκλίσεις

Οι αντίστοιχες συντεταγμένες από το RTKLIB με τη μέθοδο Static

Σημεία	φ (°)	λ (°)	h (m)
Δ2	37°58'28.4939"	23°46'51.1827"	234.055
Στ 38	37°58'27.9346"	23°46'51.1777"	235.061
Φ	37°58'27.9314"	23°46'52.8283"	235.760
Δ1	37°58'27.3428"	23°46'54.9430"	231.122
HM	37°58'27.4754"	23°47'02.2819"	227.662
ΙΑΤ	37°58'27.6474"	23°47'10.3793"	244.146
Ε	37°58'33.1983"	23°46'54.7304"	218.916
ΣΑΤΜ	37°58'33.0775"	23°46'43.5573"	228.949
Δ2	37°58'28.4984"	23°46'51.1786"	234.955

Πίνακας 4.8 Σημεία διαδρομής δέκτη 04592 σε γεωδαιτικές συντεταγμένες από το RTKLIB με τις αντίστοιχες τυπικές αποκλίσεις

Στον πίνακα 4.9, καταγράφονται οι χρόνοι παραμονής του δέκτη 04626 στα επιλεγμένα σημεία:

Σημεία	Χρόνος παραμονής
Δ2	7min 18sec
Στ 38	4min 29sec
Φ	5min 49sec
Δ1	4min 53sec
HM	6min 20sec
ΙΑΤ	9min 36sec
Ε	7min 44sec
ΣΑΤΜ	5min 36sec
Δ2	6min 10sec

Πίνακας 4.9 Χρόνοι παραμονής σε κάθε σημείο δέκτης 04592

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

5.1 Γενικά

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται η σύγκριση και η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που εξάχθηκαν από την προγενέστερη επεξεργασία. Οι συγκρίσεις των μεθόδων αναλύονται και εμφανίζονται μέσω πινάκων και διαγραμμάτων, ενώ δίνεται και η θεωρητική αιτιολόγηση των διαφορών ή των ομοιοτήτων που προκύπτουν μεταξύ των αποτελεσμάτων. Η εξέταση των μεθόδων γίνεται τόσο για τις κινηματικές διαδρομές όσο και για τα σταθερά σημεία και μέσα από τα αποτελέσματα των συγκρίσεων θα αξιολογηθούν οι δυνατότητες του λογισμικού RTKLIB σε σχέση με τις κινηματικές και στατικές μετρήσεις. Η σειρά των συγκρίσεων γίνεται με την αντίστοιχη ανάλυση που προηγείται στο κεφάλαιο 4.

5.2 Σύγκριση μεθόδων PPP-Kinematic – Kinematic στο RTKLIB

Τα αποτελέσματα των δύο αυτών μεθόδων αποτύπωσης μιας διαδρομής παρουσιάζουν κάποιες αξιοσημείωτες διαφοροποιήσεις. Για να γίνουν αντιληπτές, οι διαδρομές αξιολογήθηκαν χρησιμοποιώντας τόσο τα στίγματα θέσης ανά δευτερόλεπτο όσο και οι γραφικές απεικονίσεις των διαδρομών σε περιβάλλον Google earth.

Εξετάζοντας τις διαδρομές παρατηρείται ότι με την κινηματική μέθοδο μειώνονται τα σφάλματα των στιγμάτων ανά δευτερόλεπτο μέτρησης καθ όλη τη διάρκεια της διαδρομής και επίσης μετριάζονται τα σφάλματα των προβληματικών σημείων εξομαλύνοντας τις διαφορές με την πραγματική πορεία που ακολούθησε ο δέκτης. Για του λόγου το αληθές το ποσοστό των στιγμάτων που υπερβαίνουν τα όρια που έχουν τεθεί (§4.2.1) μειώνονται στις δύο διαδρομές, ενώ στην διαδρομή του δέκτη 04280 παραμένει σταθερό λόγω και της δυσκολίας των συνθηκών της συγκεκριμένης πορείας.

Για τον δέκτη 04626 το ποσοστό μειώνεται στο 2.8% από 3.4%, για τον 04280 παραμένει στο 6.3% και για τον 04592 φτάνει στο 2% από 2.5%.

Παρατηρείται τουλάχιστον για τους δύο δέκτες πως η μείωση είναι

σημαντική όταν συμπεριλαμβάνεται στη διαδικασία ένας σταθερός σταθμός.

Ένα δεύτερο κριτήριο αξιολόγησης των διαδρομών μεταξύ των δύο μεθόδων επίλυσης, αποτελεί η εύρεση της μέσης τιμής των υπολοίπων των ομόλογων στιγμάτων των εκάστοτε διαδρομών με την τυπική τους απόκλιση καθώς και τα μέγιστα και ελάχιστα υπόλοιπα. Χρίζει προσοχής πως για την εξαγωγή του μέσου όρου και της τυπικής απόκλισης βρέθηκαν οι διαφορές Δφ, Δλ και Δh των ομόλογων στιγμάτων και μετατράπηκαν από μοίρες σε μέτρα για να είναι αντιληπτές από τον αναγνώστη. Με αυτόν το τρόπο υπολογίστηκε η μέση τιμή, η τυπική απόκλιση (σχέση 5.1), τα μέγιστα και ελάχιστα υπόλοιπα για κάθε συντεταγμένη εκφρασμένες σε μέτρα. Προκειμένου να εξαχθούν τα αποτελέσματα της μέσης τιμής των υπολοίπων και της αντίστοιχης τυπικής τους απόκλισης, εξαιρέθηκαν τα υπόλοιπα τα οποία είχαν διαφορές μεγαλύτερες του 1m. Αυτός ο διαχωρισμός πραγματοποιήθηκε με σκοπό να απορριφθούν οι μεμονωμένες ακραίες τιμές των υπολοίπων που εμφανίζονται κατεξοχήν στα προβληματικά σημεία και η μέση τιμή με την τυπική απόκλιση να εκφράζουν τις διαφορές των ομόλογων σημείων που περιγράφουν την κατά προσέγγιση πραγματική διαδρομή. Η λήψη του συγκεκριμένου ορίου επιλέχθηκε με την λογική πως αν το μέσο πλάτος ενός ανθρώπου είναι 0.5m, ενώ επιπλέον το σφάλμα 0.5m φαινόταν στο χάρτη ως εκτροπή της διαδρομής τότε αθροιστικά οι διαφορές πάνω από 1m σε ομόλογα σημεία αποτελούν προβληματική εκτροπή από την πορεία. Φυσικά για την εξαγωγή μέγιστων και ελάχιστων διαφορών δεν λήφθηκε αυτό το όριο υπόψιν. Ακόμη πρέπει να σημειωθεί πως η τυπική απόκλιση των διαδρομών εκφράζεται με πιθανότητα εμφάνισης μια τυχαίας τιμής x σε διάστημα 95% (z=1.96). Τα αποτελέσματα φαίνονται εκτενέστερα στον πίνακα 5.1 και 5.2:

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n \cdot (n-1)}} \quad (5.1)$$

με x_i συμβολίζεται το υπόλοιπο των ομόλογων στιγμάτων και \bar{x} μέση τιμή υπολοίπων

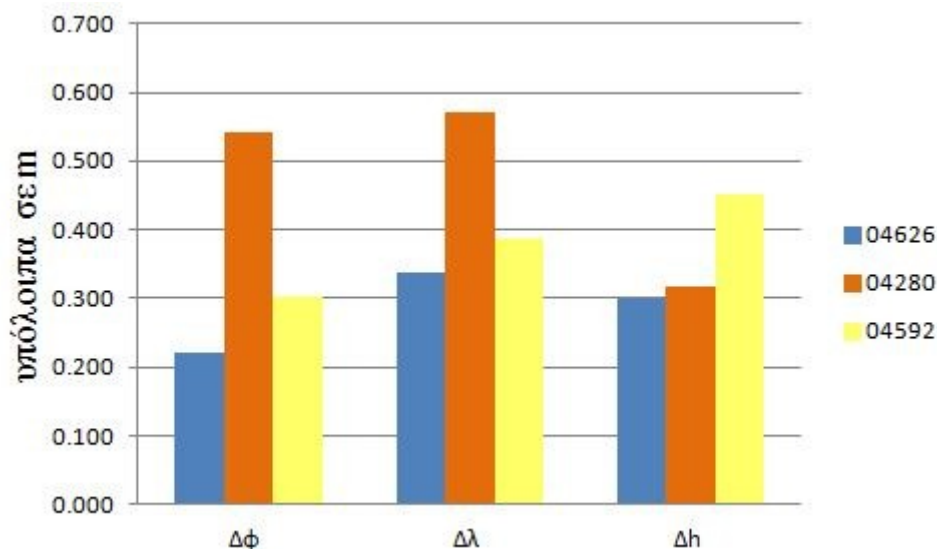
Δέκτης	Δφ (m)	σΔφ (m)	Δλ (m)	σΔλ (m)	Δh (m)	σΔh (m)
04626	0.222	± 0.006	0.541	± 0.006	0.301	± 0.007
04280	0.338	± 0.006	0.572	± 0.006	0.388	± 0.01
04592	0.3	± 0.004	0.317	± 0.008	0.452	± 0.008

Πίνακας 5.1 Μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις υπολοίπων των διαδρομών (04626)

Συντεταγμένη	Δφ (m)		Δλ (m)		Δh (m)	
	max	min	max	min	max	min
04626	23.491	0	7.823	0	39.38	0
04280	32.486	0	27.445	0.001	172.251	0
04592	28.455	0	47.851	0	30.767	0

Πίνακας 5.2 Μέγιστα και ελάχιστα υπόλοιπα διαδρομών (04626)

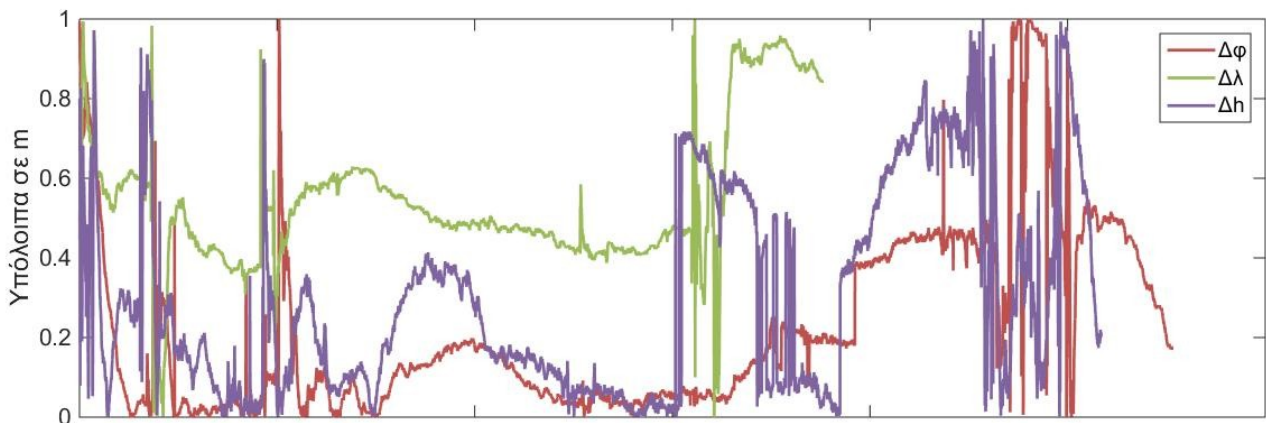
Όπως φαίνεται οι μέσοι όροι των Δφ, Δλ και Δh κυμαίνονται από τα 20cm -δέκτης 04626- και φτάνουν στη χειρίστη περίπτωση λίγο πιο πάνω από τα 50cm -δέκτης 04280- (διάγραμμα 5.1). Ο δέκτης 04626 έχει τους μικρότερους μέσους όρους σε Δφ, Δλ και Δh αποδεικνύοντας πως τα ομόλογα στίγματα των διαδρομών του στις δύο διαφορετικές μεθόδους επίλυσης στο RTKLIB, ταυτίζονται περισσότερο από ότι στις δύο άλλες διαδρομές. Αντίθετα στον δέκτη 04280 φαίνεται πως τα ομόλογα στίγματα ξεπερνούν σε φ και λ τουλάχιστον τα 0.5m, γεγονός που γίνεται αντιληπτό ήδη από τις περιγραφές των διαδρομών στο προηγούμενο κεφάλαιο. Τέλος ο δέκτης 04592 έχει τις μεγαλύτερες διαφορές στα γεωμετρικά υψόμετρα στα ομόλογα στίγματα και φυσιολογικές διαφορές στα φ και λ. Συμπερασματικά η συσχέτιση της αποτύπωσης των διαδρομών στις PPP-Kinematic και Kinematic δεν είναι η πρόεπουσα για τον δέκτη 04280 τουλάχιστον.



Διάγραμμα 5.1 Μέσοι όροι υπολοίπων Δφ, Δλ, Δh για τις τρεις διαδρομές

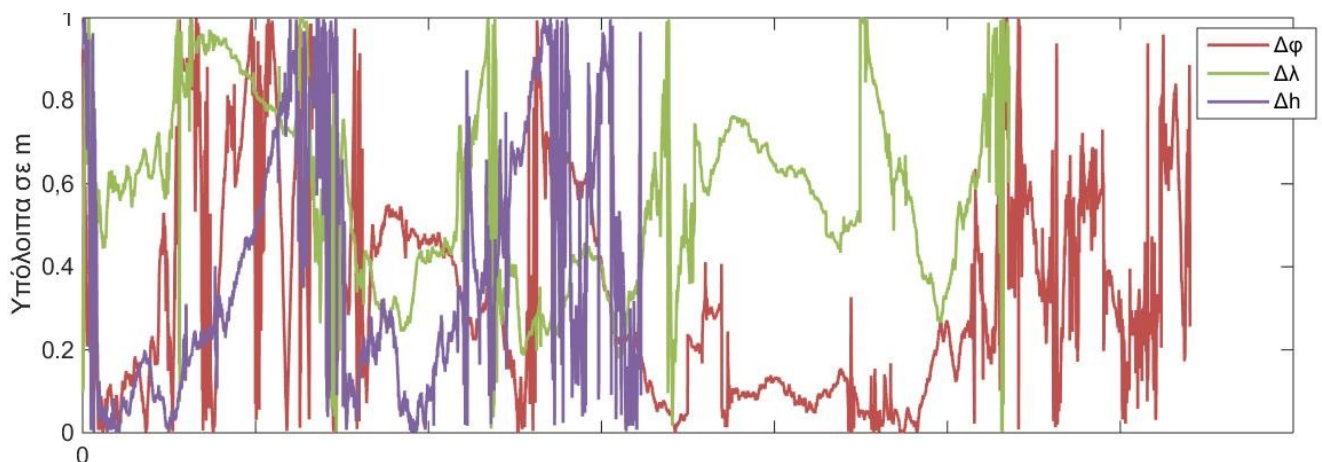
Όσον αφορά στις τυπικές αποκλίσεις παρόλο που είναι της τάξης των χιλιοστών και για τις τρεις διαδρομές, εμφανίζουν μεγάλη διασπορά ειδικά στο γεωμετρικό υψόμετρο.

Μικρότερη διασπορά εμφανίζουν τα υπόλοιπα Δl στη διαδρομή του δέκτη 04626 (διάγραμμα 5.2) τα οποία φαίνεται για αρχή να κυμαίνονται κοντά στο μέσο όρο τους 0.541m αλλά προς το τέλος αποκλίνουν αρκετά. Τα υπόλοιπα του $\Delta\phi$ και Δh έχουν μεγάλη διασπορά καθ' όλη τη διάρκεια της διαδρομής.



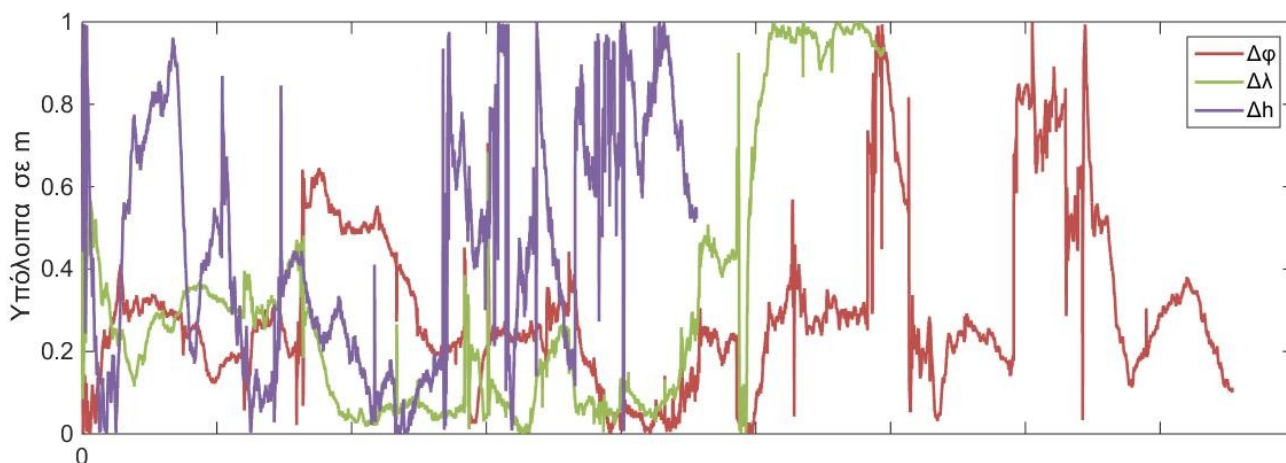
Διάγραμμα 5.2 Διασπορά υπολοίπων $\Delta\phi$, Δl Δh δέκτη 04626

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 5.3 η διασπορά των υπολοίπων $\Delta\phi$, Δl και Δh για τον δέκτη 04280 είναι πολύ μεγάλη και σε καμία περίπτωση δεν συγκλίνουν στο μέσο όρο τους. Ειδικά το Δh αποκλίνει πολύ από τη μέση τιμή του.



Διάγραμμα 5.3 Διασπορά υπολοίπων $\Delta\phi$, Δl Δh δέκτη 04280

Τέλος στο διάγραμμα 5.4 για τον δέκτη 04592 φαίνεται επίσης πως η διασπορά των υπολοίπων $\Delta\phi$, Δl και Δh δεν συγκλίνει στον αντίστοιχο μέσο όρο τους, με αποτέλεσμα να εμφανίζονται ακραίες τιμές στα υπόλοιπα φυσικά κάτω από το όριο του 1m που έχει τεθεί.



Διάγραμμα 5.4 Διασπορά υπολοίπων $\Delta\phi$, Δl Δh δέκτη 04592

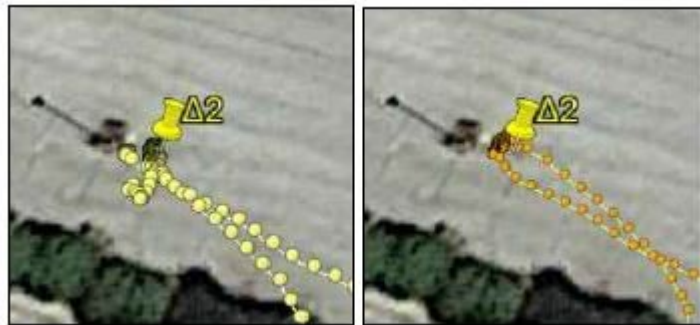
Όσον αφορά στις μέγιστες και ελάχιστες διαφορές: είναι της τάξης των 30m για το $\Delta\phi$ και στις τρεις διαδρομές, συγκριτικά μικρή διαφορά υπολοίπων εμφανίζεται στο Δl της διαδρομής του δέκτη 04626 μιας και φτάνει τα 7m ενώ στις άλλες διαδρομές φτάνει τα 27m και τα 47m αντίστοιχα. Τέλος ενώ τα Δh φτάνουν περίπου τα 30m με 40m στις διαδρομές των δεκτών 04626 και 04592 για τον δέκτη 04280 φτάνει τα εξωφρενικά 172m. Οι μέγιστες τιμές εμφανίζονται στα προβληματικά σημεία μιας και ο δέκτης δεν μπορούσε να προσδιορίσει τη θέση του και απέδιδε τελείως λανθασμένα στίγματα. Αντίθετα οι ελάχιστες τιμές κατά το πλείστον εκφράζουν τα κομμάτια της διαδρομής όπου ο δέκτης λάμβανε άριστες παρατηρήσεις.

Τέλος πρέπει να διευκρινιστεί η διαφορά που εμφανίζεται στο σημείο εκκίνησης και τερματισμού $\Delta 2$ στις τρεις διαδρομές με την επίλυση των δύο μεθόδων. Όπως αναφέρθηκε στην ανάλυση της μεθόδου PPP-Kinematic η μέτρηση του ίδιου σημείου στην αρχή και στο πέρας των διαδρομών δεν συνέπιπτε στο χάρτη σε καμία εκ των διαδρομών. Εν αντιθέσει στην κινηματική μέθοδο η θέση του σημείου αυτού συμπίπτει όπως ακριβώς πρέπει να συμβαίνει, στην ίδια θέση. Αυτό το γεγονός οφείλεται στο ότι με την ύπαρξη του σταθμού αναφοράς γίνεται μέτρηση της βάσης μεταξύ του γνωστού σημείου του σταθμού αναφοράς και του

άγνωστου $\Delta 2$ που είναι πολύ ακριβέστερη διαδικασία από τον απόλυτο προσδιορισμό της θέσης του σημείου. Στις εικόνες 5.1, 5.2 και 5.3 φαίνεται σχηματικά αυτή η διαφορά.



Εικόνα 5.1 Διαφορά στη θέση του κοινού σημείου εκκίνησης και τερματισμού $\Delta 2$ μεταξύ των δύο μεθόδων επίλυσης PPP-Kinematic (αριστερά) και Kinematic (δεξιά), διαδρομή δέκτη 04626 Πηγή: [Google Earth]



Εικόνα 5.2 Διαφορά στη θέση του κοινού σημείου εκκίνησης και τερματισμού $\Delta 2$ μεταξύ των δύο μεθόδων επίλυσης PPP-Kinematic (αριστερά) και Kinematic (δεξιά), διαδρομή δέκτη 04280 Πηγή: [Google Earth]



Εικόνα 5.3 Διαφορά στη θέση του κοινού σημείου εκκίνησης και τερματισμού $\Delta 2$ μεταξύ των δύο μεθόδων επίλυσης PPP-Kinematic (αριστερά) και Kinematic (δεξιά), διαδρομή δέκτη 04592 Πηγή: [Google Earth]

5.3 Σύγκριση μεθόδων PPP-Kinematic σε RTKLIB και CSRS

Σε αυτή τη παράγραφο γίνεται η σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο υψηλής ακρίβειας κινηματικών εντοπισμών θέσης από το RTKLIB και την Καναδική Υπηρεσία για τις τρεις διαδρομές. Γίνεται εξαγωγή του μέσου όρου και της τυπικής απόκλισης των υπολοίπων καθώς επίσης βρίσκονται τα μέγιστα και ελάχιστα υπόλοιπα όπως ακριβώς πραγματοποιήθηκε και εξηγήθηκε προγενέστερα. Ακόμη τίθεται σε εφαρμογή και μια περαιτέρω σύγκριση. Με δεδομένο ότι οι παρατηρήσεις με βήμα δειγματοληψίας του ενός δευτερολέπτου απαιτούν τεράστιο αποθηκευτικό χώρο για μια διαδρομή των περίπου δύο ωρών όπως αυτές που πραγματοποιούνται, δοκιμάζεται να αυξηθεί το βήμα δειγματοληψίας ανά 10 και 30 δευτερόλεπτα ώστε με λιγότερα δεδομένα να αξιολογηθεί η περιγραφή της διαδρομής που αποδίδουν. Στους παρακάτω πίνακες φαίνεται αυτή η σύγκριση των μεθόδων PPP-Kinematic με το λογισμικό RTKLIB και CSRS-PPP στα αντίστοιχα βήματα δειγματοληψίας.

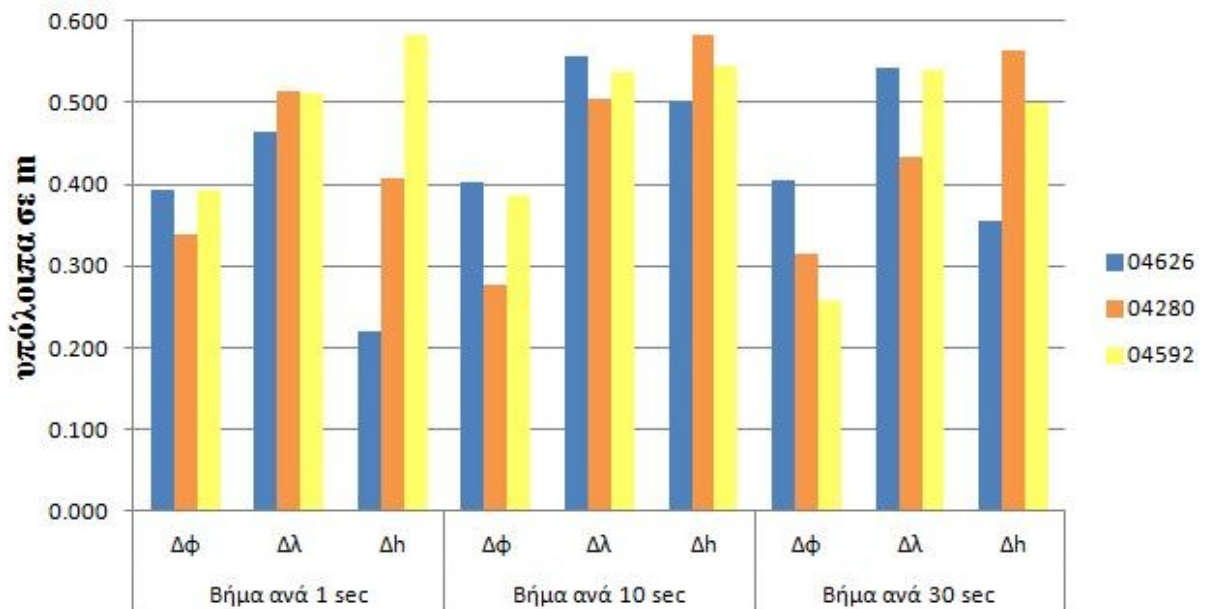
Για να πραγματοποιηθούν αυτές οι συγκρίσεις χρειάστηκε να γίνει η κατάλληλη επεξεργασία των πρωτογενών αρχείων των παρατηρήσεων (.obs) μέσω του TEQC ώστε να σταλούν με αυξημένο βήμα δειγματοληψίας στην Καναδική υπηρεσία. Από τη πλευρά των παρατηρήσεων από το RTKLIB υπάρχει ειδική λειτουργία του λογισμικού που επιτρέπει την εισαγωγή του επιθυμητού βήματος. Επιπλέον είναι αναγκαίο για κάθε ζευγάρι διαδρομών σύγκρισης να εξαχθούν οι ταυτόχρονες παρατηρήσεις για να βρεθούν τα ομόλογα σημεία και να υπολογιστούν τα υπόλοιπα. Για κάθε συγκρινόμενο ζευγάρι διαδρομών αντίστοιχου βήματος υπολογίζεται η μέση τιμή των υπολοίπων με την τυπική της απόκλιση καθώς μέγιστο και ελάχιστο υπόλοιπο. Όπως και στη σύγκριση PPP-Kinematic με Κινηματικό εντοπισμό στο RTKLIB τίθεται για τον ίδιο ακριβώς λόγο στα υπόλοιπα όριο 1m.

Στους πίνακες 5.3 και 5.4 εμφανίζονται όλα τα αποτελέσματα των μεγεθών που προαναφέρθηκαν αναλυτικά. Ακόμη στο διάγραμμα 5.5 οπτικοποιούνται τα αποτελέσματα για την καλύτερη ερμηνεία τους. Σημειωτέον η τυπική απόκλιση των διαδρομών αναφέρεται για πιθανότητα εμφάνισης μια τυχαίας τιμής x σε διάστημα 95% δηλαδή $z=1.96$.

Παρουσιάζοντας τα αποτελέσματα για κάθε δέκτη ξεχωριστά ισχύει ότι:

- Για τον δέκτη 04626 παρατηρείται πως η μέση τιμή του $\Delta\phi$ παραμένει σταθερή και για τα τρία βήματα δειγματοληψίας. Επομένως η αλλαγή συχνότητας λήψης στίγματος δεν επηρεάζει την απόδοση του δέκτη 04626 στο προσδιορισμό των στιγμάτων κατά ϕ . Τώρα σχετικά με το $\Delta\lambda$, αυτό είναι λίγο μικρότερο από τα 0.5m στο βήμα ανά δευτερόλεπτο, αλλά παραμένει σταθερό λίγο πιο πάνω από τα 0.5m στα βήματα ανά 10 και 30 δευτερόλεπτα. Σε αυτό το σημείο εξάγεται το συμπέρασμα για το λ , πως προσδιορίζεται καλύτερα όταν λαμβάνεται στίγμα ανά δευτερόλεπτο αλλά παραμένει σταθερά λίγο μεγαλύτερο στα βήματα των 10 και 30 δευτερολέπτων όπου δεν μεταβάλλεται η τιμή του. Τέλος το Δh έχει την πιο περίεργη συμπεριφορά μιας και ενώ για βήμα ανά 1 δευτερόλεπτο βρίσκεται πολύ χαμηλά 0.22m για βήμα ανά 10 δευτερόλεπτα εκτοξεύεται στα 0.5m ενώ για βήμα ανά 30 και πάλι μειώνεται στα 0.354m. Αυτό το γεγονός έχει να κάνει με το πόσες τιμές συμπεριλαμβάνονται στην εξαγωγή του μέσου όρου μιας και πολλές τιμές ανά 30 δευτερόλεπτα απορρίπτονται καθώς είναι μεγαλύτερες από το 1m γι αυτό οι λίγες συμπεριλαμβανόμενες τιμές προσδίδουν αυτό το μη αναμενόμενο αποτέλεσμα.
- Στον δέκτη 04280 παρατηρείται μια σχετική σταθερότητα στο $\Delta\phi$ από βήμα σε βήμα μιας και κυμαίνεται κοντά στα 0.3m σε όλες τις περιπτώσεις. Το $\Delta\phi$ είναι 4cm πιο πάνω από τα 0.3m στο βήμα ανά 1 sec, 1.6cm μεγαλύτερο στο βήμα ανά 30 sec και 2.4cm πιο χαμηλά από τα 0.3m ανά 10 sec. Επίσης στο $\Delta\lambda$ παρατηρείται σταθερότητα μεταξύ του βήματος ανά 1 και ανά 10 όπου βρίσκεται στη τιμή των 0.5m. Στο βήμα ανά 30 δευτερόλεπτα το $\Delta\lambda$ μειώνεται σημαντικά στα 0.4m. Από την άλλη, το Δh είναι σταθερό ανά βήμα 10 και 30 δευτερόλεπτα αλλά χαμηλότερο στο βήμα ανά 1 sec. Όπως φαίνεται το γεωμετρικό υψόμετρο προσδιορίστηκε καλύτερα όταν υπήρξαν περισσότερες παρατηρήσεις ενώ δεν άλλαξε κάτι ουσιαστικό από την αλλαγή βήματος από 10 σε 30 δευτερόλεπτα.
- Τέλος και για τον δέκτη 04592 φαίνεται πως το $\Delta\phi$ δεν παρουσιάζει την ίδια σταθερότητα και στα τρία βήματα όπως έγινε στις δύο άλλες διαδρομές αφού έχει χαμηλότερη τιμή στα 30 δευτερόλεπτα από ότι στο 1 και στα 10 στα οποία παραμένει

σχεδόν σταθερό. Παρόλα αυτά το Δλ φαίνεται πως ελάχιστα μεταβάλλεται ανά τα τρία βήματα δειγματοληψίας. Όσον αφορά στο γεωμετρικό υψόμετρο, αυτό εμφανίζει υψηλό υπόλοιπο και στα τρία χρονικά βήματα με το Δh των 10 και 30 δευτερολέπτων να είναι πιο κοντά στις τιμές άλλα όχι πως χαρακτηρίζεται ως σταθερό.



Διάγραμμα 5.5 Μέσοι όροι υπολοίπων Δφ, Δλ, Δh για τις τρεις διαδρομές στα τρία χρονικά βήματα

Συνοπτικά θα μπορούσε να εξαχθεί το συμπέρασμα πως το γεωδαιτικό πλάτος φ προσδιορίζεται με την ίδια ακρίβεια σε όλα τα βήματα στον δέκτη 04626 και στα βήματα 1 και 10 δευτερόλεπτα στο δέκτη 04592 αλλά όχι και τόσο μεγάλη στον 04280, μιας και παρουσιάζονται αυξομειώσεις στην τιμή του ανά τα βήματα. Από την άλλη πλευρά το γεωδαιτικό μήκος λ παραμένει σταθερό στα βήματα ανά 10 και 30 sec στους δέκτες 04626 και 04592 και από 1 στα 10 sec στον δέκτη 04280. Σχετικά με τα υπόλοιπα των γεωμετρικών υψομέτρων στον δέκτη 04280 από τα 10 στα 30 sec παρουσιάζεται υψηλή σταθερότητα ενώ δεν παρατηρείται κάτι παρόμοιο σε κάποια άλλη διαδρομή ή βήμα δειγματοληψίας.

Γενικά τις χαμηλότερες τιμές παρουσιάζει το Δφ ενώ τα Δλ και Δh παρουσιάζουν κατά την ίδια σχεδόν συχνότητα υψηλές τιμές. Άρα το φ προσδιορίζεται καλύτερα σε σχέση με τα άλλα δύο μεγέθη. Από την άλλη το γεωμετρικό υψόμετρο και για τους τρεις δέκτες παρουσιάζει τις μεγαλύτερες μεταβολές ανά τα βήματα δειγματοληψίας.

Τέλος οι τυπικές αποκλίσεις και των τριών συντεταγμένων όλων των δεκτών αυξάνονται όσο αυξάνεται το βήμα δειγματοληψίας. Το γεγονός αυτό έχει λογική εξήγηση, καθώς μειώνοντας τα ενδιάμεσα στίγματα μεταξύ των μετρήσεων, αυξάνεται η διασπορά των παρατηρήσεων άρα και η απόκλιση από τη καλύτερη τους τιμή.

(m)		Βήμα ανά 1sec						Βήμα ανά 10 sec						Βήμα ανά 30 sec					
res	std	Δφ	σΔφ	Δλ	σΔλ	Δh	σΔh	Δφ	σΔφ	Δλ	σΔλ	Δh	σΔh	Δφ	σΔφ	Δλ	σΔλ	Δh	σΔh
04626		0.394	±0.009	0.465	±0.011	0.220	±0.009	0.403	±0.037	0.557	±0.04	0.503	±0.054	0.404	±0.091	0.542	±0.113	0.354	±0.112
04280		0.340	±0.007	0.514	±0.01	0.407	±0.008	0.276	±0.024	0.505	±0.037	0.583	±0.042	0.316	±0.041	0.434	±0.048	0.564	±0.058
04592		0.394	±0.007	0.513	±0.008	0.583	±0.011	0.385	±0.034	0.537	±0.032	0.546	±0.091	0.257	±0.068	0.540	±0.172	0.501	±0.109

Πίνακας 5.3 Μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις υπολοίπων των διαδρομών ανά βήμα δειγματοληψίας

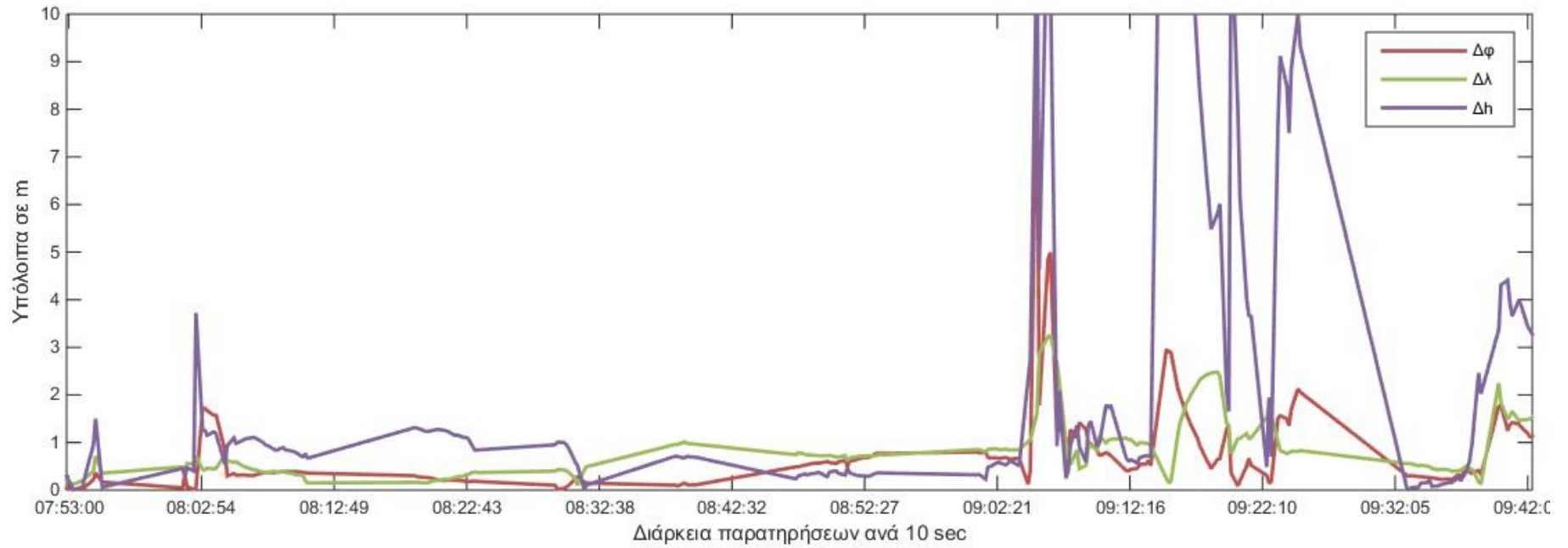
	Βήμα ανά 1sec						Βήμα ανά 10 sec						Βήμα ανά 30 sec					
	Δφ (m)		Δλ (m)		Δh (m)		Δφ (m)		Δλ (m)		Δh (m)		Δφ (m)		Δλ (m)		Δh (m)	
Δέκτης	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min
04626	8.592	0	8.155	0.001	16.56	0	9.559	0.014	3.241	0.102	22.513	0.002	6.19	0.059	5.314	0.075	15.284	0.012
04280	13.475	0	24.984	0	36.043	0	4.262	0	4.994	0.058	19.746	0	9.417	0	6.009	0.008	27.755	0.005
04592	5.996	0	6.517	0	46.455	0	14.756	0.03	5.292	0.029	32.737	0.029	17.446	0.002	9.097	0.051	48.877	0.163

Πίνακας 5.4 Μέγιστα και ελάχιστα υπόλοιπα διαδρομών ανά βήμα δειγματοληψίας

Για την ίδια σύγκριση εξαιρετικό ενδιαφέρον παρουσιάζει η διασπορά των διαφορών καθ' όλη τη διάρκεια των διαδρομών. Στα ακόλουθα διαγράμματα φαίνεται η διασπορά των υπολοίπων των ομόλογων στιγμάτων μεταξύ RTKLIB-CSRS σε κάθε διαδρομή για βήμα δειγματοληψίας 10 δευτερολέπτων, καθώς δεν ήταν δυνατή η παρουσίαση των υπολοίπων με βήμα δειγματοληψίας στιγμάτων ανά 1 δευτερόλεπτο λόγω του όγκου των δεδομένων. Επιπροσθέτως συμπεριλαμβάνονται όλες οι τιμές των υπολοίπων χωρίς το όριο του 1 m, για να γίνει μια πιο γενική ερμηνεία των δεδομένων. Επίσης για μεγαλύτερη ευκρίνεια περικόπτονται οι διαφορές άνω των 10m μιας και οι μέγιστες διαφορές δίνονται αναλυτικά στον πίνακα 5.4 για κάθε συντεταγμένη.

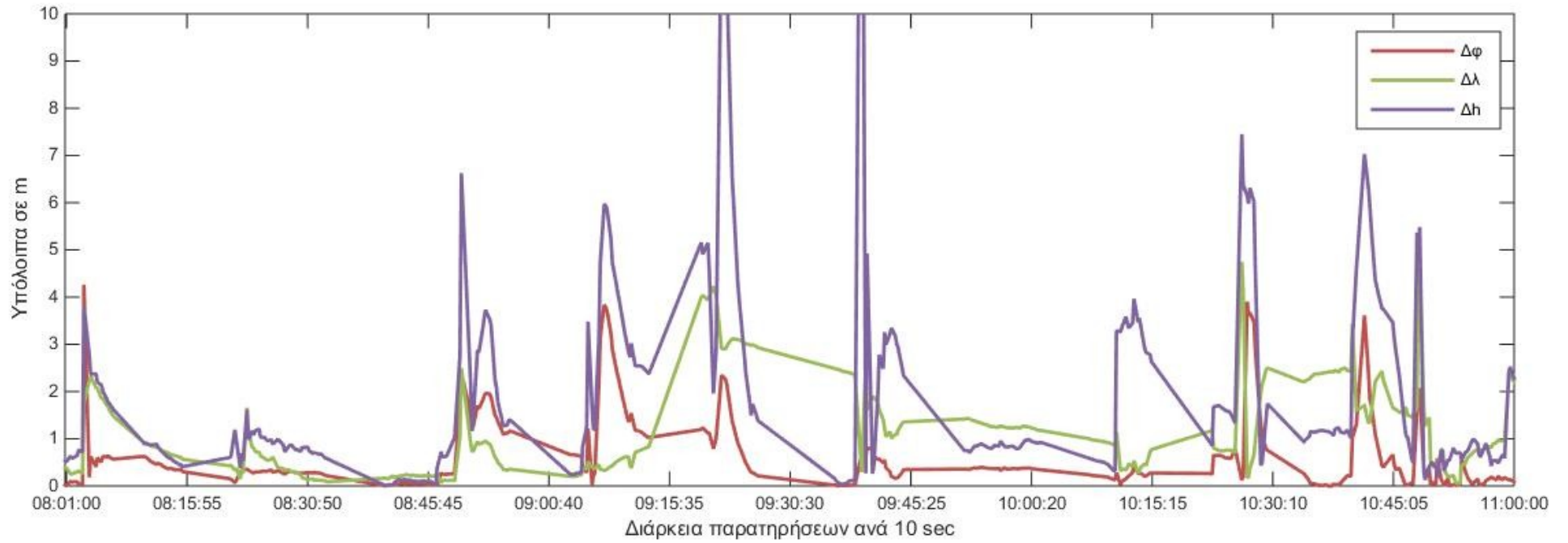
- Στο διάγραμμα 5.6 φαίνεται η διασπορά των υπολοίπων του δέκτη 04626 ανά βήμα 10 δευτερολέπτων. Όπως γίνεται αντιληπτό οι τιμές των υπολοίπων είναι μικρότερες στην αρχή της διαδρομής, που σημαίνει πως οι επιλύσεις του RTKLIB και CSRS ταυτίζονται καλύτερα στην αρχή της διαδρομής παρότι στο τέλος. Αυτό έχει να κάνει κυρίως με τις συνθήκες της διαδρομής του δέκτη 04626 οι οποίες ήταν ευνοϊκότερες προς την ορατότητα στην αρχή, παρότι στο τέλος της διαδρομής.
- Πολλάκις έχει αναφερθεί η δυσμένεια των συνθηκών που αντιμετώπισε ο δέκτης 04280 στη διαδρομή του. Για άλλη μια φορά επιβεβαιώνεται από το διάγραμμα 5.7 η ισχύουσα κατάσταση. Οι διαφορές των ομόλογων στιγμάτων από τις δύο υπηρεσίες τόσο στο Δφ όσο και στο Δλ μεταβάλλονται σημαντικά και σε πολλές περιπτώσεις ξεπερνούν κατά πολύ το 1m. Σε αυτό το σημείο παρατηρείται πως πολλά υπόλοιπα δεν ικανοποιούν το όριο του 1m με αποτέλεσμα όλο και λιγότερες παρατηρήσεις να εισέρχονται στον υπολογισμό των μέσων τιμών και τυπικών σφαλμάτων. Όσον αφορά το Δh δεν θα ήταν υπερβολή να ειπωθεί πως τη μεγαλύτερη χρονική διάρκεια κυμαίνεται πάνω από το 1m.
- Οι διαφορές των Δφ και Δλ στον δέκτη 04592 κυμαίνονται για αρκετό διάστημα σε χαμηλό επίπεδο αλλά δεν λείπουν οι εξάρσεις οι οποίες εντείνουν τις διαφορές. Μεγάλο πρόβλημα αντιμετωπίζει η διαφορά των στιγμάτων στο γεωμετρικό υψόμετρο αφού μόνο στα πρώτα λεπτά της διαδρομής είναι κάτω από το αποδεκτό 1m (διάγραμμα 5.8).

Δέκτης 04626



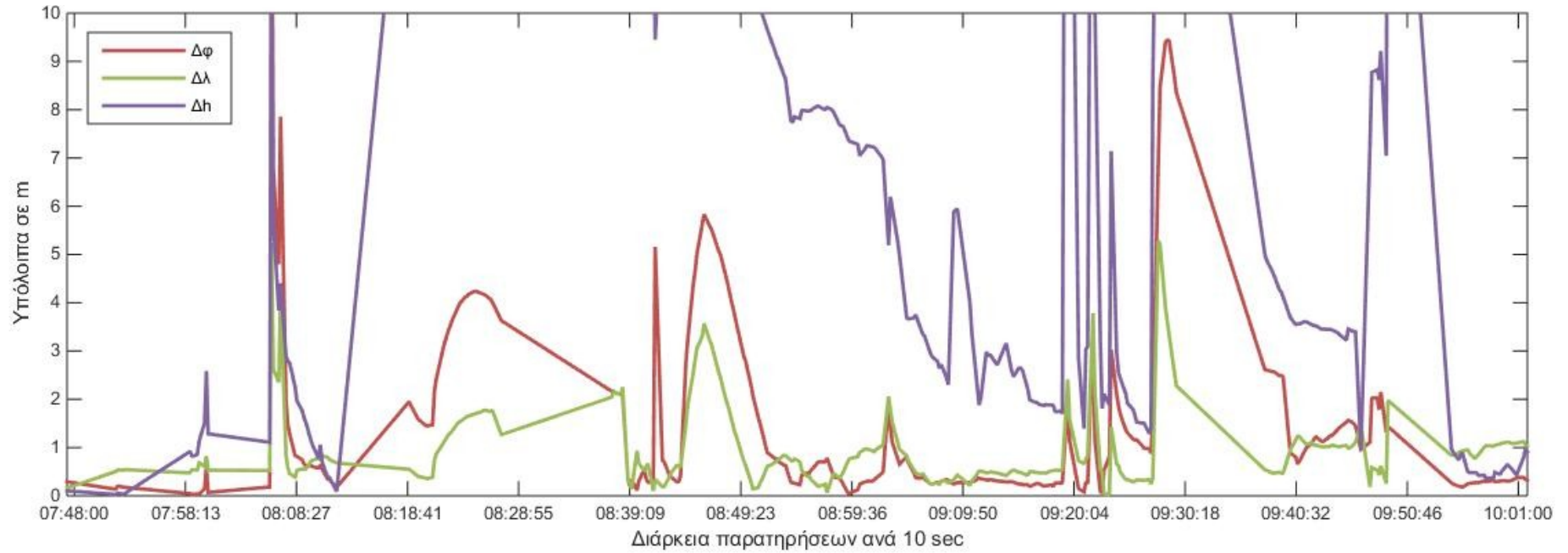
Διάγραμμα 5.6 Διακύμανση ομόλογων στιγμάτων Δφ, Δλ, Δh πορεία δέκτη 04626, με βήμα δειγματοληψίας 10sec

Δέκτης 04280



Διάγραμμα 5.7 Διακύμανση ομόλογων στιγμάτων $\Delta\phi, \Delta\lambda, \Delta h$ πορεία δέκτη 04280, με βήμα δειγματοληψίας 10sec

Δέκτης 04592



Διάγραμμα 5.8 Διακύμανση ομόλογων στιγμάτων Δφ,Δλ,Δh πορεία δέκτη 04592, με βήμα δειγματοληψίας 10sec

Εν κατακλείδι, τα παραπάνω διαγράμματα βοηθούν ώστε να εξαχθεί ένα συμπέρασμα επί του συνόλου των διαφορών και όχι μόνο αυτών των διαφορών που έχουν τιμή μικρότερη του ορίου του 1m. Όπως γίνεται αντιληπτό οι μεγαλύτερες διαφορές παρουσιάζονται στον προσδιορισμό του γεωμετρικού υψομέτρου Δh σε όλες τις διαδρομές, με αυτές να εμφανίζουν τη μεγαλύτερη ένταση στις πορείες των δύο τελευταίων δεκτών. Τα Δφ και Δλ παρουσιάζουν μικρές διαφορές στην πορεία του δέκτη 04626 για μεγάλο χρονικό διάστημα ενώ είναι αρκούντως ικανοποιητικές και για τον δέκτη 04592. Στη περίπτωση του δέκτη 04280 λόγω της δυσκολίας της πορείας τα Δφ και Δλ παρουσιάζουν έντονες σχετικά διαφορές. Επίσης και στις τρεις διαδρομές η διασπορά των υπολοίπων είναι αρκετά μεγάλη και σε καμία περίπτωση δεν συγκλίνουν στο μέσο όρο τους.

5.4 Σύγκριση μεθόδων Kinematic στο RTKLIB – CSRS-PPP

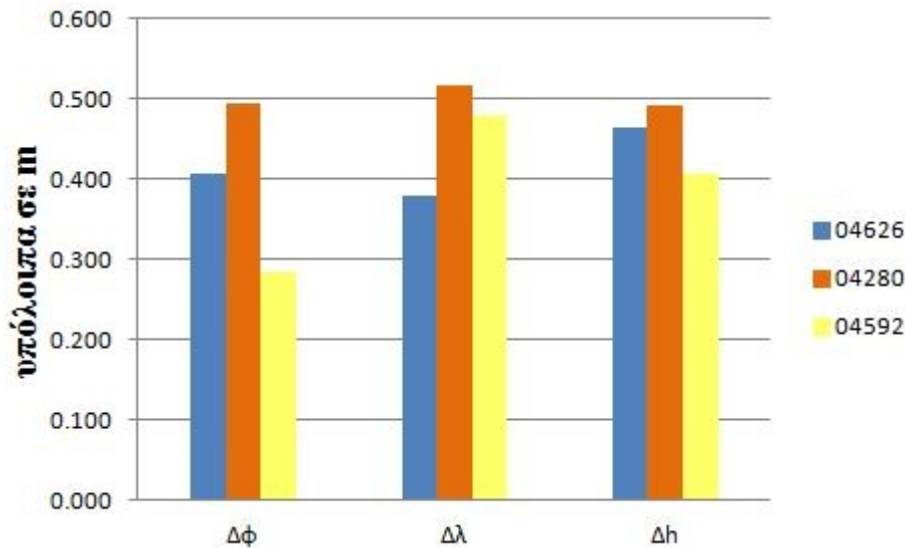
Μια ακόμη σύγκριση που τέθηκε είναι αυτή του Kinematic (εκ των υστέρων σχετικού κινηματικού εντοπισμού θέσης) από το RTKLIB και του PPP-Kinematic από την Καναδική Υπηρεσία. Για να εκτιμηθεί η ακρίβεια μεταξύ των δύο αποτυπωμένων διαδρομών εξήχθησαν οι μέσοι όροι και οι τυπικές αποκλίσεις των υπολοίπων καθώς και τα μέγιστα και ελάχιστα υπόλοιπα. Η διαδικασία αξιολόγησης των υπολοίπων καθώς και τα κριτήρια που εφαρμόστηκαν σχετικά με την τιμή υπέρβασης του 1m ήταν ίδια όπως στις προγενέστερες διαδικασίες. Τα αποτελέσματα φαίνονται στους παρακάτω πίνακες 5.5 και 5.6:

Δέκτης	Δφ (m)	σΔφ (m)	Δλ (m)	σΔλ (m)	Δh (m)	σΔh (m)
04626	0.406	±0.009	0.495	±0.012	0.285	±0.011
04280	0.378	±0.009	0.518	±0.009	0.480	±0.01
04592	0.465	±0.009	0.491	±0.009	0.408	±0.013

Πίνακας 5.5 Μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις υπολοίπων των διαδρομών

Δέκτης	Δφ (m)		Δλ (m)		Δh (m)	
	Max	Min	Max	Min	Max	Min
04626	5.214	0.001	5.474	0	19.9	0
04280	15.3	0	10.550	0	90.242	0
04592	5.156	0	8.72	0	45.335	0

Πίνακας 5.6 Μέγιστα και ελάχιστα υπόλοιπα διαδρομών



Διάγραμμα 5.9 Μέσοι όροι υπολοίπων Δφ, Δλ, Δh για τις τρεις διαδρομές

Το διάγραμμα 5.9 παρουσιάζει με σαφήνεια την ακρίβεια μεταξύ των δύο μεθόδων. Οι μέσες τιμές και στις τρεις διαδρομές είναι κάτω του 0.5m, εκτός από το Δλ στον δέκτη 04280, γεγονός που φανερώνει το πόσο συμβαδίζουν οι επιλύσεις των διαδρομών. Ο δέκτης 04280 φαίνεται ότι έχει τους μεγαλύτερους μέσους όρους στα υπόλοιπα του, που σημαίνει ότι η διαδρομή επιλυμένη με τις δύο μεθόδους από τα διαφορετικά λογισμικά συμβαδίζει λιγότερο από τις αντίστοιχες επιλύσεις των άλλων διαδρομών. Επιπροσθέτως παρατηρείται ότι το Δφ έχει μικρότερες αποκλίσεις από το Δλ και Δh, δηλαδή στις διαδρομές ταυτίζεται περισσότερο το φ από τη συντεταγμένη λ και από το γεωμετρικό υψόμετρο.

Η διασπορά των υπολοίπων και σε αυτή τη περίπτωση είναι πολύ μεγάλη και σε καμία περίπτωση δεν υπάρχει σύγκλιση των υπολοίπων στη μέση τους τιμή για Δφ, Δλ και Δh και για τους τρεις δέκτες.

5.5 Σύγκριση των σταθερών σημείων των κινηματικών διαδρομών

Σε αυτό το σημείο γίνεται η αξιολόγηση των ακριβειών των συντεταγμένων των σημείων που προσδιορίστηκαν από τον σχετικό στατικό εντοπισμό θέσης με το RTKLIB καθώς και από την CSRS-PPP με τη μέθοδο PPP-Static. Τα αποτελέσματα αξιολογούνται συγκρίνοντας τις διαφορές των αντίστοιχων γεωδαιτικών συντεταγμένων σε κάθε σημείο με το “επιτρεπτό” τυπικό σφάλμα της εκάστοτε διαφοράς που αποτελεί η ρίζα του αθροίσματος των τετραγώνων των επιμέρους

τυπικών σφαλμάτων σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Με αυτό το τρόπο αξιολογείται αν το μέτρο της διαφοράς είναι μεγαλύτερο ή μικρότερο από το μέτρο του αντίστοιχου τυπικού σφάλματος δηλαδή αν η διαφορά των συντεταγμένων “δικαιολογείται” από το εκάστοτε τυπικό σφάλμα.

Δέκτης 04626

Παρατηρώντας τον πίνακα 5.7 με τις διαφορές των συντεταγμένων των σημείων φαίνεται πως κυμαίνονται κατά μέσο όρο στα 0.192m στο φ, τα 0.545m στο λ και 0.891m στο h. Αυτό σημαίνει πως οι συντεταγμένες των σημείων είναι σχετικά κοντά μεταξύ τους στα πλαίσια της εφαρμογής που πραγματοποιήθηκε τουλάχιστον για το φ και λιγότερο για το λ. Το μικρό χρονικό διάστημα διεξαγωγής των επιμέρους στατικών μετρήσεων οδήγησε στην εξαγωγή υψηλών τυπικών σφαλμάτων ιδιαίτερα από την CSRS-PPP που πραγματοποιεί την επίλυση με PPP-Static με αποτέλεσμα όλες οι διαφορές να είναι μέσα στα πλαίσια των επιτρεπτών σφαλμάτων. Υψηλά επίπεδα διαφορών συντεταγμένων παρουσιάζονται στο σημείο Στ 94 δηλαδή σχεδόν 1m στο φ και 1.5m στο λ. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας της κακής ορατότητας του δέκτη λόγω της ύπαρξης υψηλών δέντρων στη περιοχή. Παρόλα αυτά το τυπικό σφάλμα είναι τέτοιο που η διαφορά είναι εντός του επιτρεπτού ορίου. Συμπερασματικά όλες οι διαφορές είναι αποδεκτές γεγονός που υποδεικνύει πως οι προσδιοριστέες συντεταγμένες από το RTKLIB στη συγκεκριμένη τουλάχιστον πορεία είναι συμβατές με αυτές από την CSRS-PPP.

Σημεία	Δφ (m)	σΔN (m)	Δλ (m)	σΔE (m)	Δh (m)	σΔU (m)
Δ2	0.027	±0.907	0.425	±1.614	0.097	±1.668
Στ 40	0.044	±1.534	0.495	±1.866	2.05	±4.443
ΣΕΜΦΕ	0.051	±0.613	0.740	±1.442	1.185	±1.42
Στ 94	0.988	±1.356	1.469	±2.499	0.556	±2.863
Στ 92	0.015	±1.225	1.086	±1.917	0.66	±3.4
Δ5	0.035	±0.665	0.405	±1.446	1.286	±1.895
MET	0.075	±0.749	0.11	±1.531	0.058	±2.03
ΛΙΜΕΝ	0.417	±0.597	0.145	±1.441	1.639	±1.831
Δ2	0.074	±0.830	0.031	±1.668	0.492	±4.186

Πίνακας 5.7 Διαφορές γεωδαιτικών συντεταγμένων και τυπικά σφάλματα διαφορών δέκτη 04626

Δέκτης 04280

Τα σημεία του δέκτη 04280 παρουσιάζουν το μεγαλύτερο μέσο όρο στις διαφορές των συντεταγμένων Δφ, Δλ και Δh με 0.512m, 0.551m και 1.545m αντίστοιχα (πίνακας 5.8). Πάρα ταύτα η δυσκολία στον προσδιορισμό των σημείων οδήγησε στην εξαγωγή μεγάλων τυπικών σφαλμάτων και ως επακόλουθο τα τυπικά σφάλματα δικαιολογούν τη μεγάλη διαφορά των συντεταγμένων στις περισσότερες παρατηρήσεις. Στα σημεία που παρουσιάζεται πρόβλημα είναι στο ΣΗΜΕΙΟ 2 στο γεωμετρικό υψόμετρο καθώς η διαφορά φτάνει τα 5m ενώ το τυπικό σφάλμα είναι 3m. Επίσης πρόβλημα συναντάται στο Δλ στο ΣΗΜΕΙΟ 8 καθώς η διαφορά φτάνοντας τα 0.244m είναι μεγαλύτερη από το αντίστοιχο τυπικό σφάλμα. Τέλος ασυμβατότητα διαφοράς και τυπικού σφάλματος εντοπίζεται και πάλι σε γεωμετρικό υψόμετρο στο ΣΗΜΕΙΟ 9. Η υπέρβαση του ορίου είναι μικρή αλλά ικανή ώστε να μην έχει προσδιορισθεί όπως θα έπρεπε το γεωμετρικό υψόμετρο από το RTKLIB σε σχέση με την αξιόπιστη CSRS-PPP.

Σημεία	Δφ (m)	σΔN (m)	Δλ (m)	σΔE (m)	Δh (m)	σΔU (m)
Δ2	0.090	±0.644	0.272	±1.364	0.13	±1.443
ΣΗΜΕΙΟ 1	0.416	±1.663	0.233	±2.244	0.402	±3.838
ΣΗΜΕΙΟ 2	0.285	±0.960	1.497	±1.962	5.036	±3.169
ΣΗΜΕΙΟ 3	0.14	±0.741	0.349	±1.437	0.953	±1.846
ΣΗΜΕΙΟ 4	0.015	±0.551	0.172	±1.269	0.217	±1.962
ΣΗΜΕΙΟ 5	1.917	±3.668	0.464	±4.644	2.863	±5.903
ΣΗΜΕΙΟ 6	0.026	±0.460	0.236	±1.218	0.916	±3.444
ΣΗΜΕΙΟ 7	0.018	±0.575	0.134	±1.444	0.693	±1.622
ΣΗΜΕΙΟ 8	0.090	±0.153	0.244	±0.214	0.007	±0.182
ΣΗΜΕΙΟ 9	1.383	±3.718	2.409	±5.496	3.665	±3.320
ΣΗΜΕΙΟ 10	1.021	±1.656	0.059	±2.11	2.341	±3.979
Δ2	0.745	±4.1	0.543	±3.864	1.315	±8.968

Πίνακας 5.8 Διαφορές γεωδαιτικών συντεταγμένων και τυπικά σφάλματα διαφορών δέκτη 04280

Συνοπτικά στα σημεία του δέκτη 04280 αντιμετωπίζεται μόνο το φαινόμενο της ασυμβατότητας μεταξύ των σημείων που προσδιορίστηκαν από το RTKLIB και την CSRS-PPP. Αυτό συμβαίνει

διότι τα συγκεκριμένα σημεία που επιλέχθηκαν ήταν υπό δύσκολες συνθήκες και το RTKLIB εξαρτώμενο από τους εξωγενείς παράγοντες των μετρήσεων δεν έδωσε το απαιτούμενο αποτέλεσμα. Αυτή η αρνητική πτυχή του λογισμικού αναλύεται κατά την αξιολόγηση. Άξιο επισήμανσης είναι πως σημεία με μεγάλες διαφορές όπως το Δφ στο ΣΗΜΕΙΟ 5 και ΣΗΜΕΙΟ 9 με 1.9m και 1.4m αντίστοιχα , ΣΗΜΕΙΟ 2 και ΣΗΜΕΙΟ 9 στο Δλ με 1.497m και 2.409m και ΣΗΜΕΙΟ 5, ΣΗΜΕΙΟ 10 στο Δh με 2.863m και 2.341m δεν παρουσιάζουν κάποιο πρόβλημα. Αυτό συμβαίνει επειδή τα αντίστοιχα τυπικά τους σφάλμα είναι μεγαλύτερα καθώς από τα λογισμικά με δεδομένες τις συνθήκες αναμένεται μεγαλύτερη ανεκτή διαφορά.

Δέκτης 04592

Στα σημεία του δέκτη 04592 δεν υπάρχει καμία διαφορά συντεταγμένων μεγαλύτερη από το αντίστοιχο τυπικό σφάλμα όπως συμβαίνει και στον δέκτη 04626 (πίνακας 5.9). Γενικά μεγάλες διαφορές παρουσιάζονται στο Δφ του Στ 38 με 0.905m και στη στάση ΙΑΤ με 0.883, στο Δλ του Στ 38 με 1.505m και του Δ1 με 0.971m και τέλος στο Δh της στάσης Φ, ΗΜ και ΙΑΤ με διαφορές περίπου στα 2m που όμως όλες δικαιολογούνται από τα αντίστοιχα τυπικά τους σφάλματα. Αυτά τα σημεία παρουσιάζουν αυτή τη συμπεριφορά λόγω της ύπαρξης υψηλής βλάστησης στην πορεία του δρόμου η οποία δημιουργεί θόρυβο στο σήμα. Ως συμπέρασμα εξάγεται πως ο προσδιορισμός των συντεταγμένων από το RTKLIB είναι ικανοποιητικός.

Σημεία	Δφ (m)	σΔN (m)	Δλ (m)	σΔE (m)	Δh (m)	σΔU (m)
Δ2	0.165	±1.125	0.251	±1.515	0.716	±3.360
Στ 38	0.905	±1.526	1.505	±2.140	0.642	±4.046
Φ	0.11	±1.555	0.039	±2.258	1.7	±3.028
Δ1	0.506	±1.257	0.971	±2.092	0.215	±4.333
ΗΜ	0.445	±1.206	0.482	±1.771	2.254	±4.213
ΙΑΤ	0.883	±1.180	0.757	±2.125	1.839	±3.204
E	0.277	±0.853	0.266	±1.484	0.749	±2.423
ΣΑΤΜ	0.133	±0.934	0.020	±1.766	0.674	±5.297
Δ2	0.163	±0.739	0.084	±1.661	0.715	±2.066

Πίνακας 5.9 Διαφορές γεωδαιτικών συντεταγμένων και τυπικά σφάλματα διαφορών δέκτη 04592

Σε γενικότερα πλαίσια πρέπει να επισημανθεί πως η Καναδική Υπηρεσία προσδίδει μεγάλα τυπικά σφάλματα στις συντεταγμένες λόγω της φύσης της μεθόδου, ενώ το λογισμικό RTKLIB παρουσιάζει μικρότερες τιμές. Αυτό οφείλεται και στη διαφορετική μεθοδολογία επίλυσης, αλλά στη παρούσα περίπτωση δεν εξετάζεται η μέθοδος επίλυσης αλλά η δυνατότητα βέλτιστης στατικής επίλυσης σημείων με ολιγόλεπτες παρατηρήσεις. Η CSRS-PPP σε ένα σημείο που αντιμετωπίζει προβλήματα απορρίπτοντας τις ακραίες παρατηρήσεις αποδίδει μεγάλο τυπικό σφάλμα στις συντεταγμένες. Εν αντιθέσει το λογισμικό RTKLIB συμπεριλαμβάνοντας όλες τις παρατηρήσεις εξάγει πιο ρεαλιστικές τιμές για τα τυπικά σφάλματα που όμως αν οι παρατηρήσεις δεν είναι καλές δημιουργεί μεγάλα προβλήματα στον προσδιορισμό των συντεταγμένων. Επομένως το λογισμικό RTKLIB έχει πολύ καλά αποτέλεσμα μόνον όταν είτε φιλτράρονται οι παρατηρήσεις ή είναι καλές οι παρατηρήσεις.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

6.1 Πλεονεκτήματα- Μειονεκτήματα RTKLIB

Εξετάζοντας τα παραπάνω αποτελέσματα των συγκρίσεων, μπορούν να εξαχθούν κάποια αξιόλογα συμπεράσματα για τις εκ των υστέρων δυνατότητες επεξεργασίας κινηματικών δεδομένων για το υπό ανάπτυξη ελεύθερο λογισμικό RTKLIB. Το λογισμικό τέθηκε σε σύγκριση με μια ολοκληρωμένη πλατφόρμα εξαγωγής αξιόπιστων κινηματικών δεδομένων (CSRS-PPP) μιας διεθνούς καταξιωμένης υπηρεσίας παροχής δορυφορικού εντοπισμού θέσης (Natural Resources Canada).

Καταρχάς χρίζει διευκρίνισης πως η εξαγωγή αξιόπιστων αποτελεσμάτων σε μια διαδικασία εντοπισμού θέσης εξαρτάται από ποικίλους παράγοντες εκτός από το ίδιο το λογισμικό επεξεργασίας. Αυτοί οι παράγοντες αξίζει να αναφερθούν και να διαχωριστούν πριν από αυτή καθαυτή αξιολόγηση του λογισμικού. Επομένως τα αποτελέσματα των κινηματικών και των στατικών μετρήσεων εξαρτώνται επίσης από:

- την ποιότητα και τις ακρίβειες που παρέχει ο χρησιμοποιούμενος δέκτης. Το όργανο των μετρήσεων, που στη προκειμένη περίπτωση είναι ένας δέκτης GNSS, έχει προκαθορισμένες δυνατότητες παρατηρήσεων που όσο ιδανικές και να είναι οι συνθήκες παρατήρησης ή τα λογισμικά επεξεργασίας, αυτό που θα καταφέρουν είναι να φτάσουν τις δυνατότητες του ίδιου του δέκτη.
- τις συνθήκες ορατότητας του δέκτη στον ανοικτό ορίζοντα και της γεωμετρίας των δορυφόρων κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Είναι πολύ σημαντικό οποιοδήποτε αποτέλεσμα να αξιολογηθεί σύμφωνα με τη δυσκολία που έχει τεθεί κατά τη διαδικασία παρατήρησης. Είναι γνωστό ότι η παρατηρήσεις των δεκτών GNSS επηρεάζονται άμεσα και δραματικά από τις ισχύουσες συνθήκες ορατότητας και γεωμετρίας μεταξύ δέκτη και δορυφόρων, επομένως είναι ένας παράγοντας που πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη.

- τα προϊόντα ακρίβειας τροχιών και χρονομέτρων που παρέχονται για την επίλυση των μεθόδων. Τα δεδομένα αυτά προέρχονται από διεθνείς οργανισμούς που με βάση τις αυτόνομες παρατηρήσεις από δέκτες ανά το κόσμο υπολογίζουν. Η ακρίβεια των παρεχόμενων εφημερίδων καθορίζει και την ακρίβεια του αποτελέσματος.

Οι παραπάνω εξωτερικοί παράγοντες είναι εκείνοι που επηρεάζουν σε σημαντικό βαθμό το αποτέλεσμα και πρέπει να διαφοροποιηθούν από το ίδιο το λογισμικό.

Πάρα ταύτα, αποκλειστικά το λογισμικό RTKLIB παρουσιάζει θετικά και αρνητικά χαρακτηριστικά.

Όσον αφορά στην εκτέλεση της διαδικασίας επίλυσης παρουσιάζει τα εξής πλεονεκτήματα:

- ✓ δυνατότητα επεξεργασίας δεδομένων από όλα τα διαθέσιμα GNSS συστήματα με αποτέλεσμα να αυξάνονται ποικιλοτρόπως οι μεθοδολογίες αξιοποίησης των παρατηρήσεων τους
- ✓ είναι εξαιρετικά εύχρηστο και παρατίθενται με λογική σειρά όλες οι επιλογές των παραμέτρων και των αρχείων εισαγωγής
- ✓ στο εξαγόμενο αρχείο αποτελεσμάτων περιέχονται αναλυτικά οι παράμετροι που εισήχθησαν κατά τη διαδικασία επίλυσης, καθώς και τα στίγματα μαζί με τα χαρακτηριστικά που τα διέπουν (π.χ τυπικά σφάλματα, αριθμός δορυφόρων, είδος λύσης) ανά βήμα δειγματοληψίας, γεγονός που καθιστά πλήρως κατατοπιστική την λύση
- ✓ δυνατότητα εξαγωγής των αποτελεσμάτων σε KML αρχεία για προβολή στο Google Earth και γενικότερα οπτικοποίησης λύσεων σε γραφήματα μέσω του RTKPLOT
- ✓ ποικίλες επιλογές παραμέτρων εισόδου για την διαμόρφωση του αποτελέσματος με πολλές δυνατότητες ανάλυσης δεδομένων

Από την αντίπερα όχθη υπάρχουν κάποια μειονεκτήματα όπως:

- ✗ πολύ εξειδικευμένες επιλογές παραμέτρων που απαιτούν ιδιαίτερη εξοικείωση με το λογισμικό και τη φιλοσοφία του
- ✗ πολύπλοκες διαδικασίες συλλογής δεδομένων μέσω του RTKGET και επεξεργασίας των αρχείων για διάφορες λειτουργίες στο ίδιο το λογισμικό
- ✗ τα εργαλεία οπτικοποίησης του RTKPLOT υστερούν στο γραφικό περιβάλλον αλλά και στις δυνατότητες που παρέχουν
- ✗ μη δυνατότητα εξαγωγής μονοσήμαντης λύσης όσον αφορά στις

στατικές επιλύσεις, με συνέπεια ο χρήστης να πρέπει να επεξεργαστεί περαιτέρω τα εξαγόμενα δεδομένα από το RTKPOST για να υπολογίσει ένα τελικό αποτέλεσμα

Όπως αναφέρθηκε και στην παράγραφο §2.3.3 μόλις τους τελευταίους μήνες έχουν δημιουργηθεί επικουρικά λογισμικά για το RTKLIB με σκοπό την εξάλειψη αυτών των διαδικαστικών μειονεκτημάτων.

Σχετικά με τις δυνατότητες επίλυσης των κινηματικών πορειών:

Για τη μέθοδο PPP-Kinematic στο RTKLIB:

Τα συμπεράσματα από τη σύγκριση της μεθόδου με την ορθή αποτύπωση της CSRS-PPP έδειξαν ότι:

Από τους μέσους όρους των υπολοίπων $\Delta\varphi$, $\Delta\lambda$ και Δh για τους τρεις δέκτες στα τρία βήματα δειγματοληψίας (πίνακας 6.1) φαίνεται πως:

- Το $\Delta\varphi$ κυμαίνεται περίπου στα 0.35m, δηλαδή υπόλοιπο αρκετά μικρότερο από το ορατό στο χάρτη όριο των 0.5m το οποίο έχει τεθεί, επομένως και στα τρία βήματα δειγματοληψίας γίνεται αρκετά ικανοποιητικός προσδιορισμός του γεωδαιτικού πλάτους φ από το RTKLIB στη μέθοδο PPP-Kinematic.
- Το $\Delta\lambda$ στα βήματα ανά 1 και 30 sec βρίσκεται στο όριο των 0.5m, ενώ στη περίπτωση των 10 sec το ξεπερνά. Συνεπώς επιδέχεται κάποια βελτίωση ώστε να γίνεται καλύτερος προσδιορισμός του γεωδαιτικού μήκος λ κατά τη μέθοδο PPP-Kinematic
- Τέλος το γεωμετρικό υψόμετρο h προσδιορίζεται σχετικά ικανοποιητικά μιας και ο προσδιορισμός του από το RTKLIB με τη μέθοδο PPP-Kinematic, δεν απέχει κατά μέσο όρο πάνω από τα 0.5m από την επίλυση CSRS-PPP στα βήματα ανά 1 και 30 sec.

Βήμα ανά 1 sec					
$\Delta\varphi$ (m)	$\sigma\Delta\varphi$ (m)	$\Delta\lambda$ (m)	$\sigma\Delta\lambda$ (m)	Δh (m)	$\sigma\Delta h$ (m)
0.376	± 0.008	0.497	± 0.01	0.403	± 0.009
Βήμα ανά 10 sec					
0.355	± 0.032	0.533	± 0.036	0.544	± 0.062
Βήμα ανά 30 sec					
0.326	± 0.067	0.505	± 0.111	0.473	± 0.093

Πίνακας 6.1 Μέσοι όροι υπολοίπων μεταξύ RTKLIB και CSRS με τη μέθοδο PPP-Kinematic ανά τα τρία βήματα δειγματοληψίας

Συμπερασματικά η επίλυση του RTKLIB κρίνεται αρκετά καλή στο προσδιορισμό του γεωδαιτικού πλάτους φ , επιδέχεται βελτίωσης όσον αφορά στο γεωδαιτικό μήκος λ , ενώ είναι ικανοποιητική σχετικά με το γεωμετρικό υψόμετρο h αλλά έχει περιθώρια βελτίωσης.

Για τη μέθοδο Kinematic στο RTKLIB:

Όπως διαπιστώνεται από τους μέσους όρους των υπολοίπων των $\Delta\varphi$, $\Delta\lambda$ και Δh από τους τρεις δέκτες στις πορείες που λύθηκαν με τον εκ των υστέρων σχετικό κινηματικό εντοπισμός θέσης (Kinematic) στο RTKLIB, δεν εντοπίζεται μεγάλη διαφορά σε σχέση με αυτά που ισχύουν και για τον PPP-Kinematic στο RTKLIB. Η μέθοδος Kinematic συγκρινόμενη με την ορθή πορεία της CSRS-PPP, εμφανίζει τις ίδιες αδυναμίες με την PPP-Kinematic, δηλαδή ενώ προσδιορίζεται ικανοποιητικά το γεωδαιτικό πλάτος φ , χρειάζεται να βελτιωθεί ο προσδιορισμός του γεωδαιτικού μήκους λ . Όπως φαίνεται από τον πίνακα 6.2 ο μέσος όρος των $\Delta\varphi$ των τριών δεκτών είναι στα αποδεκτά 0.4m, άρα οι κατά μέσο όρο διαφορές των ομόλογων στιγμάτων των διαδρομών της μεθόδου Kinematic και CSRS-PPP δεν εμφανίζεται μεγάλη στον χάρτη κατά γεωδαιτικό πλάτος φ . Αντίθετα το γεωδαιτικό μήκος λ βρίσκεται στο όριο των 0.5m. Τέλος αξίζει να αναφερθεί πως το γεωμετρικό υψόμετρο h προσδιορίζεται ελαφρώς καλύτερα με τη χρήση της μεθόδου Kinematic όπως φαίνεται και από τον χαμηλό μέσο όρο των Δh που ισούται με 0.391m.

$\Delta\varphi$ (m)	$\sigma\Delta\varphi$ (m)	$\Delta\lambda$ (m)	$\sigma\Delta\lambda$ (m)	Δh (m)	$\sigma\Delta h$ (m)
0.416	± 0.009	0.501	± 0.01	0.391	± 0.011

Πίνακας 6.2 Μέσοι όροι υπολοίπων μεταξύ RTKLIB με τη μέθοδο Kinematic και CSRS-PPP

Επίσης στα πλαίσια της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας διενεργήθηκε και μια περαιτέρω σύγκριση στο RTKLIB για να διαπιστωθεί κατά πόσο συμβαδίζουν οι μέθοδοι PPP-Kinematic και Kinematic. Με λίγα λόγια ζητήθηκε να διαπιστωθεί κατά πόσο η χρήση ενός σταθερού δέκτη αναφοράς (Base) βελτίωσε ή όχι την αποτύπωση μιας διαδρομής.

Όπως παρατηρείται στον πίνακα 6.3 οι μέσοι όροι των υπολοίπων των συντεταγμένων φ , λ και του γεωμετρικού υψόμετρου h είναι κάτω του 0.5m, ειδικά για το γεωδαιτικό πλάτος φ που είναι στα 0.287m και για το γεωμετρικό υψόμετρο h στα 0.383m. Αυτό σημαίνει πως επί του συνόλου

των διαδρομών δεν παρατηρείται μεγάλη διαφορά στις αντίστοιχες διαδρομές από τις δύο μεθόδους. Σχετικά με γεωδαιτικό μήκος λ αυτό κινείται σε υψηλότερα επίπεδα κοντά στα 0.5m.

$\Delta\varphi$ (m)	$\sigma\Delta\varphi$ (m)	$\Delta\lambda$ (m)	$\sigma\Delta\lambda$ (m)	Δh (m)	$\sigma\Delta h$ (m)
0.287	± 0.005	0.477	± 0.007	0.383	± 0.008

Πίνακας 6.3 Μέσοι όροι υπολοίπων μεταξύ μεθόδων PPP-Kinematic και Kinematic στο RTKLIB

Παρόλα αυτά, όπως διαπιστώθηκε στην παράγραφο §4.3.1 που έγινε η ανάλυση των διαδρομών με τη μέθοδο Kinematic τα τυπικά σφάλματα των στιγμάτων των διαδρομών μειώθηκαν με τη χρήση του σταθμού αναφοράς Base ενώ στα προβληματικά τμήματα των διαδρομών όπως διαπιστώθηκε η μέθοδος Kinematic εξομαλύνει τις εξάρσεις εκτροπής. Αυτό φαίνεται και από τον πίνακα 6.4 όπου παρουσιάζονται τα ποσοστά των προβληματικών σημείων για τις τρεις διαδρομές με τις δύο μεθόδους. Όπως περιγράφηκε στην παράγραφο §4.2.1 προβληματικά στίγματα θεωρήθηκαν εκείνα που έχουν τυπικό σφάλμα μεγαλύτερο του 0.5m είτε σε φ είτε σε λ .

Δέκτης	Ποσοστό εσφαλμένων στιγμάτων	
	PPP-Kinematic	Kinematic
04626	3.4%	2.8%
04280	6.3%	6.3%
04592	2.5%	2%

Πίνακας 6.4 Ποσοστό εσφαλμένων στιγμάτων στις δύο μεθόδους επίλυσης στο RTKLIB

Τα εσφαλμένα στίγματα μειώνονται τουλάχιστον για τους δέκτες 04626 και 04592 αλλά όχι για τον δέκτη 04280. Αυτό οφείλεται στις συνθήκες ορατότητας των διαδρομών αλλά και στη ταχύτητα κίνησης του δέκτη, όπου στη συγκεκριμένη περίπτωση δεν ήταν ευνοϊκά.

Επιπλέον με τη μέθοδο Kinematic η στάση έναρξης και λήξης των πορειών των δεκτών στο ίδιο σημείο Δ2 ταυτίζεται σε θέση, γεγονός που δεν συμβαίνει με τη μέθοδο PPP-Kinematic (παράγραφος §5.2).

Εν κατακλείδι εξάγεται ως γενικότερο συμπέρασμα πως οι διαδρομές αποτυπώνονται κατά τον ίδιο τρόπο σε γενικότερα πλαίσια τουλάχιστον σε φ και h , αλλά όπως είναι λογικό η μέθοδος Kinematic εμφανίζει πρώτον μικρότερα σε διάρκεια και τιμές μέγιστα τυπικά σφάλματα στα προβληματικά τμήματα των διαδρομών και δεύτερον προσεγγίζει περισσότερο την ορθή λύση της CSRS-PPP στα αντίστοιχα τμήματα.

Μειονεκτήματα ως προς την επίλυση RTKLIB που επηρεάζουν την ορθότητα της επίλυσης όπως αυτή περιγράφεται από την CSRS-PPP είναι τα εξής:

- × δεν υπάρχει τρόπος αξιολόγησης των σφαλμάτων των στιγμάτων ή των υπολοίπων με αποτέλεσμα στίγματα με μεγάλα σφάλματα να περιλαμβάνονται στη διαδικασία και να επηρεάζουν αρνητικά τη γενικότερη επίλυση
- × τα στίγματα είναι εξαιρετικά ευάλωτα στους εξωγενείς παράγοντες επιρροής όπως αναφέρθηκαν παραπάνω. Το μειονέκτημα αυτό εντείνεται στη λύση PPP-Kinematic όπου ο δέκτης στηρίζεται μόνο στις δικές του παρατηρήσεις
- × κακή μοντελοποίηση των σφαλμάτων GNSS (clock, atmospheric delays, earth tides) που οδηγούν σε διαφορές στα αποτελέσματα από την CSRS
- × δεν δίνεται η δυνατότητα επίλυσης των σφαλμάτων μεταξύ των κωδίκων L1-L2 και P1-C2 DCB, εκτός των P1-C1 για τα οποία δίνεται η δυνατότητα διόρθωσης τους [Κασελίμη Μ. 2017]

Συνοψίζοντας μια ικανοποιητική κινηματική λύση προκύπτει από την γενικότερα ορθή προσέγγιση της διαδικασίας των μετρήσεων με όσο των δυνατόν καλύτερες συνθήκες, κατοχής των ακριβέστερων δορυφορικών προϊόντων και σωστή επιλογή των παραμέτρων. Το λογισμικό RTKLIB έχει σημαντικές δυνατότητες που οφείλει η επιστημονική κοινότητα να εκμεταλλευτεί αλλά χρίζει ορισμένων βελτιώσεων στα αδύναμα σημεία που σημειώθηκαν παραπάνω.

Σχετικά με τα στατικά σημεία, οι μέσοι όροι των διαφορών $\Delta\phi$, $\Delta\lambda$ και Δh μεταξύ του σχετικού στατικού εντοπισμού (Static) που πραγματοποιήθηκε στο RTKLIB και του PPP-Static στην CSRS, φαίνονται στον πίνακα 6.5. Επίσης παρουσιάζονται οι μέσοι όροι των τυπικών σφαλμάτων της κάθε συντεταγμένης για τα στατικά σημεία κάθε δέκτη.

Δέκτης	$\Delta\phi$ (m)	$\sigma\Delta N$ (m)	$\Delta\lambda$ (m)	$\sigma\Delta E$ (m)	Δh (m)	$\sigma\Delta U$ (m)
04626	0.192	± 0.942	0.545	± 1.714	0.891	± 2.637
04280	0.512	± 1.574	0.551	± 2.272	1.545	± 3.306
04592	0.398	± 1.153	0.486	± 1.868	1.056	± 3.552

Πίνακας 6.5 Μέσοι όροι $\Delta\phi$, $\Delta\lambda$ και Δh στατικών σημείων μεταξύ μεθόδου Static στο RTKLIB και PPP-Static στη CSRS-PPP

Όπως γίνεται φανερό οι μέσοι όροι των $\Delta\phi$ και $\Delta\lambda$ κυμαίνονται χαμηλότερα ή κοντά στο 0.5m και στις τρεις διαδρομές για το ϕ και κοντά στο 0.5m ή υψηλότερα για το λ , γεγονός που αποδεικνύει πως για τα τόσο μικρά χρονικά διαστήματα μετρήσεων προσδιορίστηκε ικανοποιητικά το ϕ αλλά λίγο χειρότερα το λ με το λογισμικό RTKLIB, αν θεωρηθεί πάντα η ορθή λύση, αυτή της υπηρεσίας CSRS-PPP. Στο γεωμετρικό υψόμετρο όπως είναι αναμενόμενο οι διαφορές είναι μεγαλύτερες φτάνοντας στη καλύτερη περίπτωση λίγο χαμηλότερα από το 1m (δέκτης 04626) ή στη χειρότερη ξεπερνώντας το κατά 0.5m (δέκτης 04280). Ακόμη οι τιμές των μέσων όρων όλων των υπολοίπων είναι χαμηλότερες από τις τιμές των μέσων όρων των αντίστοιχων τυπικών σφαλμάτων τους, επομένως οι διαφορές αυτές είναι αποδεκτές για τα δεδομένα της εφαρμογής που εξετάζονται.

Σε αυτή τη διπλωματική εργασία δεν εξετάζονται οι δυνατότητες στατικής επίλυσης του RTKLIB, αλλά δοκιμάζεται πειραματικά αν θα μπορούσαν να αναγνωριστούν σε μια εκ των υστέρων επεξεργασία κινηματικών αρχείων κάποια ολιγόλεπτα στατικά σημεία, ώστε στο μέλλον να είναι δυνατόν να πραγματοποιείται η μέθοδος stop and go Kinematic ταχύτερα από ότι γίνεται σήμερα η Real Time Kinematic μέθοδος, χωρίς την χρήση δέκτη που στέλνει διορθώσεις, ραδιοζεύξη, η χειριστήριο στον στείλει του κινούμενου δέκτη. Γι αυτό στη παρούσα εργασία δίνεται μεγαλύτερη έμφαση στη διαδικασία εύρεσης αυτών των στατικών σημείων μέσα στις κινηματικές διαδρομές και λιγότερο στην ακρίβεια θέσης τους, μιας και είναι δεδομένο πως θα είναι μειωμένη γι

αυτού του είδους την επίλυση στις συγκεκριμένες συνθήκες του πειράματος, χωρίς online διορθώσεις όπως γίνεται σε αντίστοιχες εφαρμογές RTK.

6.2 Προτάσεις

Λαμβάνοντας υπόψιν τα αποτελέσματα της εργασίας, μπορούν να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα ώστε να αξιοποιηθούν πρακτικά οι δυνατότητες του λογισμικού και των δεκτών GNSS σε διάφορες καινοτόμες εφαρμογές. Όπως έγινε φανερό, εφαρμόζοντας πειράματα με την αποκλειστική χρήση ενός δέκτη ανά χείρας, έγινε εφικτή η καταγραφή μιας κινηματικής πορείας με ακρίβειες της τάξης των 0.5m και για μεγάλα βήματα δειγματοληψίας. Αυτό είναι πολύ σημαντικό αφού για μικρότερο όγκο δεδομένων μπορούν να προσδιοριστούν ικανοποιητικά αποτελέσματα. Επίσης εντοπίστηκαν σχετικά επαρκώς οι θέσεις στατικών σημείων μέσα σε μικρά χρονικά διαστήματα της τάξης των 5 λεπτών. Αυτό οφείλεται προφανώς στις δυνατότητες του δέκτη μιας και αξιοποιούνται παρατηρήσεις από τους δορυφόρους όλων των υπό λειτουργία δορυφορικών συστημάτων (GPS, GLONASS, GALILEO, SBAS, BEIDOU) ενώ επίσης το λογισμικό έχει τη δυνατότητα επεξεργασίας αυτών των αρχείων δεχόμενο ως παραμέτρους ακριβέστατα δορυφορικά προϊόντα.

Αυτές οι δυνατότητες των συστημάτων μπορούν να αξιοποιηθούν σε πρωτοποριακές υπηρεσίες οι οποίες πραγματεύονται τον προσδιορισμό θέσης και πορείας στον αστικό χώρο ατόμων με αναπηρία. Αυτές οι εφαρμογές αποτελούν την νέα πρόκληση στην επιστημονική κοινότητα που ασχολούνται με το αντικείμενο, μιας και δεν έχει αναπτυχθεί κάτι τόσο εξειδικευμένο και στοχευμένο που απασχολεί μια ευαίσθητη κοινωνική ομάδα. Τέτοιες προσοδοφόρες κάθε άλλο εφαρμογές, θα βοηθήσουν κατά κύριο λόγο άτομα με αδυναμία κυρίως στην όραση να προσανατολίζονται στον χώρο. Η κεντρική ιδέα μιας τέτοιας εφαρμογής είναι πως κάθε άτομο θα μπορεί να φέρει έναν δέκτη GNSS μέσω του κινητού του τηλεφώνου ή του μπαστουιού για ανθρώπους με προβλήματα όρασης, ο οποίος θα δύναται να καθοδηγεί το άτομο ΑμΕΑ μέσα στο πολύπλοκο αστικό περιβάλλον όπου κυριαρχούν τεχνικά εμπόδια όχι μόνο αναγνωρίζοντας τα για να τα αποφύγει αλλά υπολογίζοντας και τη βέλτιστη δυνατή και ασφαλή διαδρομή, γνωρίζοντας τη θέση του ατόμου και την δομή του αστικού πεδίου που βρίσκεται, ανά πάσα χρονική στιγμή για την κίνηση του ατόμου μέσα

στη πόλη ανεξάρτητα και με ασφάλεια. Προφανώς χρειάζεται ειδική προεργασία και προσδιορισμό ακριβών θέσεων τόσο για την αποτύπωση του περιβάλλοντος όσο και για τις ακρίβειες που μπορεί να προσδιορισθεί η θέση ενός ατόμου μέσα σε μια πόλη με υψηλά κτήρια.

Η παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιώντας απλές τεχνικές με εξειδικευμένα και τελευταίας τεχνολογίας εργαλεία (δέκτες JAVAD με πολύ καλές προδιαγραφές – λογισμικό RTKLIB με πληθώρα εφαρμογών και παραμέτρων εισαγωγής) έδωσε μια εκτίμηση των ακριβειών που εξάγονται από μια τέτοιου είδους εφαρμογή σε δεδομένες συνθήκες. Συγκεφαλαιώνοντας όσον αφορά τα σημεία που χρειάζονται προσοχή σε μια ανάλογη πειραματική εφαρμογή είναι:

- Οι συνθήκες ορατότητας του δέκτη και γεωμετρίας των δορυφόρων κατά τη διάρκεια των παρατηρήσεων. Είναι οι συνθήκες βαρόμετρο για την εξαγωγή αποτελεσμάτων με ακρίβεια. Ο πρώτος παράγων μπορεί να ρυθμιστεί ανάλογα με το πεδίο του πειράματος (ύπαρξη κτηρίων ή δέντρων), αλλά ο δεύτερος όχι παρόλο που σιγά σιγά αρχίζει να εξαλείφεται μιας και οι παρατηρούμενοι πλέον δορυφόροι αυξάνονται ραγδαία με την ανάπτυξη πολλών συστημάτων GNSS από διάφορα κράτη ή φορείς.
- Η ταχύτητα κίνησης του δέκτη κατά την κινηματική πορεία. Όσο χαμηλότερη είναι η ταχύτητα τόσο καλύτερα ο δέκτης μπορεί να προσδιορίσει τη θέση των στιγμάτων που λαμβάνει.
- Η μέθοδος επίλυσης που χρησιμοποιείται. Όταν υπάρχει διαθέσιμος σταθμός αναφοράς τότε μπορεί να επιλυθεί σχετικός κινηματικός εντοπισμός θέσης που είναι ακριβέστερος από τον υψηλής ακρίβειας κινηματικό για τους λόγους που αναπτύχθηκαν προγενέστερα.
- Ο χρόνος παραμονής σχετικά με τα στατικά σημεία. Φυσικά όσο περισσότερο χρόνο παραμένει ο δέκτης σε ένα σημείο τόσο καλύτερα θα το προσδιορίσει.
- Η ακρίβεια των δορυφορικών προϊόντων μιας και είναι τα άμεσα χρησιμοποιούμενα δεδομένα για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων.

Αναφορικά για την διαδικασία επίλυσης στο RTKLIB καλό θα ήταν:

- να “φιλτράρονται” τα υπόλοιπα των παρατηρήσεων θέτοντας ένα όριο το οποίο θα επιλέγεται ανάλογα με την εφαρμογή και τη ζητούμενη ακρίβεια. Αυτό πρέπει να συμβαίνει προκειμένου να αποφεύγονται ανυπόστατοι μέσοι όροι συντεταγμένων σημείων

και δυσανάλογα τυπικά σφάλματα. Αυτός ο περιορισμός λήφθηκε σοβαρά υπόψη στην παρούσα διπλωματική εργασία στην εύρεση των υπολοίπων των ομολογών σημείων στις κινηματικές πορείες ώστε να μην λαμβάνονται υπόψη λανθασμένα στίγματα που θα αλλοίωναν τα αποτελέσματα. Λόγω των ελάχιστης διάρκειας στατικών παρατηρήσεων κάθε στίγμα ήταν πραγματικά πολύτιμο για την εξαγωγή των συντεταγμένων και του τυπικού σφάλματος γι αυτό δεν συμπεριλήφθηκε στην συγκεκριμένη περίπτωση.

- να επιλύονται τα αρχεία των παρατηρήσεων με ποικίλους ορθολογικούς τρόπους επιλογής παραμέτρων στο RTKLIB όπως η επιλογή διαφορετικής μάσκας αποκοπής, φορά εφαρμογής φίλτρου Kalman στην επίλυση (forward-backward-combined), επίλυση ασαφειών φάσης (π.χ fix and hold, continuous κτλ) κ.α διότι μπορεί να βρεθεί η βέλτιστη λύση μέσω αυτών των πειραματισμών που κρύβουν μια πιο ρεαλιστική προσέγγιση στην επίλυση των παρατηρήσεων δίνοντας καλύτερα αποτελέσματα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική Βιβλιογραφία

1. Αγατζά-Μπαλοδήμου Α.Μ., «Θεωρία Σφαλμάτων και Συνορθώσεις Ι», Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα 1999.
2. Αγραφιώτης Π., Καζαμιάς Π., Καρολεμέας Χ., Καρτέρης Σ., Κοτρώτση Ε., Λαγού Χ., Στεφανόπουλος Σ., Τρουλλινού Α., Χάρχαρος Χ., «Διαδικτυακές υπηρεσίες εφαρμογής της τεχνικής PPP με την ενσωμάτωση και παρατηρήσεων GLONASS», Γεωδαισίας Δείγματα & Παραδείγματα, Τεύχος 11, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα 2013.
3. Αλεβιζάκου Ε., «Προσδιορισμός της Αποχής του Γεωειδούς N σε Αστική Περιοχή», Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα 2010, Διπλωματική Εργασία.
4. Δεληκαράογλου Δ., «Ειδικά Θέματα Δορυφορικής Γεωδαισίας», Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα 2005.
5. Δεληκαράογλου Δ. - Κατσιγιάννης Γ., «Διευρύνοντας τις Δυνατότητες των Συστημάτων του GNSS του Αύριο ... Σήμερα», Ημερίδα “Δορυφορική Γεωδαισία – Σύγχρονα Συστήματα και Εφαρμογές”, Τμήμα Τοπογραφίας ΤΕΙ Αθήνας, 2010.
6. Δεληκαράογλου Δ. - Κατσιγιάννης Γ., «Προοπτικές των Επερχόμενων Συστημάτων GNSS για Εφαρμογές Κινηματικού Εντοπισμού στον Ελλαδικό Χώρο», Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα 2013.
7. Δεληκαράογλου Δ. «Φυσική Γεωδαισία, Θεωρητικές και Τεχνολογικές Βάσεις», Αθήνα, 2010.
8. Δημοπούλου Μ., «Συγκριτική Μελέτη Online Υπηρεσιών Μετεπεξεργασίας Δεδομένων GPS», Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα 2008, Διπλωματική Εργασία.
9. Ζησόπουλος Α.-Παραδείσης Δ., «Διαφορικός Εντοπισμός DGPS», Κέντρο Δορυφόρων Διονύσου, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα 2006.
10. Λάμπρου Ε.-Πανταζής Γ., «Εφαρμοσμένη Γεωδαισία», Εκδόσεις Ζήτη, Αθήνα 2010.
11. Λιώλης Δ., «Προσαρμογές των ρυθμιστικών παραμέτρων εισόδου και αυτοματισμοί στο περιβάλλον εργασίας ελεύθερου λογισμικού GNSS», Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα 2017, Διπλωματική εργασία.
12. Λιώλης Δ., «Συνοπτική Παρουσίαση-Ανάλυση Λογισμικών Επεξεργασίας Δεδομένων Δεκτών GNSS», Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα 2017, Θέμα Εξαμήνου.
13. Κασελίμη Μ., «Αξιολόγηση και ανάπτυξη υψηλής απόδοσης

- τεχνικών ανάλυσης δεδομένων GNSS με λογισμικό ανοιχτού κώδικα», Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα 2017, Μεταπτυχιακή Εργασία.
14. Μήλας Π. «Ανώτερη Γεωδαισία Γεωδαιτικές Εφαρμογές», Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Δεκέμβριος 2009.
 15. Νικολάου Θ., «Παρακολούθηση Μετακινήσεων στον Ηλεκτροπαραγωγό Σταθμό Βασιλικού στην Κύπρο», Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα 2016, Διπλωματική Εργασία.
 16. Παραδείσης Δ., «Σημειώσεις Δορυφορικής Γεωδαισίας», Κέντρο Δορυφόρων Διονύσου, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα 2000.
 17. Φωτίου Α. - Πικρίδας Χ., «GPS και Γεωδαιτικές Εφαρμογές», Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, 2012.
 18. Ψύχας Δ., «Διερεύνηση και Ανάλυση Τεχνικών Βελτίωσης της Ακρίβειας της Μεθόδου Εντοπισμού PPP με τη χρήση Πολλαπλών Συστημάτων GNSS», Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα 2015, Διπλωματική Εργασία.

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

1. Billings S., «Javad GNSS Triumph-1», The American Surveyor, 2009
2. Wells D., Beck N., Delikaraoglou D., Kleusberg A., Krakiwsky E., Lachapelle G., Langley R., Nakiboglu M., Schwarz K., Tranquilla J., Vanicek P., «Guide to GPS Positioning», UNB, 2009.
3. Delikaraoglou D. - Psychas D., «Precise Point Positioning in a New Era», T.A.T.M., Πολυτεχνική Σχολή, Α.Π.Θ.
4. Estey L. and Wier S., «Basics of Teqc Use and Teqc Products», UNAVCO, Colorado 2014.
5. Takasu T., «RTKLIB ver. 2.4.2 Manual», 2013.
6. Takasu T. and Yasuda A., «Development of the low-cost RTK-GPS receiver with an open source program package RTKLIB», Laboratory of Satellite Navigation, Tokyo University of Marine Science and Technology, Tokyo 2005.
7. Torge W., «Γεωδαισία», Πανεπιστημιακές Εκδόσεις ΕΜΠ, Δεύτερη Έκδοση, 2000.

ΙΣΤΟΓΡΑΦΙΑ

1. Canadian Spatial Reference System – Precise Point Positioning, CSRS-PPP.
Διαθέσιμο: <http://www.nrcan.gc.ca/earth-sciences/geomatics/geodetic-reference-systems/9052>
2. International GNSS Services
Διαθέσιμο: <http://www.igs.org>
3. Navipedia, «Precise Point Positioning»,
http://www.navipedia.net/index.php/Precise_Point_Positioning
4. <http://www.brighthouse.com/electronics/gps/articles/73603.aspx>
5. <http://map.ntua.gr>
6. <https://www.javad.com/jgnss/products/receivers/triumph-1m.html>
7. <http://www.landmark.com.gr/product-detail/javad-triumph-1/>
8. https://www.123rf.com/photo_26369130_stock-photo.html
9. <https://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/index.xhtml?manu=Javad>
10. <http://www.igs.org/network>
11. wikipedia.org

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

ΒΑΣΙΚΟΙ ΚΩΔΙΚΕΣ MATLAB

Σε αυτό το σημείο παρατίθενται οι δύο βασικοί κώδικες επεξεργασίας για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων.

1. Κώδικας κινηματικών παρατηρήσεων για εύρεση της μέσης τιμής και του αντίστοιχου τυπικού σφάλματος της με έλεγχο υπολοίπων. Ακόμη εξάγεται η μέγιστη και ελάχιστη τιμή των υπολοίπων.

```
ppp_lat=coord_PPP(:,1);
ppp_lon=coord_PPP(:,2);
ppp_h=coord_PPP(:,3);

kin_lat=coord_KIN(:,1);
kin_lon=coord_KIN(:,2);
kin_h=coord_KIN(:,3);

Res_f_deg=abs(ppp_lat-kin_lat);
Res_l_deg=abs(ppp_lon-kin_lon);
Res_h=abs(ppp_h-kin_h);

[n,m]=size(Res_f_deg);
p=1;
i=1;
for p=1:n;
km_Resf(i)=deg2km(Res_f_deg(i));
km_Resl(i)=deg2km(Res_l_deg(i));
i=i+1;
end

Res_f=km_Resf.*1000;
Res_l=km_Resl.*1000;

Maxf=max(Res_f);
Maxl=max(Res_l);
Maxh=max(Res_h);

Minf=min(Res_f);
Minl=min(Res_l);
Minh=min(Res_h);
```

```

Resf=Res_f;
Resl=Res_l';

l=1;
p=1;
o=1;
for i=1:1:n;
for j=1:1;
if abs(Resf(i,j))< 1 ;% Τα υπόλοιπα πάνω από 1m τα πετάει
Res_f_tel(l)=Resf(i);
l=l+1;
end
end
end

```

```

for i=1:1:n;
for j=1:1;
if abs(Resl(i,j))< 1;
Res_l_tel(p)=Resl(i);
p=p+1;
end
end
end

```

```

for i=1:1:n;
for j=1:1;
if abs(Res_h(i,j))<1;
Res_h_tel(o)=Res_h(i);
o=o+1;
end
end
end

```

```

[mx,nf]=size(Res_f_tel);
[my,nl]=size(Res_l_tel);
[mz,nh]=size(Res_h_tel);

```

```

mean_Resf=mean(Res_f_tel);
mean_Resl=mean(Res_l_tel);
mean_Resh=mean(Res_h_tel);

```

```
sf=sqrt(sum((Res_f_tel-mean_Resf).^2)/(nf*(nf-1)));
sl=sqrt(sum((Res_l_tel-mean_Resl).^2)/(nl*(nl-1)));
sh=sqrt(sum((Res_h_tel-mean_Resh).^2)/(nh*(nh-1)));
```

```
sf_95=sf*1.96;
sl_95=sl*1.96;
sh_95=sh*1.96;
```

```
Mean=[mean_Resf,mean_Resl,mean_Resh];
Std=[sf_95,sl_95,sh_95];
Max=[Maxf,Maxl,Maxh];
Min=[Minf,Minl,Minh];
```

2. Εύρεση μέση τιμής ϕ, λ, h για τα στατικά σημεία καθώς και των αντίστοιχων τυπικών αποκλίσεων τους με τη χρήση βαρών. Τα τυπικά σφάλματα εξάγονται με επίπεδο εμπιστοσύνης 95% σε ένα τοπικό προβολικό σύστημα αναφοράς.

```
lat_deg=coord(:,1);
lon_deg=coord(:,2);
ellip_h=coord(:,3);

sdn=baros(:,1);
sde=baros(:,2);
sdu=baros(:,3);

Psdn=(1./sdn).^2;
Psde=(1./sde).^2;
Psdu=(1./sdu).^2;

mean_lat_deg=sum(Psdn.*lat_deg)/sum(Psdn);
mean_lon_deg=sum(Psde.*lon_deg)/sum(Psde);
mean_h=sum(Psdu.*ellip_h)/sum(Psdu);
[n,m]=size(coord);

Res_lat_deg=lat_deg-mean_lat_deg;
Res_lon_deg=lon_deg-mean_lon_deg;
Res_h=ellip_h-mean_h;

sf_deg=sqrt((sum(Psdn.*(Res_lat_deg).^2))/(n*(n-1)));
sl_deg=sqrt((sum(Psde.*(Res_lon_deg).^2))/(n*(n-1)));
sh=sqrt((sum(Psdu.*(Res_h).^2))/(n*(n-1)));

km_sf=deg2km(sf_deg);
km_sl=deg2km(sl_deg);

sf_m=km_sf*1000;
sl_m=km_sl*1000;

sf_m95=sf_m*1.96;
sl_m95=sl_m*1.96;
sh95=sh*1.96;

sfalmata_m=[sf_m95,sl_m95,sh95];
```

```

lat=mean_lat_deg;
lon=mean_lon_deg;

Vx=diag(sfalmata_m.^2,0);
R(1,1)=-sin(lon);
R(1,2)=cos(lon);
R(1,3)=0;
R(2,1)=-cos(lon)*sin(lat);
R(2,2)=-sin(lat)*cos(lon);
R(2,3)=cos(lat);
R(3,1)=cos(lat)*cos(lon);
R(3,2)=cos(lat)*sin(lon);
R(3,3)=sin(lat);

Vtel=R'*Vx*R;
sfalmata_NEU=(sqrt(diag(Vtel,0)))';

sN=sfalmata_NEU(:,1);
sE=sfalmata_NEU(:,2);
sU=sfalmata_NEU(:,3);

Mean_flh=[mean_lat_deg,sN,mean_lon_deg,sE,mean_h,sU];
Mean_flh_metatropi=[mean_lat_deg,mean_lon_deg,mean_h];

```


ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2 ΘΕΣΕΙΣ ΣΤΑΤΙΚΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ

Όλα τα στατικά σημεία βρίσκονται εντός της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου και παρατίθενται με τη σειρά όπως πραγματοποιήθηκαν οι στάσεις σε κάθε διαδρομή

Στατικά σημεία Δέκτη 04626



Σημείο Δ2 εκκίνησης-τερματισμού όλων των διαδρομών στο πάρκινγκ του κτηρίου Λαμπαδάριο



Σημείο Στ 40 έμπροσθεν της Φοιτητικής Εστίας



Σημείο ΣΕΜΦΕ στη διασταύρωση του δρόμου λίγα μέτρα από το νέο κτήριο της ΣΕΜΦΕ



Σημείο Στ 94 στο δρόμο προς το πίσω πάρκινγκ του κτηρίου Πολιτικών Μηχανικών



Σημείο Στ 92 στην ίδια ευθεία με το σημείο Στ 94 απέναντι από το πίσω πάρκινγκ του κτηρίου των Πολιτικών Μηχανικών



Σημείο Δ5 στη συνέχεια του δρόμου όπου βρίσκονται επίσης τα σημεία Στ94 και Στ 92



Σημείο MET στη διασταύρωση του περιμετρικού δρόμου της Πολυτεχνειούπολης και του δρόμου που οδηγεί στο Θωμαΐδειο κτήριο, κοντά στη πύλη Κοκκινοπούλου. Έναντι του μετεωρολογικού σταθμού



Σημείο ΛΙΜΕΝ ακριβώς μπροστά από το εργαστήριο Λιμενικών έργων

Στατικά σημεία δέκτη 04280



ΣΗΜΕΙΟ 1 στάση Ηλεκτρολόγων Μεταλλειολόγων λεωφορείου 242



ΣΗΜΕΙΟ 2 δίπλα στη στάση Ιατρείο του λεωφορείου 242



ΣΗΜΕΙΟ 3 στη διασταύρωση του περιμετρικού της Πολυτεχνειούπολης και του δρόμου που οδηγεί στο κτήριο Ναυπηγών Μηχανικών



ΣΗΜΕΙΟ 4 στη νησίδα δίπλα στην πύλη Κατεχάκη



ΣΗΜΕΙΟ 5 ακριβώς πίσω από το κτήριο των Ηλεκτρολόγων Μηχανικών



ΣΗΜΕΙΟ 6 στην αρχή του πεζοδρόμου από την κεντρική πλατεία προς
στο κτήριο των Ηλεκτρολόγων Μηχανικών



ΣΗΜΕΙΟ 7 στο τέλος του ίδιου πεζοδρόμου με το ΣΗΜΕΙΟ 6



ΣΗΜΕΙΟ 8 δίπλα στο σημείο MET της διαδρομής του δέκτη 04626



ΣΗΜΕΙΟ 9 μπροστά από το κτήριο Διοίκησης



ΣΗΜΕΙΟ 10 δίπλα στο σημείο ΣΕΜΦΕ του δέκτη 04626

Στατικά σημεία δέκτη 04592



Σημείο Στ 38 έναντι σημείου Δ2



Σημείο Φ στάση Φοιτητική Εστία λεωφορείου 242



Σημείο Δ1 έναντι Φοιτητικής Εστίας



Σημείο ΗΜ στάση Ηλεκτρολόγων Μεταλλειολόγων λεωφορείου 242



Σημείο IAT στάση Ιατρείο λεωφορείου 242



Σημείο Ε μπροστά από τον ιερό ναό Τριών Ιεραρχών



Σημείο ΣΑΤΜ στη στάση Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών
λεωφορείου 242