



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΝΙΚΗΣ ΓΕΩΔΑΙΣΙΑΣ

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΠΙΔΟΣΕΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ GNSS ΧΑΜΗΛΟΥ
ΚΟΣΤΟΥΣ ΣΕ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΧΕΤΙΚΟΥ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΟΥ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Λασπιάς Κώστας

Επιβλέπων: Γκίκας Βασίλειος, Καθηγητής, ΕΜΠ

Αθήνα 2019



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS

**SCHOOL OF CIVIL AND SURVEYING ENGINEERING DEPARTMENT OF
TOPOGRAPHY**

LABORATORY OF GENERAL GEODESY

**PROBE OF PERFORMANCE LOW COST GNSS RECEIVERS
WITH RTK POSITIONING SYSTEM IN DIFFERENT SITUATIONS**

DIPLOMA THESIS

Laspas Kostas

Supervisor: Gikas Vasileios, Professor, NTUA

ATHENS 2019

Περίληψη

Το αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη και η εξαγωγή αποτελεσμάτων όσον αφορά τις δυνατότητες συστημάτων γεωδαιτικού εντοπισμού GNSS χαμηλού κόστους προκειμένου να αξιολογηθούν σε διάφορες συνθήκες και τροχιές. Για τον λόγο αυτό γίναν τροχιές αυτοκινήτου και πεζού προκειμένου να μελετηθούν τα παραπάνω. Χρησιμοποιήθηκαν οι δέκτες χαμηλού κόστους της ublox M8T και C94-M8P, και τα GNSS/INS αδρανειακά συστήματα SPAN και SPATIAL της NovAtel και της Advanced Navigation αντίστοιχα. Το σύστημα SPAN είναι υψηλής ακρίβειας καθώς περιέχει αδρανειακά και γεωδαιτικού τύπου κεραίες με αποτέλεσμα να χρησιμοποιηθεί ως τροχια αναφοράς προκειμένου να ελεγχθεί η ορθότητα των δεκτών της ublox. Με τους παραπάνω δέκτες υπολογίστηκαν τροχιές αυτοκινήτου. Οι μετρήσεις έγιναν με την μέθοδο του απόλυτου εντοπισμού για τον δέκτη M8T σε πραγματικό χρόνο (SPP) και με post process διαδικασία. Οι παρατηρησείς αυτές (ψευδοαποστάσεις) αναλύθηκαν παραπάνω με το λογισμικό RTKLIB και επίσης υπήρξε και στη συνέχεια υπήρξε και η RTK λύση του δέκτη C94-M8P. Όλα αυτά χρησιμοποιήθηκαν με τις τροχιές αναφοράς προκειμένου να εξαχθούν κάποια συμπεράσματα για την ορθότητα των μετρήσεων αυτών.

Η μέθοδος RTK του C94 έχει ικανοποιητικά αποτελέσματα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την μελέτη τροχιών σε ικανοποιητικό επίπεδο. Ο δέκτης M8T μαζί με το λογισμικό ucenter της ublox δεν είχε τα ίδια αποτελέσματα στην SPP λύση επομένως χρειαζόταν περαιτέρω επεξεργασία με το λογισμικό RTKLIB. Τέλος εξετάστηκε και η τροχιά του πεζού όπου ο δέκτης M8T πεζού με SPATIAL είχε ικανοποιητικά αποτελέσματα. Δεν ισχύει το ίδιο για την moving base διαδικασία του M8T του οχημάτος με το M8T του πεζού που τα σφάλμα ήταν πολύ μεγαλύτερα.

ABSTRACT

The scope of this diploma thesis is to investigate and compare the low cost GNSS positioning systems and to evaluate their performance in different situations and trajectories. For this reason vehicle's and pedestrian's trajectory planned to test these situations. The low cost receivers which used are EVK-M8T, C94-M8P of ublox, SPATIAL low cost of Advanced Navigation Company and high precision GNSS/ INS SPATIAL of NovAtel. The SPAN system because of high precision geodetic antenna NovAtel Pinwheel 702-GG and INS system used for the reference trajectory. The export of these receivers are raw data measurements which used to export vehicle and pedestrian trajectories. One of the measurements was with stand alone positioning,(SPP) method for the M8T GNSS receiver and after that with the open source software RTKLIB using raw data code measurements to export trajectories with absolute positioning method. Also,used the RTK solution of C94-M8P GNSS low cost receiver. All these measurements used for the total figures about precision and trueness of receivers.

The RTK method of C94-M8P receiver had very good results and can be used for trajectory investigation. The EVK-M8T receiver with stand alone positioning produced unreliable positioning. With post process via RTKLIB the results was better but not as good as C94-M8P. The moving base between M8T vehicle and M8T pedestrian had unreliable results about the trajectory, in compare with trajectory M8T pedestrian with SPATIAL which had good results.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Γκίκα Βασίλειο, Καθηγητή του ΕΜΠ, για την ανάθεση της διπλωματικής εργασίας και την καθοδήγηση και την επίβλεψη της.

Θα ήθελα ακόμη να ευχαριστήσω τον υποψήφιο διδάκτορα Χαράλαμπο Περάκη για την πολύτιμη βοήθειά του, τόσο για την προετοιμασία των μετρήσεων, για την διεξαγωγή τους, την επεξεργασία αυτών αλλά και για επίλυση οποιασδήποτε απορίας πάνω στο θέμα της διπλωματικής εργασίας οποιαδήποτε ώρα και στιγμή.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη.....	1
ABSTRACT.....	2
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	3
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	4
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΟΥ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ.....	7
1.1 Έννοιες εντοπισμού.....	7
1.1.1 GPS Και Πλοήγηση.....	7
1.2 Ποιότητα Εντοπισμού.....	9
1.3 Συστήματα Δορυφορικού εντοπισμού (GNSS) Χαμηλού Κόστους.....	9
1.4 Αδρανειακά Συστήματα (INS).....	11
1.4.1 Σύστημα SPAN.....	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΟΥ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ GNSS.....	13
2.1 Αναφορά	13
2.1.2 Τμήματα συστημάτων GNSS.....	13
2.1.3 Συστήματα GNSS.....	14
2.2 Γενικά στοιχεία.....	15
2.2.1 Δορυφορικό σήμα.....	15
2.2.2 Μετρήσεις.....	16
2.2.2.1 Ακρίβεια παρατηρήσεων.....	18
2.2.3 Σφάλματα.....	19
2.3 Τεχνικές και Μέθοδοι Δορυφορικού εντοπισμού.....	23
2.3.1 Απόλυτος εντοπισμός.....	23
2.3.1.1 PPP(PrecisePointPositioning).....	24
2.3.2 Σχετικός εντοπισμός.....	25
2.3.2.1 Τεχνικές σχετικού εντοπισμού θέσης.....	28
2.3.3 Διαφορικός Εντοπισμός.....	36
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΔΡΑΝΕΙΑΚΟΥ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ.....	37
3.1 Λειτουργία συστημάτων.....	37
3.2 Μέρη συστημάτων INS και αισθητήρες.....	38
3.2.1 Αισθητήρες αδρανειακών.....	38
3.2.2 Μέρη αδρανειακών συστημάτων.....	38
3.3 Συστήματα αναφοράς.....	39
3.4 Κατηγορίες Συστημάτων αδρανειακού εντοπισμού.....	40
3.5 Διαδικασία εκκίνησης.....	41
3.6 Σφάλματα και παράγοντες που τα επηρεάζουν.....	41
3.7 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα INS.....	43
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΚΑΙ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΕ.....	44
4.1 Σύστημα εντοπισμού NovAtel SPAN System.....	44
4.1.1 Αδρανειακή μονάδα.....	44
4.1.2 Σύστημα Δορυφορικού Εντοπισμού.....	45
4.2 Δέκτης Δορυφορικού εντοπισμού u-blox NEOM8T,u-blox RTK(C94-M8P).....	48
4.3 Σύστημα εντοπισμού Advanced Navigation SPATIAL.....	52

4.3.1 Λογισμικό SPATIAL της Advanced Navigation.....	56
4.4 Λογισμικό GNNS RTKLIB.....	57
4.5 Λογισμικό U-CENTER.....	59
4.6 Λογισμικό Inertial Explorer.....	62
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ.....	63
5.1 Σχεδιασμός Πειράματος.....	63
5.2 Κινήσεις στο πεδίο.....	69
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	
6.1 Διαδικασία λειτουργίας και εξαγωγής αποτελεσμάτων μέσω RTKLIB.....	74
6.2 Διαδικασία λειτουργίας και εξαγωγής αποτελεσμάτων μέσω Inertial Explorer..	82
6.3 Διαδικασία λειτουργίας και εξαγωγής αποτελεσμάτων μέσω UCENTER.....	87
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΕΙΣ ΤΡΟΧΙΩΝ ΜΕΣΩ ΤΩΝ ΔΕΚΤΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ.....	91
7.1 Πείραμα 1(Τροχιά Αυτοκινήτου).....	91
7.1.1 Οριζοντιογραφίες.....	91
7.1.1.1 Δέκτης C94.....	94
7.1.1.2 Δέκτης M8T.....	98
7.1.2 Χρονοδιαγράμματα.....	103
7.1.2.1 Σύγκριση τροχιάς C94 με SPAN RTK ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ.....	104
7.1.2.2 Σύγκριση τροχιάς C94 με SPAN POST-PROCESS ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ.....	108
7.1.2.3 Σύγκριση τροχιάς M8T με SPAN SPP ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ.....	112
7.1.2.4 Σύγκριση τροχιάς M8T με SPAN POST PROCESS ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ.....	120
7.2 Πείραμα 2(Τροχιά πεζού).....	128
7.2.1 Τροχιά πεζού με την χρήση του λογισμικού RTKLIB.....	129
7.2.1.1 Τροχιά Πεζού με Moving Base διαδικασία M8T Οχήματος-M8T Πεζού (RTKLIB).....	131
7.2.2 Σύγκριση τροχιάς πεζού από το moving base διαδικασία.....	133
7.2.3 Τροχιά Πεζού με M8T πεζού SPATIAL-SPP ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ.....	139
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	144
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	147
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	149
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	154

Εισαγωγή

Πολλές δραστηριότητες στις μέρες μας συνδέονται με τροχιές τόσο αυτοκινήτων όσο και πεζών. Από μια απλή τροχιά πεζού(τρέξιμο) έως την θέση των λεωφορείων, των πλοίων. Οι δέκτες GPS κάνουν αυτή την δουλειά προκειμένου να εξαχθεί σωστά η τροχιά του υπο μελέτη αντικειμένου. Τα δορυφορικά αυτά συστήματα είναι τα GNSS. Υπάρχουν βέβαια και δορυφορικά συστήματα με υψηλότερη ακρίβεια τα οποία περιέχουν και αδρανειακά συστήματα INS. Η αδυναμία λειτουργίας των συστημάτων GNSS σε κλειστούς χώρους, ή σε χώρους που δεν υπάρχει καλή ορατότητα για το δορυφορικό σήμα και η μείωση ακρίβειας του αδρανειακού συστήματος οδήγησε στην δημιουργία συστημάτων εντοπισμού GNSS σε συνεργασία με τα αδρανειακά (INS). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα καλύτερη ποιότητα της τροχιάς του υπο μελέτη αντικειμένου ακόμα και σε δυσχερείς συνθήκες για το δορυφορικό σήμα. Στην συγκεκριμένη διπλωματική όπως αναφέρθηκε χρησιμοποιήθηκαν τόσο συστήματα GNSS χαμηλού κόστους αλλά και συστήματα GNSS/INS για την διερεύνηση της τροχιάς αυτοκινήτου και της τροχιάς του πεζού, τα οποία αυτά αποτελέσματα αναλύονται σε διάφορα σενάρια των υπο μελέτη τροχιών καταλήγοντας σε ορισμένα συμπεράσματα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΟΥ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ

1.1 Έννοιες εντοπισμού

Positioning

Αφορά την εύρεση της θέσης του υπο μελέτη αντικειμένου, οχήματος, ανθρώπου σε ένα συγκεκριμένο σύστημα αναφοράς. Η θέση του υπο μελέτη αντικειμένου είναι άγνωστη και προκύπτει συνήθως από μια συνεργατική διαδικασία με άλλα μέσα που θα αναλυθούν στην συνέχεια.

Navigation

Το περιεχόμενο της πλοήγησης περιλαμβάνει τον προσδιορισμό της θέσης, κατεύθυνσης και ταχύτητας του αντικειμένου και την καθοδήγηση πάνω σε δεδομένη τροχιά. Σε αυτό το τομέα μπορούν να γίνουν έλεγχοι μεταξύ της πραγματικής τροχιάς του αντικείμενου και της προγραμματισμένης.

Tracking

Είναι η παρακολούθηση. Επαναλαμβάνεται ο προσδιορισμός της θέσης του αντικειμένου σε σχέση με τον χρόνο. Επομένως παρακολουθείται το όχημα και εντοπίζεται συνεχώς η θέση του σε συνάρτηση με τον χρόνο.

1.1.1 GPS Και Πλοήγηση

Τα GPS έχουν εισχωρεί κατα πολύ σε διάφορες εφαρμογές σε πολλούς τομείς. Έτσι κρίνεται αναγκαία η συνεχής ενημέρωση και βελτίωση των μεθόδων που χρησιμοποιούνται για διάφορες πρακτικές. Κάποιες από τις πρακτικές αυτές είναι η κίνηση οχημάτων, υδρογραφία, κίνηση πλοίων, κίνηση αεροπλάνων, παρατηρήσεις στις κινήσεις των πεζών (μέσω και κινητών πλεον).

Αναφέρονται ενδεικτικά διάφοροι τομείς και εφαρμογές που χρησιμοποιούνται τα GPS.

Κίνηση οχημάτων: Ελαχιστοποίηση μήκους διαδρομών, Βελτιστοποίηση προγραμματισμού, έλεγχος διαδρομών οχημάτων.

Κίνηση πλοίων: Ναυσιπλοία, ωκεανογραφία, κίνηση σε ποτάμια, διάσωση.

Κίνηση αεροπλάνων: Έλεγχος αεροπλοιάς, φωτογραμμετρικές εφαρμογές, Τηλεπισκόπηση.

Κίνηση πεζών: Προσδιορισμός θέσης για ορειβασία, περιήγηση.



Σχήμα 1.1: Διάφορες εφαρμογές των GPS. (Πηγή: Το Παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα εντοπισμού θέσης Global Positioning System, GPS. Κωνσταντίνος Λακάκης.)

Figure 1.1: Useful of GPS. (Source: The Global Positioning System, GPS, Konstantinos Lakakis)

1.2 ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ

Παράλληλα όμως με τις εφαρμογές σημασία έχει και η ποιότητα εντοπισμού. Επομένως ανάλογα με την κάθε χρήση επιλέγουμε τον ανάλογο δέκτη (θα αναλυθεί στη συνέχεια) που ανάλογα με την συνάρτηση κόστος-ακρίβεια μας δίνει το αποτέλεσμα που θέλουμε.

Επομένως για να καθορίσουμε την ποιότητα εντοπισμού αναφερόμαστε σε τρεις παράγοντες.

Διαθεσιμότητα: Αναφέρεται στην διάκεια λειτουργίας του δέκτη

Ακρίβεια: Αναφέρεται στην συμβιβαστότητα (*precision*) και την ορθότητα (*trueness*) του. Η συμβιβαστότητα έχει να κάνει με την ποιότητα της λύσης του δέκτη βασιζόμενοι στις εκτιμήσεις του σφάλματος που παράγει ο δέκτης. Η αποχή της λύσης που υπολογίζει ο δέκτης από την θέση αναφοράς του, η οποία θεωρείται η πραγματική θέση του δέκτη είναι η ορθότητα.

Ακεραιότητα: Κατά πόσο ο χρήστης εμπιστεύεται τον δέκτη σύμφωνα με την τιμή εντοπισμού που του παρέχει ο δέκτης. Εκφράζεται με την τιμή ενός επιπέδου εμπιστοσύνης (*protection level*) ή ενός επιπέδου αβεβαιότητας (*integrity risk*).

1.3 Συστήματα Δορυφορικού εντοπισμού (GNSS) Χαμηλού Κόστους

Ο δορυφορικός εντοπισμός στον οποίο στηρίζονται οι παραπάνω εφαρμογές που αναφέρθηκαν προσδιορίζεται από τον δορυφορικό δέκτη και την κεραία που χρησιμοποιείται εκάστοτε κάπως και από τον τρόπο με τον οποίο θα επιλυθεί ο εντοπισμός αυτός. (Μέθοδος, Ανάλυση Κεφάλαιο 2). Όπως γνωρίζουμε, για την τοπογραφική εργασία χρησιμοποιούνται γεωδαιτικοί δέκτες και κεραίες. Αυτοί κοστίζουν αρκετές χιλιάδες ευρώ. Αυτό οφείλεται στο ότι είναι δύο συχνοτήτων προσφέροντας έτσι πιο σταθερή επίλυση των ασαφειών φάσης και διορθώνονται τα σφάλματα της ιονόσφαιρας. Επίσης έχουν καλή προστασία από τα ανακλώμενα σήματα και οι ηλεκτρονικές διατάξεις των χρονομέτρων των δεκτών είναι υψηλές με αποτέλεσμα στον καλύτερο συγχρονισμό.

Κάποιες εφαρμογές όμως δεν απαιτούν τόσο καλή ακρίβεια και επομένως το κόστος είναι δυσανάλογο της εφαρμογής. Επομένως χρησιμοποιούνται δέκτες μιας συχνότητας με αξιόπιστα αποτελέσματα για μερικά χιλιόμετρα. Αυτοί είναι οι λεγόμενοι δέκτες χαμηλού κόστους (*low cost GNSS receivers*) που χρησιμοποιούνται για διάφορες εφαρμογές. Το κόστος είναι προφανώς χαμηλότερο είναι δέκτες κώδικα και διαθέτουν κατώτερης ποιότητας ηλεκτρονικές διατάξεις και χρονόμετρα σε σχέση με τους γεωδαιτικούς δέκτες. Παρουσιάζουν αρκετή ευαισθησία στην λήψη του δορυφορικού σήματος, με αποτέλεσμα να ελέγχεται το εξασθενημένο σήμα σε

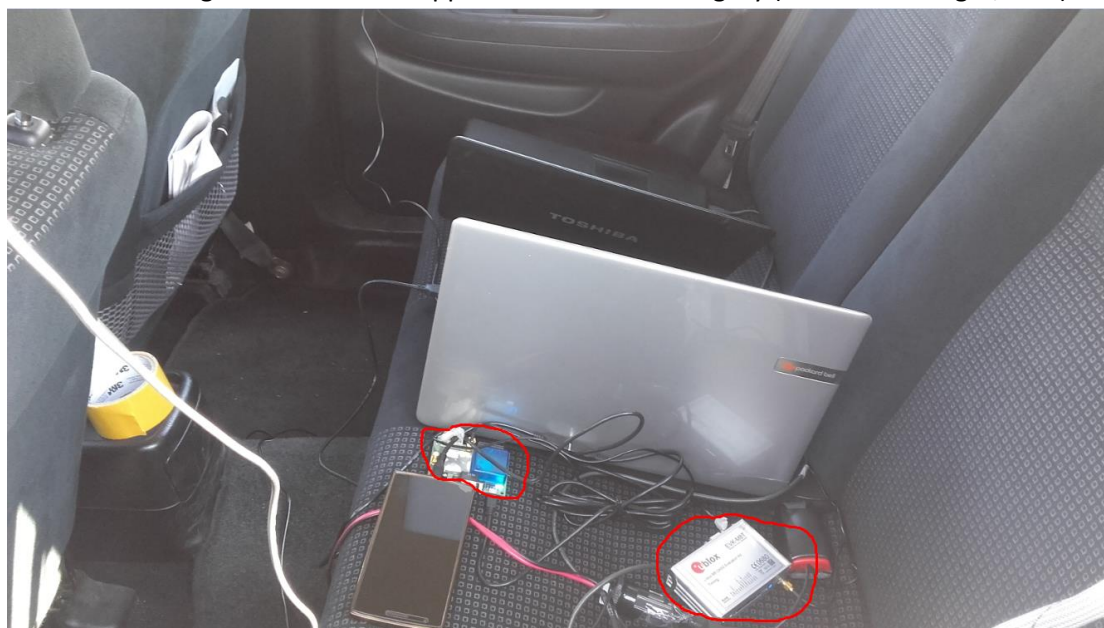
περιοχές όπως κοντά σε κτήρια, κάτω από δέντρα κτλ. Οι low cost δέκτες δέχονται παρατηρήσεις από αρκετά GNSS συστήματα με αποτέλεσμα την καλύτερη ακρίβεια.

Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται διάφορες κατηγορίες δορυφορικών δεκτών και προτεινόμενες εφαρμογές για κάθε κατηγορία.

receiver class	used signal	applications	accuracy	appr. costs
low cost	code or phase-smoothed code, 1 frequency	car navigaton, location based services, sailing, mass market	1 to 10 m	100 – 500 €
geodata acquisition	phase-smoothed code, 1 frequency	infrastructure planning, architecture, GIS applications	0,5 to 3 m	5 000 – 10 000 €
geodetic	code and phase, in general 2 frequencies	surveying, geodynamics	0,001 to 0,1 m	10 000 € - 30 000 €

Πίνακας 1.1: Πίνακας δορυφορικών δεκτών και εφαρμογές ανά κατηγορία (Πηγή: Schwieger, 2010)

Table 1.1: Catalog of receivers and applications of each category (Source: Schwieger, 2010)



Σχήμα 1.2: Δέκτες GNSS low cost κατά την διάρκεια των μετρήσεων (Πηγή: Κώστας Λασιπιάς)

Figure 1.2: Low cost receivers GNSS the day of the experiments (Source: Kostas Laspias)

Σημαντικό ρόλο επίσης στην ακρίβεια και πως τελικά ο δέκτης θα αποδώσει τις μετρήσεις είναι και τι κεραία φέρνει μαζί του. Οι κεραίες γεωδαιτικού τύπου που έχουν οι γεωδαιτικοί δέκτες που αναφέρθηκαν παραπάνω είναι υψηλής ποιότητας καθώς μειώνουν την επίδραση πολυανακλάσεων, προστατεύονται από διάφορες παρεμβολές και το κέντρο φάσης είναι σταθερό. Ο τύπος αυτών των κεραιών είναι τύπου chokering και micro-strip. Αντιθέτως οι δέκτες χαμηλού κόστους (GNSS Low

Cost) έχουν χαμηλότερης ποιότητας κεραίες και δέχονται σήματα από πολυανακλάσεις που οι γεωδαιτικές απορρίπτουν.



Σχήμα 1.3:Κεραία δείκτη GNSS low cost
Figure 1.3:Antenna low cost GNSS receiver

1.4 Αδρανειακά Συστήματα (INS)

Λίγα λόγια για τα αδρανειακά συστήματα πριν αναλυθούν σε επόμενο κεφάλαιο.

Τα αδρανειακά συστήματα συνδυαζόμενα με τα GPS παρέχουν σταθερό-αξιόπιστο τρόπο εντοπισμού θέσης ακόμα και σε δύσκολα περιβάλλοντα μετρήσεων όπου η GPS λύση από μόνη της είναι σαφώς λιγότερο αξιόπιστη. Ανάλογα με την τεχνολογία κατασκευής και τα χαρακτηριστικά των αισθητήρων υπάρχουν διάφορες κατηγορίες ανάλογα πάλι με το τη εφαρμογή πρόκειται να υλοποιήσουμε. Ο παράγοντας κόστος και επίδοση υπεισέρχεται στην επιλογή του κατάλληλου αδρανειακού συστήματα που θέλουμε.

Τα μέρη του αδρανειακού συστήματος είναι τα γυροσκόπια και τα επιταχυνσιόμετρα. Όπως και στους δείκτες δορυφορικού εντοπισμού χαμηλού κόστους έτσι και στα αδρανειακά πάλι υπάρχουν μικροσκοπικά γυροσκόπια και επιταχυνσιόμετρα που αντικαθιστούν τους κλασσικούς αδρανειακούς αισθητήρες. Έτσι για την πλοήγηση των οχημάτων χρησιμοποιούνται τέτοιου είδους αισθητήρες, με χαμηλότερη όμως

ακρίβεια από τους κλασσικούς. Η ακρίβεια στην πλοήγηση μειώνεται αισθητά λόγω του θορύβου.

Υπάρχουν διάφορες κατηγορίες αδρανειακών ανάλογα με το κόστος και την εφαρμόγη που είναι κατάλληλα να εκτελέσουν με την απαιτούμενη ακρίβεια.

Ακρίβεια	Κόστος(\$)	Είδος Εφαρμογής	Παραδείγματα
>200 deg/hr	50-100	Για απλές χρήσεις	Υπολογιστές, κάμερες, παιχνίδια
10-200 deg/hr	5,000-10,000	Για αυτοκινητοβιομηχανίες	Πτήσεις, Σταθεροποίηση αισθητήρων
0.1-10deg/hr	10,000-50,000	Στρατιωτικές χρήσεις και τακτικές	Πτήσεις, Κατευθυνόμενα πυρομαχικά
<0.01 deg/hr	>100,000	Πλοήγηση αεροσκαφών, πυραύλων	Αεροσκάφη στρατού και πολιτικής χρήσης

Πίνακας 1.2: Αδρανειακά συστήματα, Είδος και πληροφορίες για κάθε είδος (Πηγή: tut.fi)
Table 1.2: INS Categories and informations (Source: tut.fi)

1.4.1 Σύστημα SPAN

Το σύστημα SPAN (Synchronized Position Attitude Navigation) επιτυγχάνει την συνεργασία μεταξύ GPS δέκτη και μιας αδρανειακής μονάδας. Το σύστημα αυτό είναι σχεδιασμένο για συνεχή λειτουργία και σε περιοχές που χάνεται το σήμα του GPS. Έτσι το SPAN παρέχει ακριβείς πληροφορίες θέσης και συμπεριφοράς κίνησης.

Έτσι και όταν το GPS λαμβάνει σήμα από λιγότερους από τέσσερις δορυφόρους το SPAN συνεχίζει να δίνει θέση και κίνηση. Επιπρόσθετα, η συνεργασία της IMU μονάδας (SPAN) και του GPS παρέχει ταχύτερο χρόνο επανάκτησης των GPS σημάτων και ταχύτερο χρόνο επίλυσης της ασάφειας φάσης στον RTK εντοπισμό θέσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΟΥ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ GNSS

2.1 Αναφορά

Είναι συστήματα που παρέχουν προσδιορισμό θέσης, ταχύτητας και χρόνου πραγματοποιώντας μετρήσεις από δορυφόρους τους οποίους γνωρίζουμε την τροχιά. Τα συστήματα αυτά δορυφορικού εντοπισμού GNSS (Global Navigation Satellite Systems) λειτουργούν συνεχώς και μπορούν να αξιοποιηθούν για διάφορες εφαρμογές.

Τα συστήματα δορυφορικού εντοπισμού εκπέμπουν κωδικοποιημένα σήματα τα οποία λαμβάνονται από δέκτες προκειμένου να βρεθεί η θέση τους. Οι δέκτες υπολογίζουν τον χρόνο που ταξίδεψε το σήμα από τον δορυφόρο μέχρι την στιγμή λήψης και πολλαπλασιάζοντας το με την ταχύτητα του φωτός υπολογίζεται η απόσταση από τον δορυφόρο που είναι σε τροχιά.

Η θέση του δέκτη είναι αποτέλεσμα τριπλευρισμού. Δηλαδή η θέση του δέκτη κάθε χρονική στιγμή ορίζεται ως η τομή τριών σφαιρών με κέντρα δορυφόρους και ακτίνες τις μετρημένες αποστάσεις. Επίσης σημαντικό ρόλο στις μετρήσεις παίζουν και οι χρόνοι. Η ακριβής γνώση του χρόνου μετάβασης του δορυφορικού σήματος και ο συγχρονισμός χρονομέτρων δεκτών και δορυφόρων είναι παράγοντες για που επηρεάζουν κατά πολύ την ακρίβεια προσδιορισμού της θέσης των δεκτών. Έτσι για να εξαληθούν τυχόν σφάλματα χρησιμοποιούνται κατ'ελάχιστο τέσσερις δορυφόροι για την μείωση του σφάλματος των συγχρονισμών των χρονομέτρων.

2.1.2 Τμήματα συστημάτων GNSS

Τμήμα Διαστήματος

Αποτελείται από δορυφόρους που βρίσκονται σε τροχιά γύρω από την Γη και εκπέμπουν ηλεκτρομαγνητικά σήματα τα οποία χρησιμοποιούν οι δέκτες για τις μετρήσεις.

Τμήμα Ελέγχου

Αποτελείται από σταθμούς παρακολούθησης τοποθετημένους ομοιόμορφα σε όλη την Γη και ρυθμίζει την λειτουργία του τμήματος του διαστήματος. Παρακολουθεί κινήσεις δορυφόρων, υπολογίζει εφημερίδες ακριβείας και διορθωτικές παραμέτρους των χρονομέτρων των δορυφόρων.

Τμήμα Χρηστών

Το σύνολο των χρηστών που χρησιμοποιούν το σύστημα για εντοπισμό θέσης και πλοήγησης.

2.1.3 Συστήματα GNSS

- GPS

Το πιο διαδεδομένο σύστημα GNSS. Αναπτύχθηκε στο υπουργείο Άμυνας των ΗΠΑ την δεκαετία του 1970. Αρχικά ήταν για στρατιωτικούς σκοπούς αλλά δόθηκε αργότερα για πολιτική χρήση.

- GLONASS

Είναι το Ρώσικο σύστημα δορυφορικού εντοπισμού και βασίζεται στην ίδια αρχή με το GPS.

- Galileo

Είναι το δορυφορικό σύστημα εντοπισμού της Ευρώπης. Στόχος του είναι κυρίως οι πολιτικές χρήσεις, παρέχοντας δυο υπηρεσίες εντοπισμού. Μια που θα είναι ελεύθερη στο κοινό με μειωμένη ακρίβεια και μια έναντι χρηματικού ποσού.

- Beidou-1

Είναι το δορυφορικό σύστημα εντοπισμού της Κίνας. Παρέχει υπηρεσίες για πολιτικούς και στρατιωτικούς σκοπούς. Μέχρι το 2020 αναμένονται 35 δορυφόροι, πέντε εκ των οποίων θα είναι γεωστατικοί.

2.2 Γενικά στοιχεία

Η λειτουργία βασίζεται στην λήψη και ανάλυση του δορυφορικού σήματος από τους δέκτες. Περιέχει κώδικα και φάση, τα οποία αποκωδικοποιούνται από εσωτερικά κυκλώματα των δεκτών και μετατρέπεται σε ψευδοαπόσταση και φάση.

Οι δορυφόροι GPS μεταδίδουν σήματα σε δύο συχνότητες που ονομάζονται φέρουσες συχνότητες. Οι μετρήσεις φάσης στην L1 και L2 παρέχουν μεγάλη ακρίβεια στη μέτρηση της απόστασης δορυφόρου. Όλοι οι δορυφόροι GPS μεταδίδουν τις ίδιες φέρουσες συχνότητες, αλλά οι διαμορφωμένοι κώδικες είναι διαφορετικοί για κάθε δορυφόρο. Συχνότητα L1=1575.42MHz και L2=1227.60MHz.

Οι δύο κώδικες είναι ο C/A-κώδικας (Coarse Acquisition code) και ο P-κώδικας (Precise code). Οι κώδικες αυτοί είναι κώδικες ψευδοτυχαίου θορύβου (PRN) και αποτελούνται από ακολουθίες δυαδικών ψηφίων. Ο C/A-κώδικας διαμορφώνεται μόνο στην L1 και είναι ελεύθερος σε όλους τους χρήστες, ενώ ο P-κώδικας διαμορφώνεται στην L1 και στην L2 και είναι προσβάσιμος μόνο από εξουσιοδοτημένους χρήστες.

2.2.1 Δορυφορικό σήμα

Οι συχνότητες L1 και L2 διαμορφώνονται από ένα μήνυμα πλοήγησης και δύο κώδικες. Οι κώδικες των δορυφόρων GPS είναι διαφορετικοί για κάθε δορυφόρο παρόλο που μεταδίδουν τις ίδιες φέρουσες συχνότητες.

Ο κώδικας C/A που αναφέρθηκε είναι μια ακολουθία από 1023 δυαδικά ψηφία που παραγονται με συχνότητα 1.023 MHz. Η περίοδος του κώδικα είναι 1 ms και το μήκος κύματος 300m. Ο συγκεκριμένος κώδικας έχει καλό συγχρονισμό του ρολογιού του δέκτη ως προς τον χρόνο GPS με αποτέλεσμα οι μετρήσεις που καταγράφονται να είναι ταυτόχρονες με καλή ακρίβεια. Χαμηλότερη ακρίβεια έχει βέβαια στην μέτρηση απόστασης δορυφόρου με δέκτη.

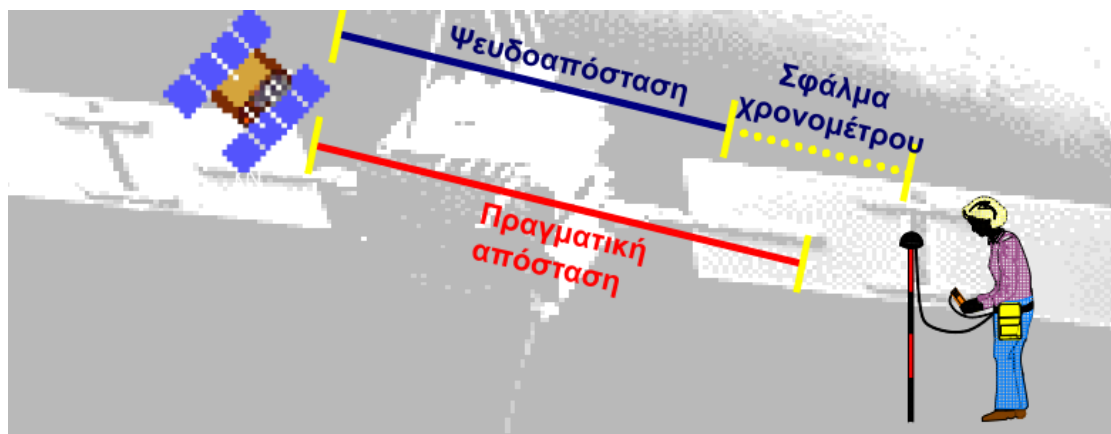
Ο κώδικας P που αναφέρθηκε είναι μια ακολουθία $2.3547 \cdot 10^4$ ψηφίων που παράγονται με συχνότητα 10.23 MHz. Η περίοδος του κώδικα είναι 0.1ms και το μήκος κύματος στα 30m. Ο κώδικας χωρίζεται σε 38 τμήματα διαφορετικών βδομάδων επειδή η περίοδος επαναφοράς είναι 266,4 μέρες κάτι που απαιτεί χρόνο για να συσχετιστεί ο δέκτης. Σε αντίθεση με τον C/A κώδικα ο P κώδικας έχει καλύτερη ακρίβεια στην μέτρηση απόστασης δορυφόρου με δέκτη και είναι καλύτερα προστατευμένος από παρεμβολές.

Τα μηνύματα πλοήγησης ή δεδομένων (navigation message) περιλαμβάνουν πληροφορίες για την θέση του δορυφόρου (εφημερίδες), χρονικές διορθώσεις, κατάσταση δορυφόρου, ατμοσφαιρικές παραμέτρους για την διόρθωση του σήματος και εφημερίδες και για τους υπόλοιπους δορυφόρους όχι τόσο ακριβείς όμως. Ο χρόνος επανάληψης των εφημερίδων και των χρονικών διορθώσεων είναι 30 sec.

Καινούριες συχνότητες εντάσσονται σιγά σιγά όπως η L5 που αφορά κυρίως την ασφάλεια των μεταφορών και θα συμβάλει στην βελτιστοποίηση του προσδιορισμού της θέσης. Επεκτάσεις των L1,L2 είναι ο L1C κώδικας που θα παρουσιάζει καλύτερη απόδοση και ο L2C που θα διορθώνει τα ιονοσφαιρικά σφάλματα σε συνδυασμό με τον C/A κώδικα.

2.2.2 Μετρήσεις

Ψευδοαπόσταση είναι η μετρημένη απόσταση μεταξύ δορυφόρου και δέκτη, η οποία προκύπτει από την παρατήρηση στον C/A και P κώδικα. Ονομάζεται ψευδοαπόσταση γιατί διαφέρει από την πραγματική γεωμετρική απόσταση δορυφόρου-δέκτη. Η διαδικασία μέτρησης της ψευδοαπόστασης ανάγεται στη μέτρηση του χρόνου διάδοσης του σήματος (δορυφορικού) από το δορυφόρο στο δέκτη. Δηλαδή η διαφορά της χρονικής στιγμής εκπομπής του σήματος από το δορυφόρο και της λήψης του από το δέκτη, πολλαπλασιάζοντας την με την ταχύτητα του φωτός, αποτελεί τη μέτρηση της ψευδοαπόστασης.



Σχήμα 2.1: Ψευδοαπόσταση. (Πηγή: Το Παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα εντοπισμού θέσης Global Positioning System, GPS. Κωνσταντίνος Λακάκης)

Figure 2.1: Pseudorange (Source: The Global Positioning System, Konstantinos Lakakis)

Οι εξισώσεις ψευδοαπόστασης :

$$P_r^s = c(t_r - t_s) \quad (2.1)$$

t_r : ο χρόνος λήψης του σήματος από τον δέκτη στην δική του κλίμακα χρόνου

t_s : ο χρόνος εκπομπής του σήματος από τον δορυφόρο στη δική του κλίμακα χρόνου

c : ταχύτητα φωτός

Υπεισέρχονται σφάλματα όμως στην μέτρηση της ψευδοαπόστασης επηρεάζοντας έτσι την γεωμετρική απόσταση δορυφόρου δέκτη.

$$P_r^s = \rho_r^s + c\delta t_r - c\delta t_s + \delta_{ion} + \delta_{tro} + e \quad (2.2)$$

ρ_r^s : γεωμετρική απόσταση δορυφόρου δέκτη

δt_r : αποχή χρονομέτρου του δέκτη από την κλίμακα χρόνου του GPS

δt_s : αποχή χρονομέτρου του δορυφόρου από την κλίμακα χρόνου του GPS

δ_{ion} : ιονοσφαιρικό σφάλμα

δ_{tro} : τροποσφαιρικό σφάλμα

e : τυχαίο σφάλμα της μέτρησης και άλλα εναπομένοντα

Μετρήσεις φάσεων

Η απόσταση δορυφόρου με δέκτη υπολογίζεται με κύκλους φάσης, μήκους κύματος λ στις συχνότητες L1 και L2. Ένας δέκτης GPS μετράει με ακρίβεια την κλασματική φάση ενός κύκλου κάθε χρονική στιγμή και καταγράφει τις μεταβολές της από το σημείο εγκλωβισμού του σήματος και μετά. Όπως αναφέρθηκε όμως ο ακέραιος αριθμός κύκλων δεν είναι σαφής. Αυτό ονομάζεται ασάφεια φάσης.

Η απόσταση δορυφόρου με δέκτη υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$\Phi_r^s = \lambda \varphi_r^s = \rho_r^s + c\delta t_r - c\delta t_s - \delta_{ion} + \delta_{tro} + \lambda N + \lambda e \quad (2.3)$$

Βλέπουμε ότι η απόσταση προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό του μήκους κύματος της φέρουσας συχνότητας με το άθροισμα της ασάφειας φάσης και του αθροιστικού τμήματος φάσης από το πρώτο σημείο εγκλωβισμού. Επειδή όμως υπεισέρχονται και σφάλματα λόγω τροπόσφαιρας, ιονόσφαιρας, χρονομέτρων ο τελικός τύπος συμπληρώνεται με τα παραπάνω σφάλματα.

λ , το μήκος κύματος της φέρουσας συχνότητας,

N , η ασάφεια φάσης,

ρ_r^s , η γεωμετρική απόσταση δορυφόρου-δέκτη,

δt_r , η αποχή χρονομέτρου του δέκτη από την κλίμακα χρόνου του GPS,

δt_s , η αποχή χρονομέτρου του δορυφόρου από την κλίμακα χρόνου του GPS,

δ_{ion} , το ιονοσφαιρικό σφάλμα,

δ_{tro} , το τροποσφαιρικό σφάλμα,

e, το τυχαίο σφάλμα της μέτρησης και άλλα μικρά εναπομένοντα σφάλματα.

Για να υπολογιστεί με ακρίβεια η απόσταση δορυφόρου με δέκτη απαιτείται ο προσδιορισμός των ασαφειών φάσης. Όταν οι ασάφειες φάσης έχουν προσεγγίσει τον σωστό ακέραιο αριθμό κύκλων τότε έχει υπολογιστεί με καλή ακρίβεια η απόσταση δορυφόρου-δέκτη και κάνουμε λόγο για fixed solution. Όταν το GPS βγάζει ένδειξη float solution σημαίνει ότι δεν έχει βρεθεί ο σωστός ακέραιος αριθμός κύκλων και έτσι εκτιμάται ως πραγματικός ο αριθμός αυτός. Επομένως η ακρίβεια απόστασης δορυφόρου με δέκτη έχει μειωθεί. Λόγοι που οδηγούν σε float λύση είναι η ατέλεια μαθηματικού μοντέλου της εξίσωσης των φάσεων, λάθη σε τροχιές δορυφόρων και πιθανόν αλλαγές στην ατμόσφαιρα.

Όταν το σήμα του GPS χαθεί ταυτόχρονα χάνεται και ο ακέραιος αριθμός κύκλων. Όταν το σήμα επιστρέφει όλες οι μετρήσεις είναι επηρεασμένες από την απώλεια σήματος (κύκλοι ολίσθησης) και έτσι προστίθεται ένα ακόμη σφάλμα στην μέτρηση απόστασης δορυφόρου με δέκτη. Με κατάλληλες τεχνικές επεξεργασίας μπορεί να εντοπιστεί αυτό το συστηματικό σφάλμα και μπορεί να υπάρξει διόρθωση. Όλοι οι δέκτες δεν είναι ικανοί να μετρούν και τα δύο μεγέθη (κώδικα και φάση). Υπάρχουν πολλοί δέκτες που μετρούν μόνο τον κώδικα. Η φάση χρησιμοποιείται σε εφαρμογές υψηλής ακρίβειας, όπως οι γεωδαιτικές εφαρμογές. Για τον λόγο αυτό οι δέκτες που παρακολουθούν και εκτελούν μετρήσεις με χρήση της φάσης, ονομάζονται γεωδαιτικοί δέκτες.

2.2.2.1 Ακρίβεια παρατηρήσεων

Για τον κώδικα C/A με μήκος παλμού 300m η ακρίβεια της μέτρησης της ζητούμενης ψευδοαπόστασης είναι της τάξης των 3 μέτρων. Αναφέρεται ότι το τυχαίο σφάλμα παρατήρησης φτάνει στο 1% του μήκους κύματος/παλμού του εκάστοτε σήματος.

Για τον P κώδικα, που έχει μήκος παλμού 30 m η ακρίβεια της μέτρησης της ζητούμενης ψευδοαπόστασης είναι της τάξης του 0.3 του μέτρου.

Στην φέρουσα συχνότητα L1 με μήκος κύματος 0.2m η μέτρηση της φάσης γίνεται με ακρίβεια 0.002m.

Στην φέρουσα συχνότητα L2 με μήκος κύματος 0.25m η μέτρηση φάσης γίνεται με ακρίβεια 0.0025m.

Επομένως αν οι εργασίες μας απαιτούν υψηλή ακρίβεια χρησιμοποιούμε τις μετρήσεις φάσης που φαίνεται να έχουν πολύ καλή ακρίβεια.

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

Οι μετρήσεις φάσεως όταν έχουν υπολογιστεί οι ακέραιοι κύκλοι έχουν καλύτερη ακρίβεια από τις μετρήσεις ψευδοαποστάσεων.

2.2.3 Σφάλματα

Στις μετρήσεις ψευδοαποστάσεων για την μέτρηση απόστασης δορυφόρου με δέκτη υπεισέρχονται διάφορα σφάλματα που θα αναλυθούν παρακάτω τόσο τα ίδια όσο και οι παράγοντες που τα επηρεάζουν.

- Σφάλματα χρονομέτρων των δορυφόρων

Ένα nano second ανακρίβειας στο ρολόι του δορυφόρου επιδρά σε 30 εκατοστά λάθους στον υπολογισμό της απόστασης από ένα δορυφόρο. Έτσι οι δορυφόροι έχουν ρολόγια μεγάλης ακρίβειας (κασίου-ραβδίου) αλλά και αυτά έχουν λάθη ενός

Δισεκατομμυριοστού του δευτερολέπτου ανα τρεις ώρες. Υπάρχουν επίγειοι σταθμοί εξοπλισμένοι με πολλά ατομικά χρονόμετρα μεγάλης ακρίβειας τα οποία λειτουργούν ως μέτρο σύγκρισης για τα χρονόμετρα που έχουν οι ενεργοί δορυφόροι έτσι ώστε να ανάγεται η ολίσθηση του χρονομέτρου. Οι δέκτες GPS για να υπολογίσουν την απόσταση αφαιρούν τα σφάλματα χρονομέτρων των δορυφόρων από τον αναφερόμενο χρόνο μετάδοσης.

- Σφάλματα χρονομέτρων των δεκτών

Τα χρονόμετρα που έχουν οι δέκτες GPS είναι χαμηλότερης ποιότητας και συνεπώς ακρίβειας από αυτά των δορυφόρων. Έτσι τους καθιστά και πιο λειτουργικούς τους δέκτες γιατί τα χρονόμετρα αυτά έχουν χαμηλότερη αγοραστική αξία από αυτά των δορυφόρων. Στον αντίποδα όμως, δημιουργείται έτσι μεγάλο σφάλμα απόκλισης από την κλίμακα χρόνου. Επομένως χρίζει απαραίτητο η ταυτόχρονη μέτρηση από τέσσερις δορυφόρους για κάθε σημείο που βρίσκεται ο δέκτης έτσι ώστε να λύνεται και το σφάλμα των χρονομέτρων.

- Σφάλμα τροχιάς δορυφόρων

Ο σταθμός ελέγχου ελέγχει τις τροχιές των δορυφόρων και βγάζουν την προβλεπόμενη τροχιά τους η οποία εκπέμπεται στους δορυφόρους και αυτοί με την σειρά τους μέσω εφημερίδων την εκπέμπουν στους δέκτες GPS. Αυτό γίνεται γιατί υπάρχει διαφορά ανάμεσα στην πραγματική θέση του δορυφόρου και σε αυτήν που υπολόγισε ο δέκτης. Σε πραγματικό χρόνο οι εκπεμπόμενες τροχιές των δορυφόρων

έχουν σφάλμα από 2-5 μέτρα.Υπάρχει δυνατότητα στην εκ των υστέρων επεξεργασία μέσω πάλι εφημερίδων ακριβείας να προκύψει καλύτερη ακρίβεια.

- Σφάλμα λόγω ιονόσφαιρας

Στην εξίσωση της ψευδοαπόστασης πολλαπλασιάζεται ο χρόνος με την ταχύτητα του φωτός.Επειδή η απόσταση είναι μεγάλη η ταχύτητα του φωτός διαφέρει λόγω ατμοσφαιρικών συνθηκών.Το μέγεθος του σφάλματος που επηρεάζει το σήμα είναι από 1 μέχρι 100 μέτρα και εξαρτάται από την γωνία ύψους των δορυφόρων και από τα φορτισμένα ιόντα τα οποία καθυστερούν την μετάδοση του κώδικα.Όταν οι δορυφόροι είναι σε μικρή γωνία ύψους τότε το ιονοσφαιρικό σφάλμα αυξάνεται καθώς διανύει το σήμα μεγαλύτερη απόσταση μέσα στην ιονόσφαιρα.Δέκτες με δυο συχνότητες μπορούν να εξαλείψουν το σφάλμα αυτό χρησιμοποιώντας τις μετρήσεις από τις φέρουσες συχνότητες.Όσοι δέκτες είναι μονής συχνότητας για την επίλυση του σφάλματος στηρίζονται σε διάφορα μοντέλα.Με σχετικό προσδιορισμό θέσης απαλείφεται σημαντικό τμήμα του σφάλματος αυτού.Επίσης εξαρτάται από την ηλιακή δραστηριότητα.

- Σφάλμα λόγω τροπόσφαιρας

Η απόσταση δορυφόρου-δέκτη μετράται μεγαλύτερη από ότι πραγματικά είναι λόγω της διάθλασης που προκαλείται λόγω του στρώματος της τροπόσφαιρας.Διαφορές μετρημένης με πραγματικής απόστασης είναι της τάξης των 3-30m.Δορυφόροι οι οποίοι είναι με μικρή γωνία ύψους έχουν μεγαλύτερα σφάλματα.Για να αντιμετωπιστεί το σφάλμα υπάρχουν διάφορα μοντέλα για μικρές βάσεις(πχ Saastamoinen,Chao).Με συνδυασμό δυο συχνοτήτων όπως για τα ιονοσφαιρικά σφάλματα δεν γίνεται.Για μεγαλύτερες βάσεις χρησιμοποιούνται μετεωρολογικές μετρήσεις εδάφους.Με σχετικό προσδιορισμό θέσης απαλείφεται σημαντικό τμήμα του σφάλματος αυτού.



Σχήμα 2.2:Ατμοσφαιρικές επιδράσεις. Συστήματα GNSS Τρέχουσα κατάσταση - Τεχνολογικές Τάσεις – Εξελίξεις.(Πηγή: Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΟΓΛΟΥ, ΣΑΤΜ- ΕΜΠ, ΤΕΠΑΚ)

Figure 2.2:Atmospheric influences, GNSS systems, Current situation,technological trends.(Source: D.Delikaraoglou, NTUA)

- Σφάλμα πολυανάκλασης(multipath)

Όταν μετράμε την απόσταση από τον δορυφόρο στον δέκτη κάνουμε την εικασία ότι το σήμα πάει κατευθείαν από τον δορυφόρο στην κεραία του δέκτη.Υπάρχουν ορισμένα στοιχεία που επιδρούν στο απευθείας σήμα.Υπάρχουν τα ανακλώμενα σήματα από το έδαφος ή από αντικείμενα γύρω από την κεραία.Αυτό το φαινόμενο παρατηρείται σε αστικές περιοχές συνήθως.Το ανακλώμενο σήμα διανύει μεγαλύτερη απόσταση από το αληθές με αποτέλεσμα να υπάρχει σφάλμα στην απόσταση.Όταν πρόκειται για παρατηρήσεις στους κώδικες μπορεί να υπερβεί τα 10μενώ για παρατηρήσεις με φέρουσες συχνότητες το σφάλμα είναι δυο τάξης μεγέθους μικρότερες.



Σχήμα 2.3:Ατμοσφαιρικές επιδράσεις. Συστήματα GNSS Τρέχουσα κατάσταση - Τεχνολογικές Τάσεις – Εξελίξεις. (Πηγή:Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΟΓΛΟΥ, ΣΑΤΜ- ΕΜΠ, ΤΕΠΑΚ)
Figure 2.3:Atmospheric influences, GNSS systems, Current situation,technological trends.(Source: D.Delikaraoglou, NTUA)

- Θόρυβος

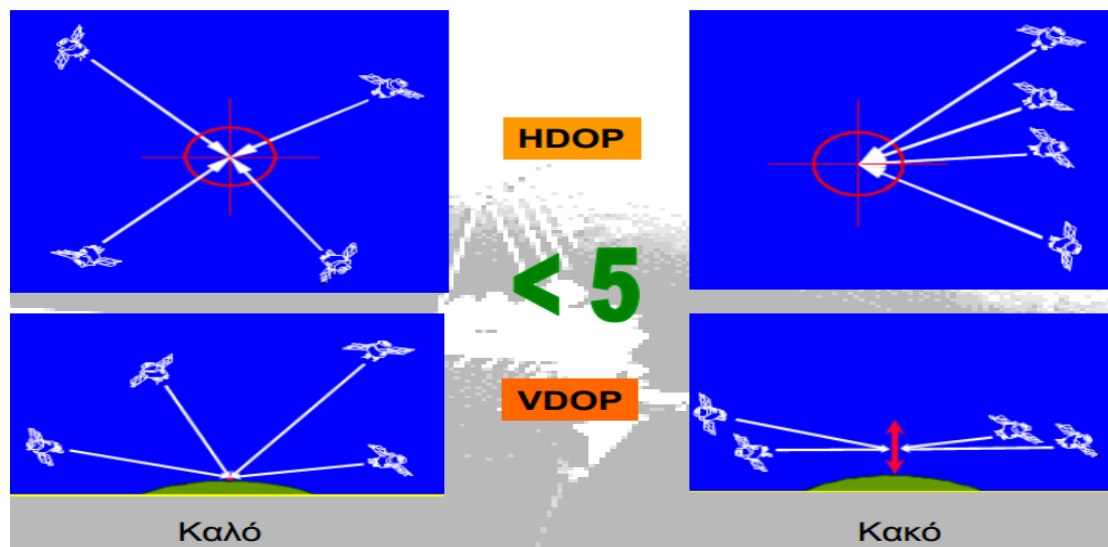
Το σφάλμα αυτό φτάνει το 1% του μήκους κύματος/παλμού του σήματος.Είναι το τυχαίο σφάλμα παρατήρησης.

- Γεωμετρικός σχηματισμός δορυφόρων(GDOP)

Σημαντικό ρόλο για τις μετρήσεις έχει να κάνει και η γεωμετρία των δορυφόρων στο διάστημα.Όπως αναφέρθηκε κατ'ελάχιστον χρησιμοποιούνται 4 δορυφόροι για μέτρηση αποστάσεων επομένως δημιουργούν ένα τετράεδρο το οποίο σχηματίζεται από τις γραμμές που συνδέουν τον δέκτη με τους δορυφόρους.Όσο μεγαλύτερος είναι ο όγκος αυτού του τετραέδρου τόσο καλύτερο είναι το GDOP.Επομένως όσο οι δορυφόροι είναι ευρέως διατεταγμένοι έχουν καλύτερη γεωμετρική διάταξη και η περιοχή αβεβαιότητας(θέση του δέκτη) είναι μικρότερη άρα ακριβέστερη μέτρηση.Όσον αφορά τον δείκτη GDOP όσο μικρότερος είναι τόσο καλύτερη η μέτρηση.Υπολογίζεται είτε κατά την διάρκεια της μέτρησης είτε μέσω του almanac γνωρίζοντας θέση δέκτη και δορυφόρων.

Ορισμός GDOP: Η τετραγωνική ρίζα του αθροίσματος των τετραγώνων των μεταβλητοτήτων των εκτιμήσεων των συντεταγμένων και του σφάλματος του χρονομέτρου του δέκτη.

Άλλοι δείκτες DOP είναι PDOP(Position DOP),HDOP(Horizontal DOP),V DOP(Vertical DOP),για την θέση,την οριζόντια και την κατακόρυφη θέση του δέκτη αντίστοιχα.



Σχήμα 2.4:HDOP/VDOP.(Πηγή: Το Παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα εντοπισμού θέσης Global Positioning System, GPS.Κωνσταντίνος Λακάκης)

Figure 2.4:HDOP/VDOP(Source:The Global Positioning System,KonstantinosLakakis)

- Μεταβαλές των κέντρων φάσης της κεραίας του δέκτη

Το μηχανικό κέντρο της κεραίας δεν συμπίπτει γενικά με το σημείο στο οποίο μια χρονική στιγμή γίνεται η μέτρηση του δορυφορικού σήματος. Το σημείο στο οποίο αναφέρεται κάθε μέτρηση ονομάζεται κέντρο φάσης και εξαρτάται από την διεύθυνση του εισερχόμενου σήματος. Η χρήση κεραιών διαφορετικών μοντέλων κατά την μέτρηση μπορεί να εισάγει σφάλματα τάξης λίγων εκατοστών. Το σφάλμα είναι διαφορετικό για την συχνότητα L1 και L2. Στόχος των κεραιών GPS είναι να εξασφαλισθεί μεγαλύτερη σταθερότητα του ηλεκτρικού κέντρου φάσης. Η αντιμετώπιση του φαινομένου γίνεται με την κατασκευή κεραιών αυξημένης σταθερότητας του κέντρου φάσης, με σωστή μέριμνα κατά την διαδικασία των μετρήσεων και με την χρήση μοντέλων διορθώσεων όταν επεξεργαζόμαστε τις μετρήσεις.

Όταν μια βάση μετριέται με διαφορετικά μοντέλα κεραιών και δεν χρησιμοποιούνται τα σωστά μοντέλα βαθμονόμησης των κεραιών αυτών τότε τα σφάλματα στις οριζόντιες συνιστώσες της βάσης είναι $\pm 1\text{cm}$ και στις κατακόρυφες συνιστώσες σχεδόν διπλάσια.

Εν κατακλείδι, για να περιορίσουμε τα σφάλματα πρέπει να καταγράψουμε στο έντυπο το μοντέλο της κεραίας έτσι ώστε να το επιλέξουμε στο λογισμικό που θα επεξεργαστούμε τις μετρήσεις. Επίσης, θα πρέπει να δηλώνεται και στο αρχείο Rinex το μοντέλο της κεραίας που χρησιμοποιήθηκε.

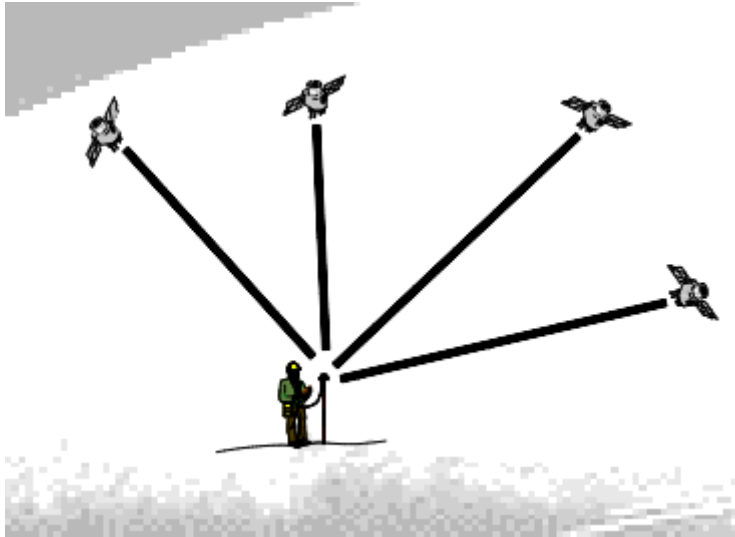
2.3 Τεχνικές και Μέθοδοι Δορυφορικού εντοπισμού

Υπάρχουν διάφοροι μέθοδοι δορυφορικού εντοπισμού και χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες. Σε απόλυτο εντοπισμό και σε σχετικό εντοπισμό. Από εκεί και πέρα υπάρχουν παραπάνω μέθοδοι που θα αναλυθούν παρακάτω όπως ο στατικός εντοπισμός, κινηματικός εντοπισμός, εκ των υστέρων εντοπισμός και εντοπισμός σε πραγματικό χρόνο.

2.3.1 Απόλυτος εντοπισμός

Με τον απόλυτο εντοπισμό παίρνουμε θέση του δέκτη(συντεταγμένες) μόνο από τις δικές του παρατηρήσεις. Για αυτό το λόγο δεν είναι τόσο ακριβής για κάποιες εφαρμογές. Χρειάζονται 4 δορυφόροι για να υπολογιστούν οι συντεταγμένες του δέκτη καθώς και η διόρθωση χρονομέτρου. Παρόλ'αυτά η ακρίβεια του απολύτου εντοπισμού είναι χαμηλότερη από αυτή του σχετικού. Η ακρίβεια κυμαίνεται σε μερικές δεκάδες μέτρα σε πραγματικό χρόνο.

Στον απόλυτο στατικό εντοπισμό θέσης, επειδή παίρνουμε παρατηρήσεις από διάφορες εποχές, η ακρίβεια των συντεταγμένων είναι καλύτερη και φτάνει από 1-5m.



Σχήμα 2.5:Απόλυτος Εντοπισμός.(Πηγή: Το Παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα εντοπισμού θέσης Global Positioning System, GPS.Κωνσταντίνος Λακάκης)

Figure 2.5:Single Point Positioning (Source:The Global Positioning System,Konstantinos Lakakis)

2.3.1.1 PPP(Precise Point Positioning)

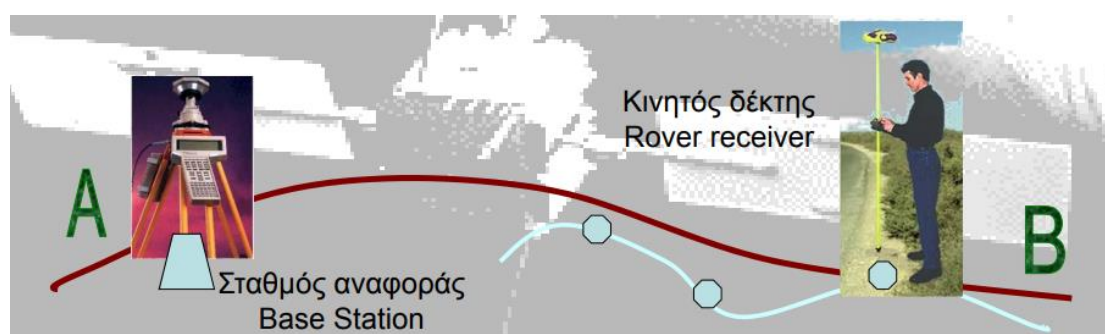
Μια μέθοδος του απολύτου εντοπισμού είναι ακόμη και η PPP που μπορεί να παρέχει ακρίβεια θέσης από μερικά εκατοστά μέχρι και χιλιοστά χρησιμοποιώντας GNSS receivers.Βασίζεται σε μεγάλης ακρίβειας θέσης των δορυφόρων και χρόνου τα οποία μπορούν να κατέβουν από την παγκόσμια GNSS υπηρεσία (IGS), ή μπορούν να παρακολουθούνται από διάφορες υπηρεσίες χρησιμοποιώντας ίντερνετ ή links δορυφόρων(εφημερίδες). Όταν χρησιμοποιούνται παρατηρήσεις φάσης και στις δυο φέρουσες συχνότητες υπάρχει μεγαλύτερη ακρίβεια.

Η καλύτερη δυνατή ακρίβεια για μερικά εκατοστά ,λαμβάνεται με τη χρησιμοποίηση μετρήσεων φάσης απο τους δέκτες διπλής συχνότητας.Οι δέκτες μονής συχνότητας μπορούν να έχουν ακρίβεια δεκατόμετρου,με μειωμένο κόστος του δέκτη,και φτάνουν την ακρίβεια της μονής συχνότητας πιο γρήγορα από οτι φτάνει οι δέκτες δυο συχνοτήτων την δικιά τους ακρίβεια.Οι δύο συχνοτήτων δέκτες για να φτάσουν την ακρίβεια εκατοστών κάνουν 20-40 λεπτά ,σε αντίθεση με την ακριβεία του δεκατόμετρου που δίνουν οι μονής συχνότητας δέκτες μέσα σε μερικά λεπτά.

2.3.2 Σχετικός εντοπισμός

Για μεγάλες ακρίβειες, όπως για γεωδαιτικές εφαρμογές χρησιμοποιείται ο σχετικός υπολογισμός, ανάμεσα σε δύο τουλάχιστον σημεία.

Ο σχετικός εντοπισμός, επομένως, αφορά τον καθορισμό των συντεταγμένων (θέση ενός σημείου) σε σχέση με κάποιον άλλον που συνηθώς είναι σταθερός και οι συντεταγμένες του είναι γνωστές (Base). Κοίνα σφάλματα που οφείλονται στους δορυφόρους όπως ιονόσφαιρας, ατμόσφαιρας μπορούν να εξαλειφθούν. Το διάνυσμα που προκύπτει ανάμεσα στους δύο δέκτες με τον σχετικό εντοπισμό είναι της τάξης του $\pm (5 - 10 \text{ mm} + 1 \text{ ppm})$.



Σχήμα 2.6: Σχετικός εντοπισμός. (Πηγή: Το Παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα εντοπισμού θέσης Global Positioning System, GPS. Κωνσταντίνος Λακάκης)

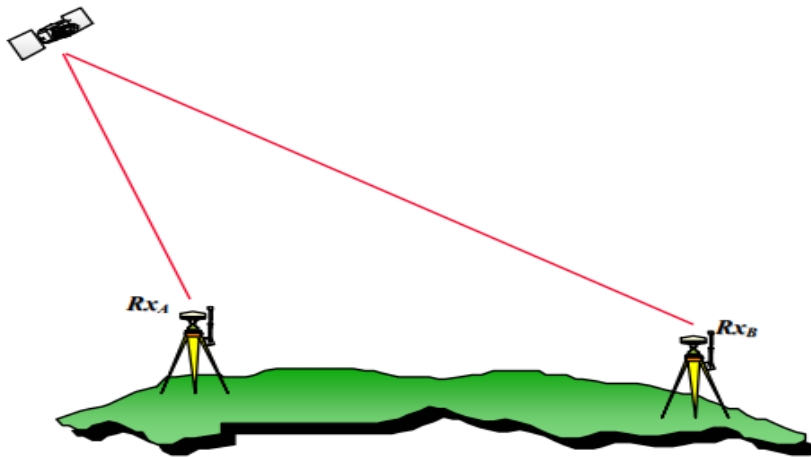
Figure 2.6: Relative Positioning (Source: The Global Positioning System, Konstantinos Lakakis)

Μετρήσεις φάσεων και μετρήσεις ψευδοαποστάσεων χρησιμοποιούνται στις μετρήσεις σχετικού εντοπισμού και πρέπει οι δύο δέκτες να παρακολουθούν τους ίδιους δορυφόρους.

Όσο μικρότερη βάση μεταξύ base-rover τόσο πιο πολύ τα σφάλματα θα ταιριάζουν και στους δύο δέκτες. Οι εξισώσεις παρατήρησης που δημιουργούνται είναι γραμμικοί συνδυασμοί απλών, διπλών και τριπλών φάσεων.

Απλές διαφορές μεταξύ δεκτών

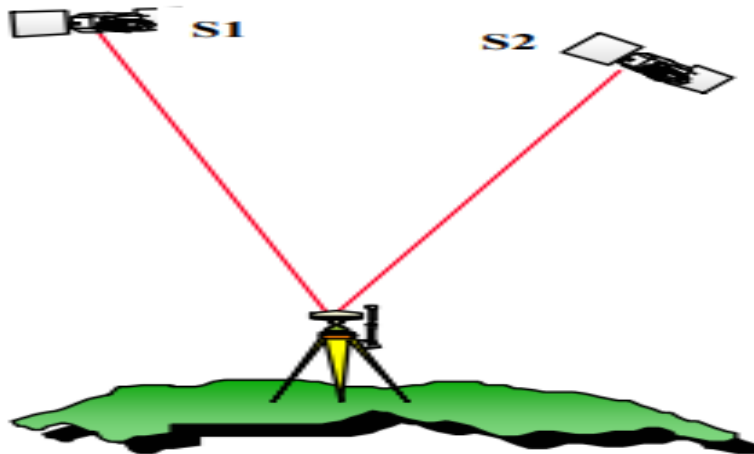
Δύο δέκτες παρατηρούν ταυτόχρονα τον ίδιο δορυφόρο. Είναι η διαφορά ανάμεσα στις φάσεις ή ψευδοαποστάσεις που μετρώνται ταυτόχρονα από δύο δέκτες για τον ίδιο δορυφόρο. Το σφάλμα του χρονόμετρου του δορυφόρου μειώνεται ή εξαλείφεται με τις απλές διαφορές μεταξύ δεκτών. Επίσης για μικρές βάσεις οι διαφορές αυτές μειώνουν τα τροχιακά και ατμοσφαιρικά σφάλματα.



Σχήμα 2.7:Απλές διαφορές. (Πηγή:eclass.teicrete.gr/πρόσθετα βοηθήματα)
 Figure 2.7:Single differences(Source:eclass.teicrete.gr/extras)

Απλές διαφορές μεταξύ δορυφόρων

Διαφορά φάσης ή ψευδοαπόστασης που γίνονται από τον ίδιο δέκτη προς δύο δορυφόρους.Οι διαφορές αυτές μειώνουν το σφάλμα χρονομέτρου του δέκτη.

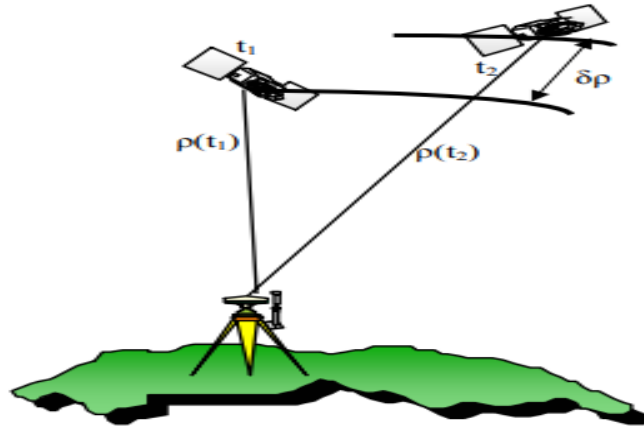


Σχήμα 2.8:Απλές διαφορές. (Πηγή:eclass.teicrete.gr/πρόσθετα βοηθήματα)
 Figure 2.8:Single differences(Source:eclass.teicrete.gr/extras)

Απλές διαφορές μεταξύ εποχών

Διαφορά φάσης ή ψευδοαπόστασης που γίνονται από τον ίδιο δέκτη προς τον ίδιο δορυφόρο σε διαφορετικές χρονικές στιγμές.Οι διαφορές αυτές(εποχών) εξαλείφουν

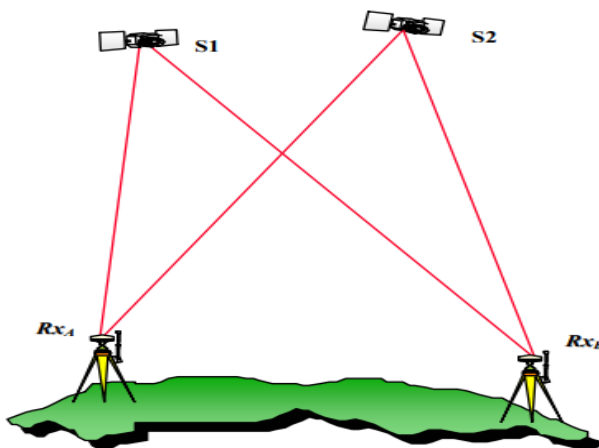
την ολίσθηση κύκλων και μειώνουν ατμοσφαιρικά και τροχιακά σφάλματα.Απαραίτητη προϋπόθεση είναι ο δορυφόρος να παρακολουθείται και να λαμβάνεται συνεχώς σήμα.



Σχήμα 2.9:Απλές διαφορές μεταξύ εποχών. (Πηγή:eclass.teicrete.gr/πρόσθετα βοηθήματα)
Figure 2.9:Single differences/Epoch(Source: eclass.teicrete.gr/extras)

Διπλές διαφορές

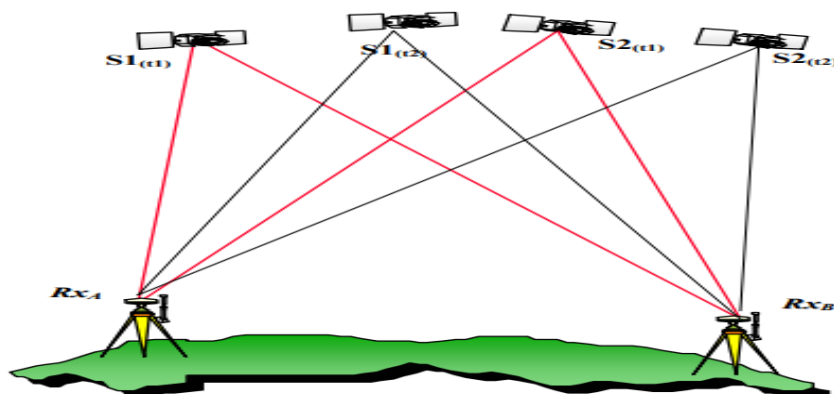
Είναι οι διαφορές μετρήσεων μεταξύ δεκτών ή μεταξύ δορυφόρων και μεταξύ δεκτών και δορυφόρων.Είναι δηλαδή οι διαφορές δυο απλών διαφορών μεταξύ δεκτών για δύο δορυφόρους.Οι διπλές διαφορές συμβάλλουν στην μείωση των σφαλμάτων των χρονομέτρων των δεκτών και των δορυφόρων.Οι διπλές διαφορές μεταξύ δεκτών διαδοχικών εποχών είναι απαλλαγμένες από την ασάφεια φάσης.



Σχήμα 2.10:Διπλές διαφορές. (Πηγή:eclass.teicrete.gr/πρόσθετα βοηθήματα)
Figure 2.10:Double differences(Source: eclass.teicrete.gr/extras)

Τριπλές διαφορές (δεκτών,δορυφόρων,εποχών)

Δημιουργούνται από τις απλές διαφορές μεταξύ δεκτών και δορυφόρων σε διαφορετικές χρονικές στιγμές.Είναι η διαφορά μεταξύ δυο διπλών διαφορών.Χρήσιμες για την ανάκτηση απολεσθέντων κύκλων φάσης(εύρεση κύκλων ολίσθησης) και για υπολογισμό τροχιών των δορυφόρων.



Σχήμα 2.11:Τριπλές διαφορές. (Πηγή:eclass.teicrete.gr/πρόσθετα βοηθήματα)

Figure 2.11:Triple differences(Source:eclass.teicrete.gr/extras)

Συμπεράσματα

Σε περιπτώσεις ψευδοαποστάσεων δεν υπάρχει διαφορά είτε χρησιμοποιήσουμε τριπλές είτε διπλές διαφορές.Αλλά στις μετρήσεις φάσης απαλείφεται η ολίσθηση κύκλων.

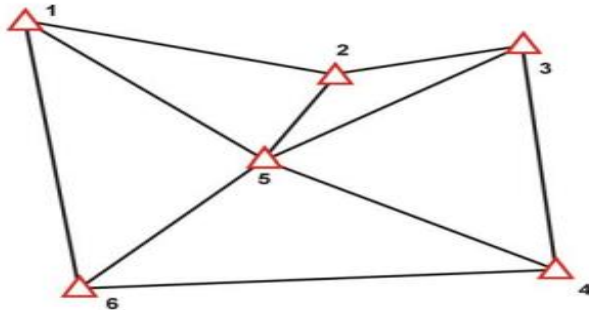
Στις τριπλές διαφορές μειώνονται οι παρατηρήσεις και έτσι έχουμε πιο γρήγορη συνόρθωση.(Πίνακας σχεδιασμού A των εξισώσεων παρατήρησης έχει λιγότερα στοιχεία)

2.3.2.1 Τεχνικές σχετικού εντοπισμού θέσης

- Στατικός Εντοπισμός(static)

Χρησιμοποιείται για δημιουργία τριγωνομετρικών δικτύων,γεωδυναμική.Χρηζει υψηλής ακρίβειας.Δύο δέκτες μετρούν ταυτόχρονα χωρίς να μετακινηθούν μέχρι το τέλος των μετρήσεων.Για δέκτες μιας συχνότητας θα πρέπει να είναι σταθεροί για τουλάχιστον 20 λεπτά για αποστάσεις μέχρι 5 χιλιόμετρα.Για αποστάσεις από 5 μέχρι 15 χιλιόμετρα ο δέκτης είναι καλό να παραμένει για τουλάχιστον μια ώρα σταθερός.Ρυθμός καταγραφής παρατηρήσεων θα πρέπει να είναι απο 10-20 sec.Η γωνία αποκοπής ορίζεται στις 15 μοίρες.Για μεγαλύτερες ακρίβειες φτιάχνουμε κλειστά γεωμετρικά σχήματα για να υπάρχει έλεγχος των σφαλμάτων των μετρήσεων.Για κάθε ομάδα μετρήσεων θα πρέπει να υπάρχουν τουλάχιστον δύο

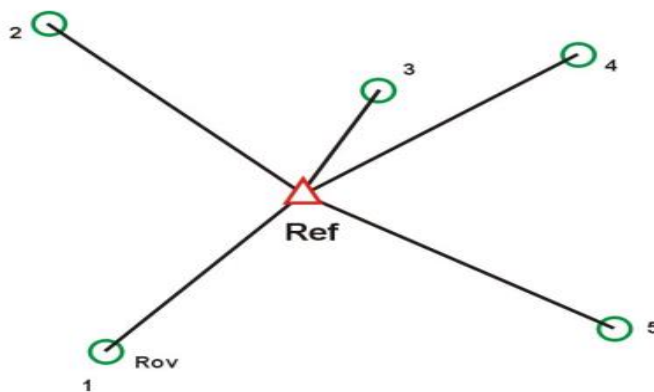
γνωστά σημεία(το ένα θα είναι σημείο αναφοράς για την επίλυση του μετασχηματισμού ομοιότητας).Οι ακρίβειες με αυτή την μέθοδο είναι της τάξης $1-2\text{cm}\pm 1\text{ppm}$ της απόστασης μεταξύ των σημείων.Πρόκειται για εφαρμογές που χρειάζονται υψηλή ακρίβεια στις συντεταγμένες.



Σχήμα 2.12:Στατικός εντοπισμός (Πηγή:eclass.teicrete.gr/πρόσθετα βοηθήματα)
Figure 2.12:Static Positioning (Source:eclass.teicrete.gr/extras)

- Γρήγορος στατικός εντοπισμός(fast static)

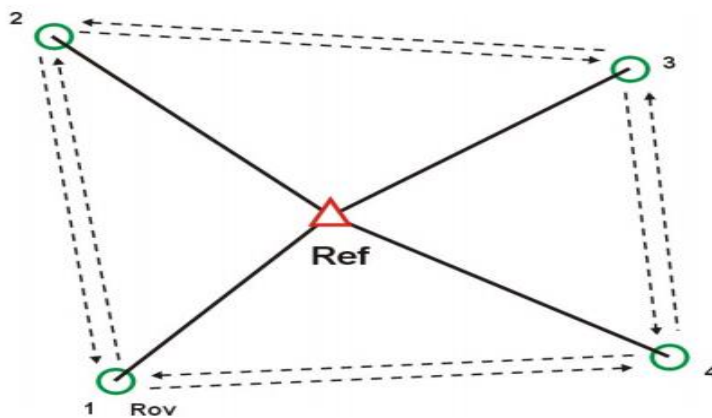
Στην ίδια φιλοσοφία με τον στατικό εντοπισμό.Για τριγωνομετρικά δίκτυα και στάσεις αποτύπωσης.Χρησιμοποιεί συχνότητες L1/L2.Χρειάζονται τουλάχιστον 4 δορυφόροι και για τους δύο δέκτες.Ο ένας δέκτης μένει σταθερός στο σημείο αναφοράς και ο άλλος κινείται στα άγνωστα σημεία και μένει σε αυτά από 5 μέχρι 20 λεπτά ανάλογα με το μήκος βάσης 5-20 χιλιόμετρα.Οι δέκτες πρέπει να είναι διπλής συχνότητας και με δυνατότητα μέτρησης κωδικών.Η ακρίβεια είναι της τάξης του εκατοστού.Χρησιμοποιείται για λήψη φωτοσταθερών,πολυγωνομετρία κ.α



Σχήμα 2.13:Γρήγορος Στατικός εντοπισμός (Πηγή:eclass.teicrete.gr/πρόσθετα βοηθήματα)
Figure 2.13:FastStatic Positioning (Source:eclass.teicrete.gr/extras)

- Ψευδοκινηματικός εντοπισμός (pseudokinematic)

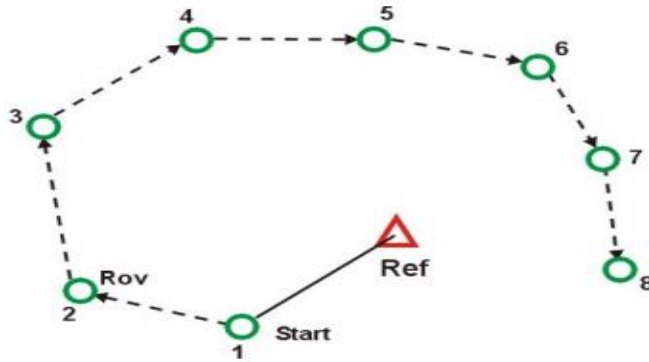
Είναι μια στατική μέθοδος και στηρίζεται στην φιλοσοφία ότι ο κινούμενος δέκτης θα πρέπει να περάσει και να στηθεί στα άγνωστα σημεία δύο φορές. Μεταξύ των επισκέψεων στα σημεία θα πρέπει να έχουν μεσολαβήσει 1-2 ώρες για να έχει προλάβει να αλλάξει η γεωμετρία των δορυφόρων έτσι ώστε να λυθεί η ασάφεια φάσης. Μετράει ο κινούμενος δέκτης γύρω στα 5 λεπτά και επαναλαμβάνει την διαδικασία μετά από την ώρα που αναφέρθηκε. Η ακρίβεια είναι της τάξης του εκατοστού με δέκτες διπλής ταχύτητας.



Σχήμα 2.14: Ψευδοκινηματικός εντοπισμός (Πηγή: [eclass.teicrete.gr/πρόσθετα βοηθήματα](http://eclass.teicrete.gr/πρόσθετα_βοηθήματα))
 Figure 2.14: Pseudokinematic Positioning (Source: eclass.teicrete.gr/extras)

- Stop and go

Είναι μια κινηματική μέθοδος επειδή ο δέκτης συνεχίζει να ακολουθεί τους δορυφόρους ενώ είναι σε κίνηση. Ο ένας δέκτης μένει σε ένα σταθερό σημείο (σταθμός αναφοράς) και ο άλλος αφού μένει λίγα λεπτά σε ένα σημείο σταθερός για την επίλυση της ασάφειας φάσης κινείται στα επόμενα σημεία. Το πρόβλημα της ασάφειας μπορεί να λυθεί και αλλάζοντας τις κεραίες σταθερού και κινητού δέκτη. Ο χρόνος παραμονής του κινητού δέκτη σε κάθε σημείο είναι 10-30 sec. Οι παρατηρήσεις εδώ γίνονται ανα 5 sec. Χρησιμοποιείται σε ανοιχτές περιοχές όπου υπάρχει καλή ορατότητα. Είναι γρήγορη και οικονομική τεχνική. Αν το σήμα χαθεί τότε θα πρέπει να ξαναλυθεί η ασάφεια φάσης. Ακρίβεια αυτής της διαδικασίας είναι της τάξης του εκατοστού (1-3cm). Εφαρμογές: Προμελέτες οδοποιίας, υδραυλικά κ.α.



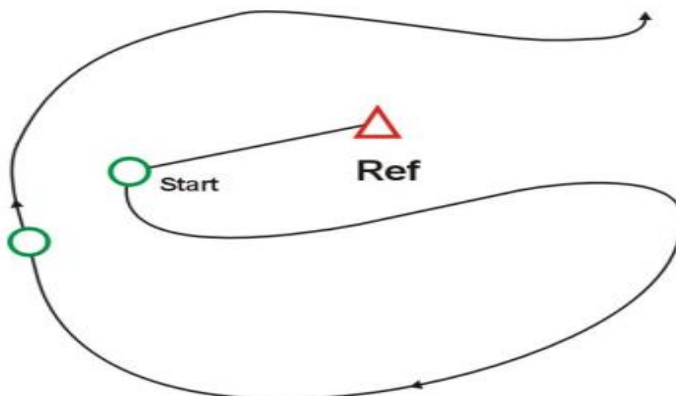
Σχήμα 2.15: Stop and go (Πηγή: [eclass.teicrete.gr/πρόσθετα βοηθήματα](http://eclass.teicrete.gr/πρόσθετα_βοηθήματα))

Figure 2.15: Stop and go (Source: eclass.teicrete.gr/extras)

- Κινηματικός εντοπισμός (kinematic)

Με κινηματικό εντοπισμό υπολογίζουμε τροχιές οχημάτων (αεροπλάνα, πλοία).

Αποτυπώνονται σειρές από σημεία. Ο ένας δέκτης μένει σταθερός (σταθμός αναφοράς) και ο άλλος μετακινείται. Καταγράφει την θέση συνεχώς με το βήμα που του δόθηκε (από 1 sec και πάνω). Όπως και στα προηγούμενα χρειάζεται στην αρχή ένας χρόνος 10-15 min έτσι ώστε να επιλυθούν οι ασάφειες φάσης. Προσδιορίζονται οι θέσεις με την παραδοχή ότι δεν υπάρχει απώλεια σήματος. Αν χαθεί το σήμα πρέπει πάλι να επιλυθεί η ασάφεια φάσης. Οι ακρίβειες είναι της τάξης του 1-10 ppm και τάξης 1m από μετρήσεις ψευδοαποστάσεων ανάλογα με τον δέκτη που χρησιμοποιήθηκε.



Σχήμα 2.16: Κινηματικός εντοπισμός (Πηγή: [eclass.teicrete.gr/πρόσθετα βοηθήματα](http://eclass.teicrete.gr/πρόσθετα_βοηθήματα))

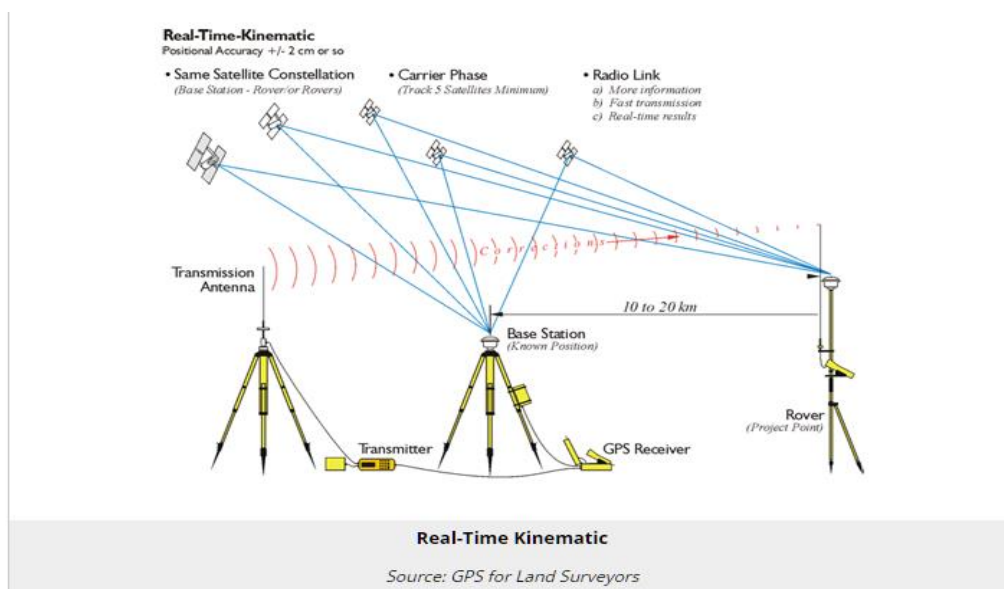
Figure 2.16: Kinematic Positioning (Source: eclass.teicrete.gr/extras)

Σχετικός κινηματικός εντοπισμός RTK (Real time kinematic)

Ο real time kinematic εντοπισμός χρησιμοποιείται σε αρκετές εφαρμογές πλοήγησης. Πρόκειται για παρατηρήσεις φάσης και αφορά δυο δέκτες. Ο ένας σταθερός σταθμός αναφοράς με γνωστές γεωδαιτικές συντεταγμένες (base) και ο

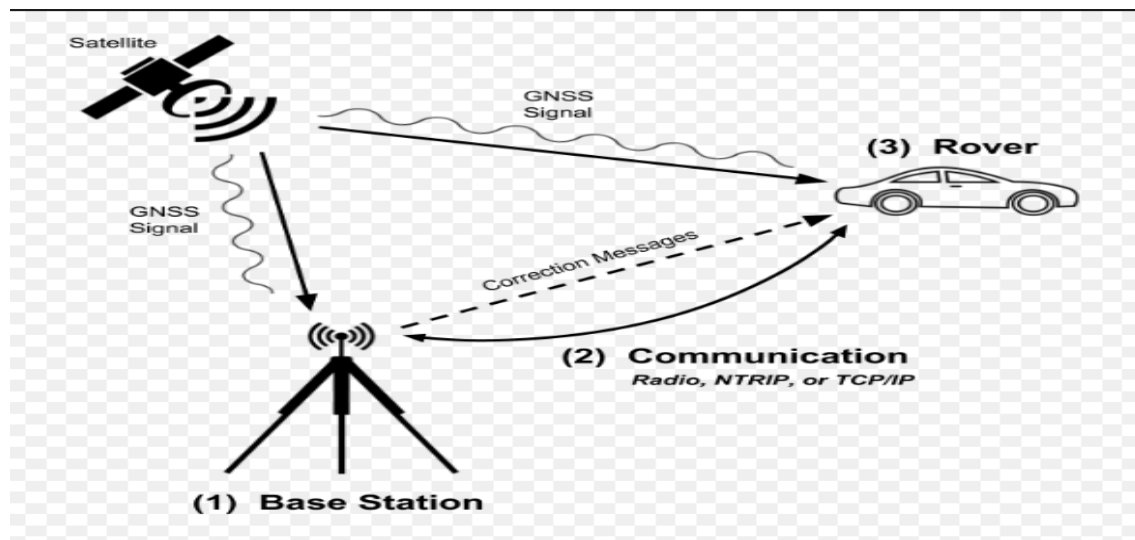
άλλος κινούμενος με σκοπό την εύρεση συντεγμένων του δεύτερου και την εξαγωγή τροχιάς. Για την λειτουργία της μεθόδου απαιτείται επικοινωνία μεταξύ των δεκτών. Αυτό γίνεται είτε με ραδιοεπικοινωνία είτε μέσω ίντερνετ. Ο κινητός δέκτης λαμβάνει συνεχώς διορθώσεις από την βάση (σταθμός αναφοράς) και τις χρησιμοποιεί για να λύσει τις εν κινήσει ασάφειες φάσης του. Η ακρίβεια είναι της τάξης του εκατοστού. Ο σχετικός εντοπισμός με παρατηρήσεις ψευδοαποστάσεων σε real-time ονομάζεται DGPS. Η ακρίβεια εδώ κυμαίνεται από μερικά εκατοστά έως κάποια μέτρα.

Κάποιες φορές όμως οι αποστάσεις μεταξύ του κινούμενου δέκτη και του σταθερού δέκτη (base) είναι αρκετά μεγάλες με αποτέλεσμα να μην υπάρχει συσχέτιση μεταξύ σφαλμάτων. Έτσι μετά την επεξεργασία των μετρήσεων δεν θα μπορέσουν αναιρεθούν τα σφάλματα αφού ο κάθε δέκτης για έχει διαφορετικά. Έτσι δημιουργούνται μόνιμοι σταθμοί αναφοράς για την χρήση του RTK εντοπισμού θέσης.



Σχήμα 2.17: RTK εντοπισμός (Πηγή: GPS for Land Surveyors)

Figure 2.17: RTK (Source: GPS for Land Surveyors)

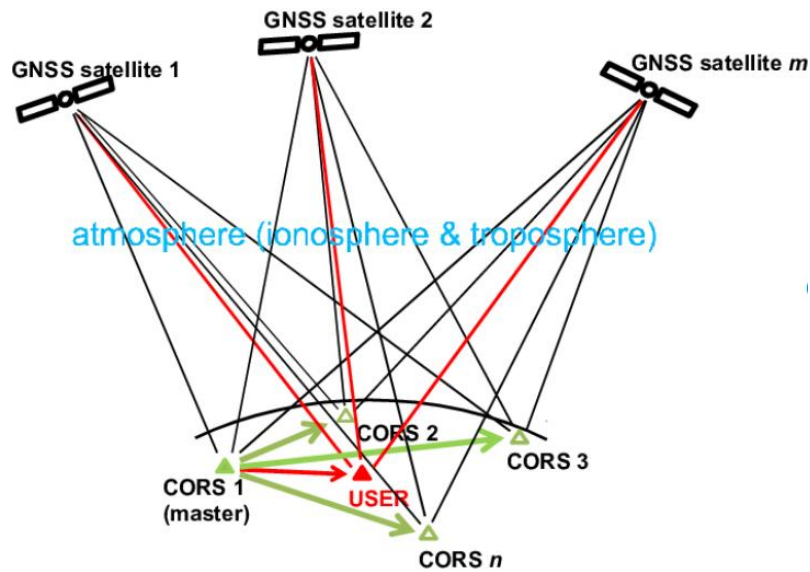


Σχήμα 2.18 :RTK εφαρμογή με κινούμενο δέκτη το αυτοκίνητο.(Πηγή:Inertialsense.com)

Figure 2.18:RTK with rover a vehicle(Source:Inertialsense.com)

Δίκτυο CORS

Είναι δίκτυο που αποτελείται από πολλούς εγκατεστημένους σταθμούς σε διάφορες περιοχές του κόσμου(Αμερική,Ευρώπη,Αυστραλία,Ιαπωνία).Περιλαμβάνει κώδικες και φάσεις φέροντος κύματος για τον προσδιορισμό θέσης(X,Y,Z),για τον καιρό κα.Η ακρίβεια του δικτύου αυτή οριζοντιογραφικά και υψομετρικά είναι στα μερικά εκατοστά.Όταν ο κινούμενος δέκτης χαθεί από τον πρώτο μόνιμο σταθμό,πηγαίνει στον αμέσως κοντινότερο (δίκτυο CORS) και έτσι συνεχίζεται ο RTK εντοπισμός χωρίς να χαθεί στο σήμα και έτσι λαμβάνει τις διορθώσεις του σταθμού αναφοράς (base).Το δίκτυο αυτό παρέχει δεδομένα σε πραγματικό χρόνο και έχει εξοπλισμό(γεωδαιτικούς σταθμούς αναφοράς) υψηλής ακρίβειας.Όλα τα δεδομένα παρέχονται έναντι κάποιου χρηματικού ποσού που πρέπει να καταβάλει ο χρήστης.



Σχήμα 2.19:Δίκτυο CORS.(Πηγή:gnss.curtin.edu.au)
 Figure 2.19:CORS(Source: gnss.curtin.edu.au)

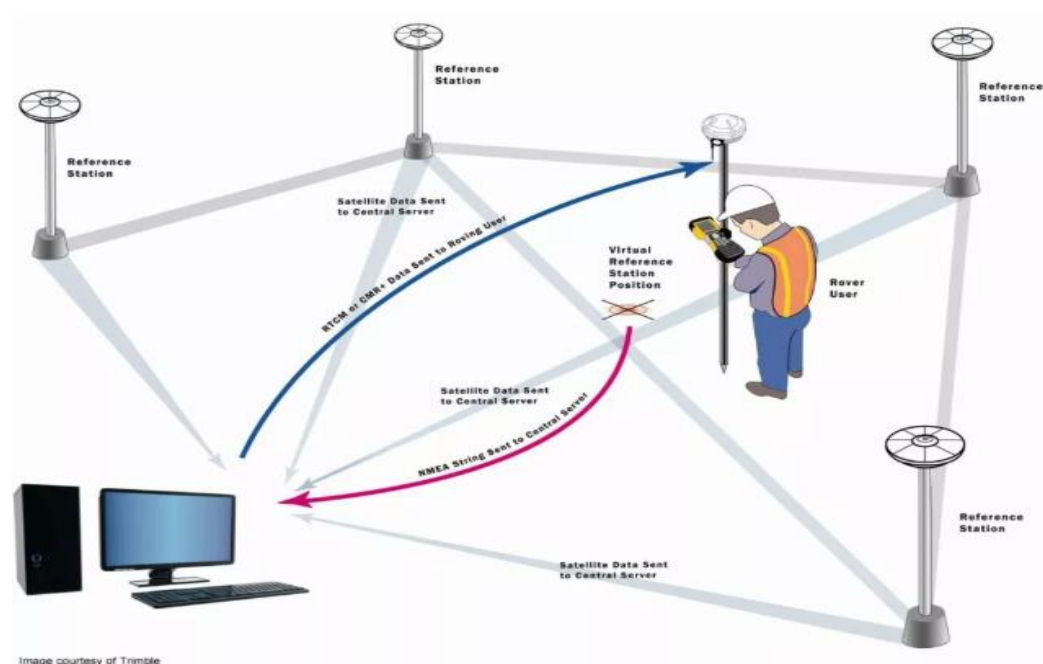
Δίκτυο IGS

Είναι δίκτυο που αποτελείται από πάνω από 300 σταθμούς GPS(διπλής συχνότητας).Σκοπός του δικτύου αυτού είναι να έχει ο χρήστης στην διάθεση του δεδομένα και να μπορεί να βγάξει αξιόλογα αποτελέσματα όπως μέσα από τις ακριβείς εφημερίδες,τις παραμέτρους περιστροφής της Γης,τα διανύσματα ταχύτητας παρακολούθησης.Επισης να υπάρχουν πληροφορίες για χρονικές παραμέτρους των δεκτών στους σταθμούς παρακολούθησης,να υπάρχουν ιονοσφαιρικοί χάρτες,και εκτιμήσεις για την ζενίθια τροποσφαιρική καθυστέρηση.

Δίκτυο VRS(Virtual Reference Stations)

Είναι οι εικονικοί σταθμοί αναφοράς.Πρόκειται για ένα πλασματικό σταθμό GPS και έχει την φιλοσοφία πραγματικού δέκτη GPS.Αναφέρεται σε σταθμούς(μόνιμους) GPS με αποστάσεις που δεν ξεπερνούν τα 50-70km.Η φιλοσοφία του δικτύου αυτού είναι ότι παρεμβάλλει τα δεδομένα ενός πλήθους σταθμών αναφοράς για να εξάγει τα διορθωμένα δεδομένα για τους εν κινήσει δέκτες.Με αυτό τον τρόπο μειώνονται σημαντικά τα συστηματικά σφάλματα.Έτσι η απόσταση base-rover μπορεί να αυξηθεί

χωρίς να έχουμε μεγαλύτερα σφάλματα. Ο χρήστης όντας κάποια απόσταση μακριά από τον σταθμό αναφοράς επικοινωνεί με το υπολογιστικό κέντρο μέσω κινητού τηλεφώνου ή radio modems και έτσι αποκτά την προσεγγιστική θέση την οποία θα στείλει στο κέντρο, ένας εικονικός σταθμός που "βρίσκεται" λίγο πιο μακριά από το κέντρο λήψης σήματος. Έτσι εφαρμόζοντας την RTK μέθοδο ο σταθερός δέκτης υλοποιείται από τον εικονικό σταθμό αναφοράς και υπάρχει συνεχώς ενημέρωση για τα σφάλματα των παρατηρήσεων και στέλνει τις διορθώσεις. Η επικοινωνία της προσεγγιστικής θέσης του εν κινήσει δέκτη γίνεται μέσω μηνυμάτων NMEA. Τα τελικά αποτελέσματα για τον RTK εντοπισμό με αυτό το δίκτυο είναι παρατηρήσεις σε μορφή αρχείων RINEX (GPS Receiver Independent EXchange format) για εφαρμογές μετεπεξεργασίας και μορφή διορθώσεων RTCM (Radio Technical Commission for Maritime Services) για εφαρμογές RTK ή DGPS.



Σχήμα 2.20: Δίκτυο VRS. (Πηγή: GISResources)

Figure 2.20: VRS (Source: GISResources)

Τεχνική MAC

Το δίκτυο στέλνει στον χρήστη διορθώσεις ενός κύριου σταθμού αναφοράς καθώς και διαφορές διορθώσεων γειτονικών σταθμών αναφοράς. Ο χρήστης λαμβάνει όλη την πρωτογενή πληροφορία σχετικά με τα σφάλματα. Αυτό του δίνει την δυνατότητα

να εφαρμόσει δικούς του αλγορίθμους προκειμένου να βελτιώσει την ακρίβεια των παρατηρήσεών του. Εφαρμόζεται μόνο σε εργασίες πραγματικού χρόνου.

2.3.3 Διαφορικός Εντοπισμός

Είναι ο σχετικός εντοπισμός από μετρήσεις ψευδοαποστάσεων σε πραγματικό χρόνο, έχοντας τις διορθώσεις από τους σταθμούς ελέγχου των δορυφόρων. Αυτό το ονομάζουμε διαφορικό GPS (DGPS).



Σχήμα 2.21:DGPS. Συστήματα GNSS Τρέχουσα κατάσταση - Τεχνολογικές Τάσεις – Εξελίξεις. (Πηγή:Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΟΓΛΟΥ, ΣΑΤΜ- ΕΜΠ, ΤΕΠΑΚ)

Figure 2.21:DGPS, GNSS systems, Current situation, technological trends. (Source: D.Delikaraoglou, NTUA)

Το DGPS χρησιμοποιείται για ναυσιπλοΐα, σε ραδιοφάρους, κατά την είσοδο σε λιμάνια. Η ακρίβεια του DGPS είναι από 1-1.5m με συνεχή βελτίωση στο σύστημα με το πέρασμα του χρόνου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΔΡΑΝΕΙΑΚΟΥ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ

3.1 Λειτουργία συστημάτων

Τα αδρανειακά συστήματα αποτελούν αυτόνομες συσκευές που παρέχουν πληροφορίες θέσης, ταχύτητας και προσανατολισμού ενός κινούμενου σώματος.

Τα συστήματα αυτά διαθέτουν επιταχυνσιόμετρα και γυροσκόπια τα οποία μελετάνε την κίνηση του σώματος, βασιζόμενα στον 2^ο Νόμο του Νεύτωνα.

Δηλαδή έχοντας την επιτάχυνση ενός σώματος

$$\mathbf{a} = \frac{\mathbf{F}}{m} \quad (3.1)$$

Ολοκληρώνουμε μια φορά για την ταχύτητα ως προς τον χρόνο και μια δεύτερη για την θέση του σώματος και προκύπτουν οι παρακάτω τύποι:

$$\mathbf{v}(t) = \int_{t_0}^t \mathbf{a}(t) dt + \mathbf{v}(t_0)$$

και

$$\mathbf{x}(t) = \int_{t_0}^t \mathbf{v}(t) dt + \mathbf{x}(t_0) \quad (3.2)$$

Επιπρόσθετα με τα γυροσκόπια που έχουν τα αδρανειακά μέσω της στροφορμής και ολοκληρώνοντας την γωνιακή ταχύτητα προκύπτει ο προσανατολισμός του σώματος.

Για την επιτυχή ολοκλήρωση της διαδικασίας πρέπει στην αρχή να δωθούν οι αρχικές θέσεις, ταχύτητες, και προσανατολισμοί του σώματος.

Παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση του INS

Τα επιταχυνσιόμετρα υπολογίζουν την επιτάχυνση του σώματος μετρώντας τις δυνάμεις που ασκούνται σε αυτό λόγω της κίνησης. Καθώς το σώμα είναι ακίνητο εξακολουθείται να πέρνουν τιμές τα επιταχυνσιόμετρα λόγω του ότι ασκείται βαρυτική δύναμη στο σώμα παρόλο που είναι ακίνητο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το σώμα να δείχνει ότι είναι σε κίνηση παρόλο που είναι ακίνητο ή κάποιες φορές υποδεικνύει λανθασμένη επιτάχυνση. Αυτό οφείλεται στην έλξη των μαζών της Γης και στην περιστροφή της.

Ένας ακόμη παράγοντας είναι η δύναμη Coriolis. Είναι η δύναμη που ασκείται στο σώμα λόγω της κίνησής του σε σχέση με την Γη.

Επίσης πρέπει να ληφθεί υπόψη το γυροσκόπιο να αντιλαμβάνεται την περιστροφή της Γης σε σχέση με το αδρανειακό σύστημα αναφοράς αλλιώς θα υποδεικνύει αλλαγή προσανατολισμού.

3.2 Μέρη συστημάτων INS και αισθητήρες

3.2.1 Αισθητήρες αδρανειακών

Επιταχυνσιόμετρα

Τα επιταχυνσιόμετρα μετρούν τις δυνάμεις που ασκούνται σε ένα σώμα και καταλήγουν στον υπολογισμό της επιτάχυνσης. Ανάλογα με την εφαρμογή, το κόστος και την ακρίβεια που θέλουμε υπάρχει διαφορετικά είδη επιταχυνσιομέτρων. Κάποια από αυτά είναι τα πιεζοηλεκτρικά, με πυκνωτές κ.α

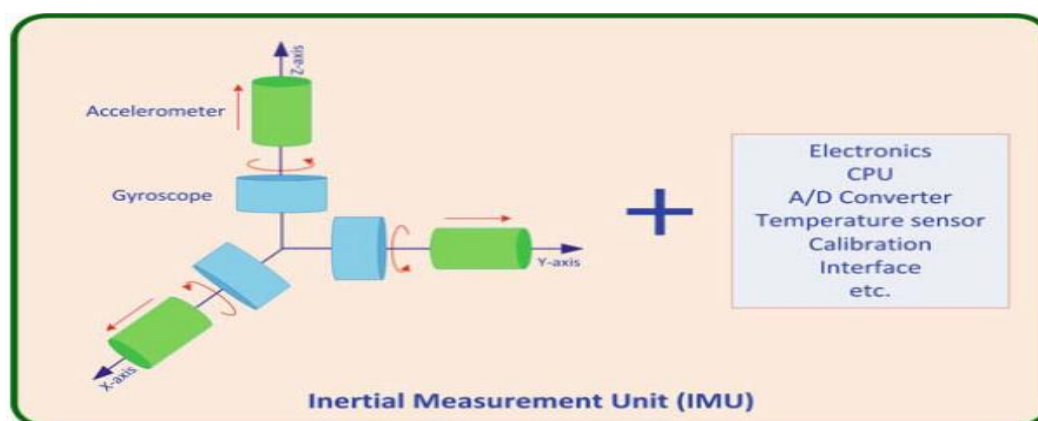
Γυροσκόπια

Τα γυροσκόπια μετρούν τις μεταβολές στην γωνιακή ταχύτητα που κάνει το σώμα ως προς το αδρανειακό σύστημα αναφοράς και έτσι το μετατρέπει σε προσανατολισμό. Ανάλογα με την εφαρμογή, το κόστος και την ακρίβεια που θέλουμε υπάρχει διαφορετικά είδη. Κάποια από αυτά είναι τα ηλεκτρομαγνητικά, με δακτύλιο Laser κ.α.

3.2.2 Μέρη αδρανειακών συστημάτων

Αδρανειακή μονάδα(IMU)

Χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των παραμέτρων της πλοήγησης σε τρισδιάστατο χώρο. Επίσης είναι υπεύθυνη για να εξασφαλίζει την καλή λειτουργία των αισθητήρων. Περιλαμβάνει τρία επιταχυνσιόμετρα και τρία γυροσκόπια. Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται πως τοποθετούνται.



Σχήμα 3.1: Αδρανειακή μονάδα (IMU) (Πηγή: Noureldin et al 2013)

Figure 3.1: Inertial Measurement Unit (IMU) (Source: Noureldin et al 2013)

Μονάδα προεπεξεργασίας

Αυτή η μονάδα έχει στόχο να μειώσει τον θόρυβο των μετρήσεων μέσα από κάποιου είδους φιλτραρίσματος και τις μεταβιβάση στην υπολογιστική μονάδα.

Υπολογιστική μονάδα

Εξάγει την θέση, την ταχύτητα και τον προσανατολισμό του εν κινήσει σώματος στο σύστημα αναφοράς που έχουμε ορίσει. Αυτό γίνεται με την χρήση κατάλληλων αλγορίθμων και υπολογισμών παραμέτρων που επηρεάζουν τις μετρήσεις, όπως η βαρύτητα.

3.3 Συστήματα αναφοράς

Inertial coordinate system

Χαρακτηρίζεται αυτό στο οποίο ισχύουν ο πρώτος και ο δεύτερος νόμος του Νεύτωνα.

Ο άξονας X βρίσκεται στον Ισημερινό και είναι προσανατολισμένος προς το σημείο τομής της Εκλειπτικής με το ισημερινό επίπεδο. Ο Z συμπίπτει με τον μέσο άξονα περιστροφής της Γης και ο Y συμπληρώνει στο δεξιόστροφο σύστημα αξόνων.

Ως κέντρο ορίζεται το κέντρο μάζας της Γης.

Earth-Centered Earth-Fixed Coordinate system (Γεωκεντρικό σύστημα αναφοράς)

Με αυτό το σύστημα αναφοράς πραγματοποιείται ο μετασχηματισμός των πρωτογενών μετρήσεων προς επεξεργασία.

Ο άξονας X διέρχεται από το σημείο τομής του ισημερινού επιπέδου με τον μεσημβρινό του.

Ο Z συμπίπτει με τον μέσο άξονα περιστροφής της Γης και ο Y συμπληρώνει στο δεξιόστροφο σύστημα αξόνων.

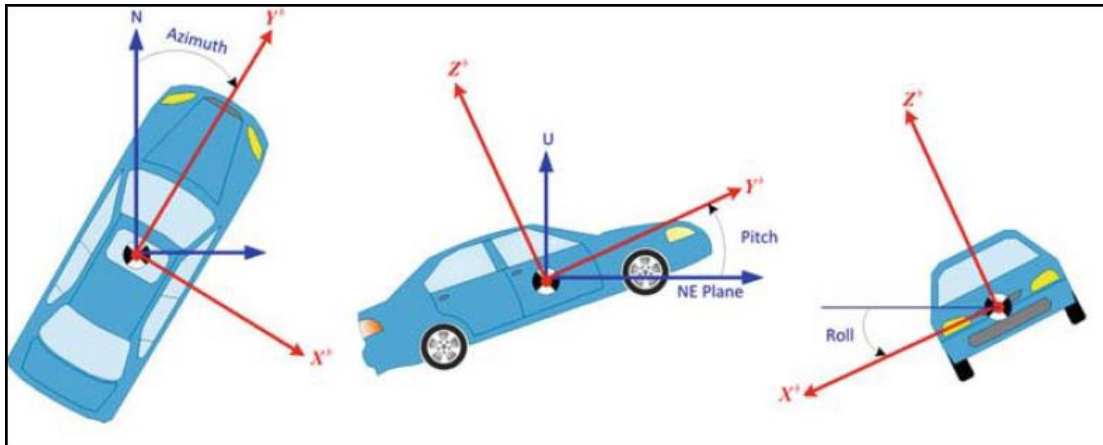
Ως κέντρο ορίζεται το κέντρο μάζας της Γης.

Local Level Coordinate System (Τοποκεντρικό σύστημα αναφοράς)

Το κέντρο του είναι ένα σημείο πάνω στη φυσική γήινη επιφάνεια, ο άξονας Y είναι προσανατολισμένος στον γεωδαιτικό Βορρά, ο άξονας Z συμπίπτει με την κάθετο στο ελλειψοειδές και ο άξονας X συμπληρώνει το δεξιόστροφο σύστημα αναφοράς.

Body Coordinate System (Σύστημα αναφοράς κινούμενου σώματος)

Το κέντρο του συστήματος είναι το κέντρο μάζας του σώματος, ο άξονας Y συμπίπτει με την διεύθυνση κίνησης του σώματος, ο άξονας X είναι κάθετος στη διεύθυνση κίνησης του σώματος και ο άξονας Z είναι προς τα πάνω και συμπληρώνει το δεξιόστροφο σύστημα.



Σχήμα 3.2: Γωνίες στροφής κατά τους άξονες Z,X,Y (Πηγή: Noureldin et al 2013)
 Figure 3.2: Azimuth, Pitch and Roll angles (Source: Noureldin et al 2013)

Στο παραπάνω σχήμα φαίνονται όλες οι γωνίες στροφής.

Γωνία στροφής ως προς τον Y άξονα:roll

Γωνία στροφής ως προς τον X άξονα:pitch

Γωνία στροφής ως προς τον Z άξονα:azimuth

3.4 Κατηγορίες Συστημάτων αδρανειακού εντοπισμού

Προσκολλημένα συστήματα(Strap-down INS)

Στα συστήματα αυτά οι αισθητήρες είναι τοποθετημένοι στο κινούμενο σώμα και ακολουθούν την κίνησή του.Έχουν μικρό κόστος και μέγεθος επομένως μπορούν να χρησιμοποιηθούν εύκολα σε διάφορες εργασίες.

Οι μετρήσεις αυτές αφορούν το σύστημα αναφοράς του σώματος με δυνατότητα αλλαγής συστήματος .

Συστήματα σταθερής πλατφόρμας

Οι αδρανειακοί αισθητήρες τοποθετούνται πάνω σε μια πλατφόρμα έτσι ώστε να μείνουν ανεπηρέαστοι από τις στροφές του σώματος στο οποίο έχουν τοποθετηθεί.Αυτό επιτυγχάνεται με την στροφή της πλατφόρμας.Τα συγκεκριμένα συστήματα παρέχουν μεγάλη ακρίβεια,είναι μεγάλου μεγέθους και κόστους και είναι πιο περιορισμένη η χρήση του.

3.5 Διαδικασία εκκίνησης

Πριν ξεκινήσει η διαδικασία για την λειτουργία του INS θα πρέπει να γίνουν μια σειρά από ενέργειες. Πρέπει να γίνει βαθμονόμηση των αισθητήρων από μετρήσεις επιτάχυνσης της βαρύτητας και της περιστροφής της γης όταν το σώμα είναι ακίνητο. Στόχος είναι να δώσει θέση, ταχύτητα και κατεύθυνση του κινούμενου σώματος.

Η λειτουργία χωρίζεται σε δυο τμήματα:

- Τμήμα Αρχικοποίησης

Γίνεται ο προσδιορισμός αρχικών συνθηκών λειτουργίας του συστήματος και γίνεται και ευθυγράμμιση αξόνων με το σύστημα πλοήγησης που χρησιμοποιείται. Δίνονται αρχικές θέσεις και ταχύτητας του σώματος που είναι απαραίτητο για την έναρξη. Οι αρχικές τιμές μπορούν είτε να εισαχθούν χειροκίνητα αν είναι γνωστές είτε να προσδιοριστούν με την χρήση γεωδαιτικού σταθμού (πχ. GPS).

Η ευθυγράμμιση των αξόνων σημαίνει ότι οι άξονες του συστήματος μέτρησης του αδρανειακού συστήματος πλοήγησης ευθυγραμμίζονται με το σύστημα αναφοράς στο οποίο αναπτύσσεται το πείραμα. Έτσι το σώμα μένει ακίνητο πριν την έναρξη του πειράματος και ο αρχικός προσανατολισμός στηρίζεται σε μετρήσεις επιτάχυνσης της βαρύτητας και της περιστροφής της Γης. Έτσι οριζοντιώνονται τα οριζόντια επιταχυνσιόμετρα και στη συνέχεια βρίσκεται η στροφή του οριζοντιωμένου πλέον συστήματος αναφοράς ως προς το γεωκεντρικό. Αυτή την δουλειά την κάνουν τα γυροσκόπια του αδρανειακού συστήματος πλοήγησης.

- Τμήμα Πλοήγησης

Τα γυροσκόπια εδώ χρησιμοποιούνται για να διατηρήσουν τον μετασχηματισμό των μετρήσεων των επιταχυνσιόμετρων στο σύστημα πλοήγησης. Οι μετρήσεις των επιταχυνσιόμετρων αφού διορθωθούν στο τμήμα αρχικοποίησης ολοκληρώνονται δύο φορές για να δώσουν ταχύτητα και θέση του σώματος.

3.6 Σφάλματα και παράγοντες που τα επηρεάζουν

Τα σφάλματα που επηρεάζουν την ακρίβεια θέσης, ταχύτητας, και κινηματικής συμπεριφοράς του κινητού χωρίζονται σε 4 κατηγορίες

- Σφάλματα αδρανειακών αισθητήρων
- Σφάλματα αρχικοποίησης
- Σφάλματα ευθυγράμμισης των αξόνων πλοήγησης με τους άξονες μετρήσεων
- Σφάλματα των μοντέλων βαρύτητας

1. Σφάλμα λανθασμένης εκτίμησης(bias)

Το σφάλμα αυτό ορίζεται σαν την τιμή μέτρησης που δίνει ο αισθητήρας στην θέση ισορροπίας.Κανονικά η τιμή αυτή θα ήταν το μηδέν αλλά λόγω αστοχιών στην βαθμονόμηση και κατασκευαστικά θα υπάρχει απόκλιση. Εκφράζεται σε mg για τα επιταχυνσιόμετρα και deg/s για τα γυροσκόπια.

2. Σφάλμα συντελεστή κλίμακας(scalefactor)

Αδυναμία του αισθητήρα να μετατρέψει την αρχική μέτρηση στην αντίστοιχη τιμή επιτάχυνσης ή γωνιακής περιστροφής ανα περίοδο λειτουργίας. Ένα γυροσκόπιο με σφάλμα κλίμακας 300 ppm έχει στις μετρήσεις του σφάλμα ίσο με 0.1 deg/rev.

3. Σφάλμα αξόνων μέτρησης(axis-misalignment)

Αν οι άξονες που είναι προσαρμοσμένοι οι αισθητήρες δεν είναι πλήρως ευθυγραμμισμένοι τότε εισάγεται σημαντικό σφάλμα λόγω της διαστάυρωσης των μεγεθών.Όσο μεγαλύτερη είναι η απόκλιση των αξόνων τόσο μεγαλύτερο είναι το σφάλμα.Παράδειγμα:Απόκλιση αξόνων με 0.1mrad από την κανονική θέση προκαλεί roll ίσο με 0.036 Deg για κάθε περιστροφή γύρω από τον άξονα.

4. Σφάλμα θορύβου(gyro random walk)

Πρόκειται για τύχαιο σφάλμα και διορθώνεται μόνο με στοχαστικά μοντέλα.Το σφάλμα αυτό εκφράζεται με deg/vhr.Είναι σημαντικό στη φάση της ευθυγράμμισης αφού εξαρτάται από τον χρόνο και μεγάλες τιμές αυξάνουν δραματικά τον απαιτούμενο χρόνο ευθυγράμμισης.

5. Σφάλματα αρχικοποίησης(initialization errors)

Είναι τα σφάλματα θέσης και ταχύτητας τα οποία εισέρχονται όταν αρχικοποιείται το σύστημα.Τα σφάλματα των αρχικών τιμών υπεισέρχονται σε όλη την διαδικασία και αυξάνουν την αβεβαιότητα προσδιορισμού σε περίπτωση που δεν γίνει επαναρχικοποίηση με χρήση εξωτερικών συστημάτων(GPS).

6. Σφάλματα ευθυγράμμισης (alignment errors)

Είναι τα σφάλματα που αφορούν την μη ευθυγράμμιση των αξόνων με το σύστημα πλοήγησης που χρησιμοποιείται. Διακρίνονται σε σφάλματα κατεύθυνσης, περιστροφής.

7. Σφάλματα μοντέλων βαρύτητας

Τα επιταχυνσιόμετρα δεν μπορούν να διαχωρίσουν την επιτάχυνση που δέχεται το σώμα λόγω της βαρύτητας. Έτσι χρησιμοποιούνται διάφορα μοντέλα για όσο το δυνατόν καλύτερο διαχωρισμό των επιταχύνσεων. Τα μοντέλα αυτά λόγω της πολυπλοκότητας τους απέχουν από το να είναι τέλεια με αποτέλεσμα να εισαγουν σφάλματα στον προσδιορισμό θέσης του σώματος. Για εργασίες μίκρης έκτασης όπου το βαρυτικό πεδίο είναι ομοιόμορφο θεωρούνται αμελητέα αλλά σε εργασίες με μεγάλη ακρίβεια με έντονες κλίσεις χρειάζεται ειδική αντιμετώπιση.

3.7 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα INS

Τα αδρανειακά συστήματα παρέχουν προσδιορισμό θέσης, ταχύτητας και προσανατολισμού του κινούμενου σώματος χωρίς να επηρεάζονται από παρεμβολές αφού δεν βασίζονται σε εξωτερικές πηγές δεδομένων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να έχουμε συνεχώς όλα τα δεδομένα που χρειάζονται για την τροχιά του κινούμενου σώματος.

Από την αλληλία τα αρκετά σφάλματα που αναφέρθηκαν και υπεισέρχονται στις μετρήσεις μας δίνουν ακριβή εντοπισμό για λίγο χρονικό διάστημα εάν δεν συνδυαστεί με κάποια εξωτερική πηγή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΚΑΙ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΕ

4.1 Σύστημα εντοπισμού NovAtel SPAN System

Για την διεξαγωγή των πειραμάτων χρησιμοποιήθηκε το SPAN της εταιρίας NovAtel. Η τεχνολογία SPAN παρέχει ακριβή τρόπο εντοπισμού της θέσης και σε δύσκολα περιβάλλοντα μετρήσεων που το GPS δίνει χαμηλότερης ακρίβειας λύση. Η τεχνολογία SPAN παρέχει συνεχώς πληροφορίες για την θέση και την συμπεριφορά κίνησης του οχήματος. Το SPAN περιέχει αδρανειακές μονάδες και δέκτες για τις παραπάνω χρήσεις. Με χρήση SPAN και GPS έχουμε ταχύτερο χρόνο επανάκτησης της ασάφειας φάσης στον RTK εντοπισμό. Χρησιμοποιήθηκε ο δέκτης NovAtel ProPak-V3 καθώς και το SPAN base το είχαμε σε γνωστό σημείο στην ταράτσα του κτηρίου Λαμπαδαρίου των τοπογράφων μηχανικών.

4.1.1 Αδρανειακή μονάδα

Η αδρανειακή μονάδα που χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις είναι η iIMU-FSAS της εταιρίας i-MAR. Περιέχει επιταχυνσιόμετρα εξισορρόπησης δυνάμεων και γυροσκόπια οπτικών ινών. Είναι υψηλής ποιότητας και έχει επιλογή να παίρνει δεδομένα από αισθητήρα οδομέτρου.



Σχήμα 4.1: Αδρανειακή Μονάδα (Πηγή: Φωτογραφία πεδίου)

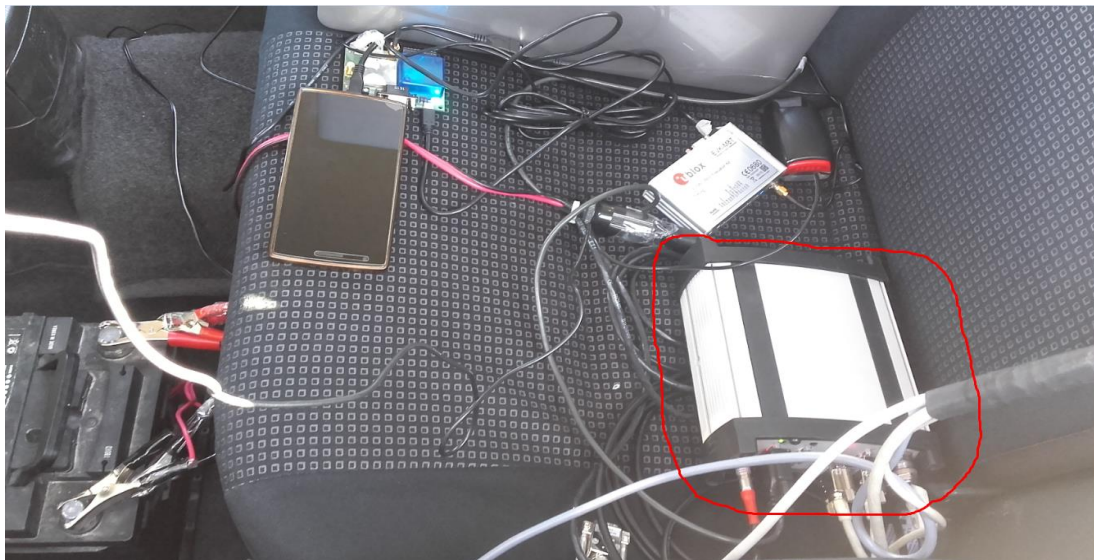
Figure 4.1: IMU (Source: Photograph of experiment)

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της μονάδας είναι:

Ο ρυθμός καταγραφής είναι στα 200Hz.Όσον αφορά τα γυροσκόπια που περιέχει το εύρος μέτρησης είναι ± 450 deg/s με αβεβαιότητα 0.75 deg/hr και σφάλμα κλίμακας 300 rpm.Για τα επιταχυνσιόμετρα το εύρος μέτρησης είναι ± 5 deg/s, η αβεβαιότητα 1.0 mg και σφάλμα κλίμακας 300rpm.Η IMU μονάδα καθοδηγείται από τον δέκτη ProPak-V3 της NovAtel ώστε όλες οι IMU μετρήσεις να είναι συγχρονισμένες με τις αντίστοιχες GNSS.

4.1.2 Σύστημα Δορυφορικού Εντοπισμού

Για τις μετρήσεις πεδίου χρησιμοποιήθηκε στο σύστημα SPAN ο δορυφορικός δέκτης ProPak-V3 με κεραία την NovAtel Pinwheel Antenna 702-GG μαζί με Antenna Magnetic Base. Και baseγια το σύστημα SPANμε κεραία την την NovAtel Pinwheel Antenna 702-GG.Ο δέκτης ProPak-V3 συνδέεται με την αδρανειακή μονάδα που αναφέρθηκε παραπάνω και δίνονται οι ρυθμίσεις που χρειάζονται για την όποια εφαρμογή.



Σχήμα 4.2 Δορυφορικός δέκτης ProPak-V3 (Πηγή: Φωτογραφία από πεδίο)
Figure 4.2: ProPak-V3 (Source:Photograph of experiment)



Σχήμα 4.3 Δορυφορικός δέκτης ProPak-V3 .(Πηγή:NovAtel)
 Figure 4.3: ProPak-V3 (Source:NovAtel)

Τεχνικά χαρακτηριστικά του δορυφορικού δέκτη

Είναι συμβατός ο δέκτης με GPS, GIONASS και SBAS. Ο ρυθμός καταγραφής φτάνει έως 50 Hz. Οι συχνότητες που χρησιμοποιείται στο GPS σύστημα είναι οι L1, L2, L2C, L5 και στο GIONASS σύστημα χρησιμοποιεί της L1, L2.

Ακρίβεια Μετρήσεων δορυφορικού δέκτη

Η οριζοντιογραφική ακρίβεια στην συχνότητα L1 είναι 1.5m(RMS) και στην L1/L2 είναι 1.2m (RMS).

Ακρίβειες για κάθε συχνότητα στον παρακάτω πίνακα.

	GPS	GLONASS
L1 C/A code	4 cm	15cm
L1 Carrier Phase	0.5 mm	1.5 mm
L2 P Code	8 cm	8 cm
L2 Carrier Phase	1.0 mm	1.5 mm
Χρόνος	20 ns	20 ns
Ταχύτητα	0.03 m/s	0.03 m/s

Πίνακας 4.1 Ακρίβειες συχνοτήτων

Table 4.1: Accuracy of frequencies

Όσον αφορά την κεραία που χρησιμοποιεί ο δέκτης είναι αυτή που αναφέρθηκε παραπάνω η NovAtel Pinwheel Antenna 702-GG. Είναι κεραία δύο συχνοτήτων συμβατή με GPS και GLONASS. Πλεονεκτήματα της κεραίας αυτής είναι ότι απορρίπτει τις πολυανακλάσεις και έχει σταθερότητα του κέντρου φάσης.



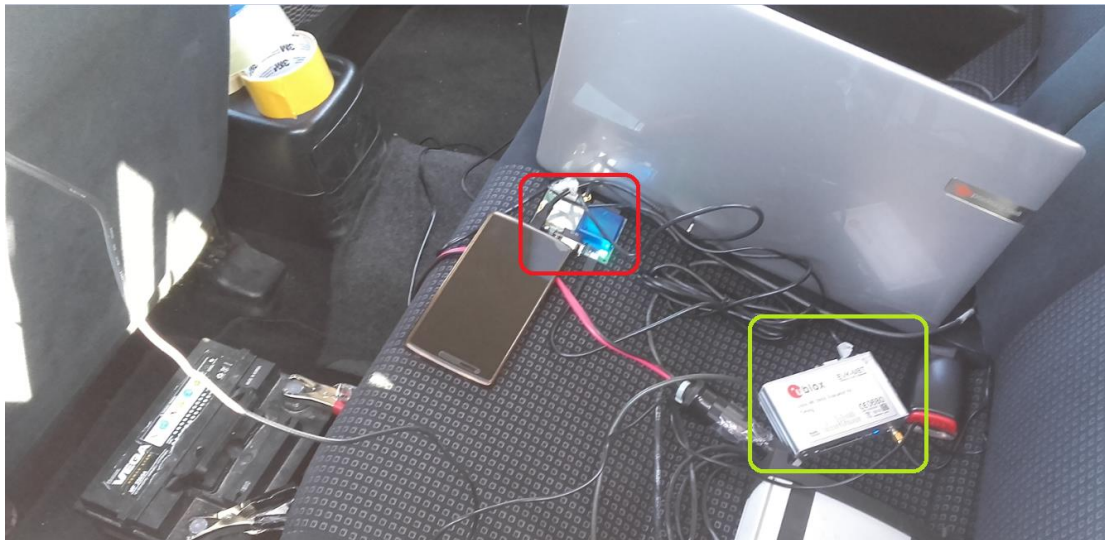
Σχήμα 4.4:Κεραία SPAN (Πηγή: Φωτογραφία από πεδίο)
Figure 4.4:Antenna SPAN (Source:Photograph of experiment)



Σχήμα 4.5:Κεραία NovAtel Pinwhell Antenna 702-GG (Πηγή: Φωτογραφία από πεδίο)
Figure 4.5: NovAtel Pinwhell Antenna 702-GG (Source:Photograph of experiment)

4.2 Δέκτης Δορυφορικού εντοπισμού u-blox NEOM8T, u-blox RTK(C94-M8P)

Για την εφαρμογή των πειραμάτων χρησιμοποιήθηκαν δυο διαφορετικοί δέκτες δορυφορικού εντοπισμού της ίδιας όμως εταιρίας. Οι δέκτες χαμηλού κόστους ήταν ο u-blox NEO M8T και u-blox RTK(C94-M8P). Εκτελούν οι δέκτες αυτοί μετρήσεις ψευδοαποστάσεων και φάσης σε μια συχνότητα και διαθέτουν υψηλής ποιότητας χρονόμετρο επομένως τους καθιστά πολύ καλή λύση για low cost εφαρμογές και με όχι τόσο μεγάλη ακρίβεια όπως έχουν οι γεωδαιτικοί δέκτες.



Σχήμα 4.6: Δέκτης u-blox C94-M8P (κόκκινο), δέκτης u-blox EVK M8T (μπλε) (Πηγή: Φωτογραφία από πεδίο)

Figure 4.6: u-blox C94-M8P (red), u-blox EVK M8T (blue) (Source: Photograph of experiment)



Σχήμα 4.7: Δέκτης u-blox C94-M8P (Πηγή: ublox)

Figure 4.7: u-blox C94-M8P (Source: ublox)

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των δύο διαφορετικών δεκτών που χρησιμοποιήθηκαν φαίνονται στον παρακάτω πίνακα με τις προδιαγραφές και ακρίβεις που έδωσε η u-blox.

Parameter	Specification			
Receiver type	72-channel u-blox M8 engine GPS L1C/A, QZSS L1C/A, SBAS L1C/A, GLONASS L1OF BeiDou B1 Galileo E1B/C ²			
GNSS	GPS & GLONASS	GPS & BeiDou	GPS	
Time-To-First-Fix ³	Cold start	26 s	27 s	29 s
	Aided cold start ⁴	2 s	3 ⁵	2 s
	Hot start	1.5 s	1.5 s	1.5 s
Sensitivity ⁶	Tracking & Navigation	-167 dBm	-165 dBm	-166 dBm
	Aided acquisition ⁷	-157 dBm	N/A ⁸	-157 dBm
	Reacquisition	-160 dBm	-160 dBm	-160 dBm
	Cold start	-148 dBm	-148 dBm	-148 dBm
	Hot start	-156 dBm	-156 dBm	-156 dBm
Horizontal position accuracy ⁹	Autonomous	2.5 m	2.5 m	2.5 m
	SBAS	2.0 m	2.0 m	2.0 m
Velocity accuracy ¹⁰		0.05 m/s	0.05 m/s	0.05 m/s
Heading accuracy ¹⁰		0.3 degrees	0.3 degrees	0.3 degrees
Max navigation update rate ¹¹		5 Hz	5 Hz	10 Hz
Time pulse frequency		0.25 Hz...10 MHz		
Time pulse accuracy	Clear sky	≤ 20 ns		
	Indoor	≤ 500 ns		
Operational limits ¹²	Dynamics	≤ 4 g		
	Altitude	50,000 m		
	Velocity	500 m/s		

Πίνακας4.2:Δέκτηςu-blox M8T(Πηγή: ublox)

Table4.2:u-blox M8T(Source:ublox)

Parameters	C94-M8P-1 for China	C94-M8P-2 for USA/Canada	C94-M8P-3 for Europe	C94-M8P-4 for Japan
Minimum Frequency	433.180 MHz	902.5 MHz	433.230 MHz	922.8 MHz
Maximum Frequency	434.730 MHz	928.0 MHz	434.730 MHz	923.2 MHz
Air Speed	32 kbps	32 kbps	48 kbps	48 kbps
Serial baud rate	19.2 kbps	19.2 kbps	19.2kbps	19.2 kbps
TX Power	11 dBm	20 dBm	11 dBm	8 dBm
LBT_RSSI	0	0	71	78
Number of Channels	10	50	7	3
ECC	0 (off)	0 (off)	0 (off)	0 (off)
OpResend	0 (off)	0 (off)	0 (off)	0 (off)
Duty Cycle	100 %	100 %	20 %	100 %
Window width	66	66	66	66
MAVLink	0	0	0	0

Πίνακας 4.3:Δέκτης u-blox C94-M8P (Πηγή: ublox)

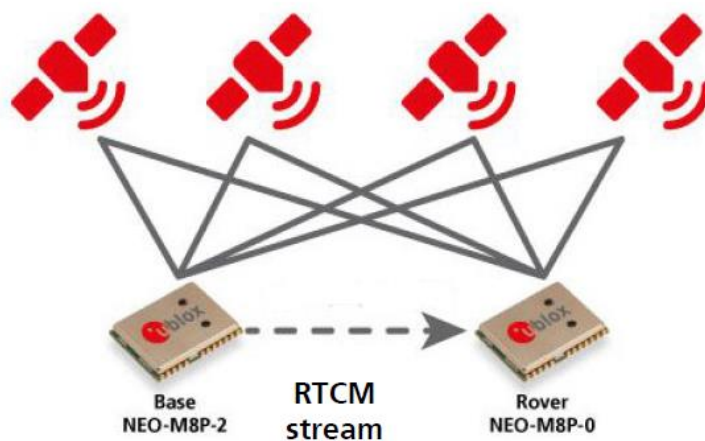
Table4.3:u-blox C94-M8P(Source:ublox)

Parameter	Specification
Interfaces	1 USB port for GNSS data and power supply
	1 RS232, for radio link configuration
	Connection pins for UART communication (e.g. C027), 3.3 V
SMA connector	External GNSS antenna and UHF antenna
Dimensions	75 mm x 55 mm
Weight	35 g
Power Supply	5 V via USB or externally powered by battery (5.05 mm pitch 2-pin, 3.7 V – 20 V) powered
	1 battery connector
Normal Operating temperature	-40 °C to +65 °C

Πίνακας 4.4: Δέκτης u-blox C94-M8P (Πηγή: ublox)

Table 4.4: u-blox C94-M8P (Source: ublox)

Επομένως η φιλοσοφία για την επικοινωνία των δορυφορικών δεκτών που αναφέρθηκαν παραπάνω φαίνεται στην παρακάτω φωτογραφία για την RTK μέθοδο που χρησιμοποιήθηκε για τα πειράματα αυτής της διπλωματικής.



Σχήμα 4.8: RTK διαδικασία μεταξύ low cost GNSS receivers (Πηγή: u-blox)

Figure 4.8: RTK process between low cost GNSS receivers (Source: ublox)

Οι κεραίες των δεκτών αυτών είναι οι ANN-MS που συνοδεύονται από τους δέκτες. Η βάση τους είναι μαγνήτης έτσι ώστε να μπορούν να τοποθετούνται πάνω σε οχήματα. Θερμοκρασίες που αντέχουν είναι από -40 °C έως 85 °C, με αρκετά μέτρα καλώδιο έτσι ώστε να μπορεί να τοποθετηθεί μακριά από τον δέκτη u-blox.

Parameter	Specification
Weight	≤ 105 g
Size	48 x 40 x13 mm
Cable	5m RG174 standard
Connectors	SMA, SMB, MCX, FAKRA
Mounting	Magnetic base
Housing color	Black

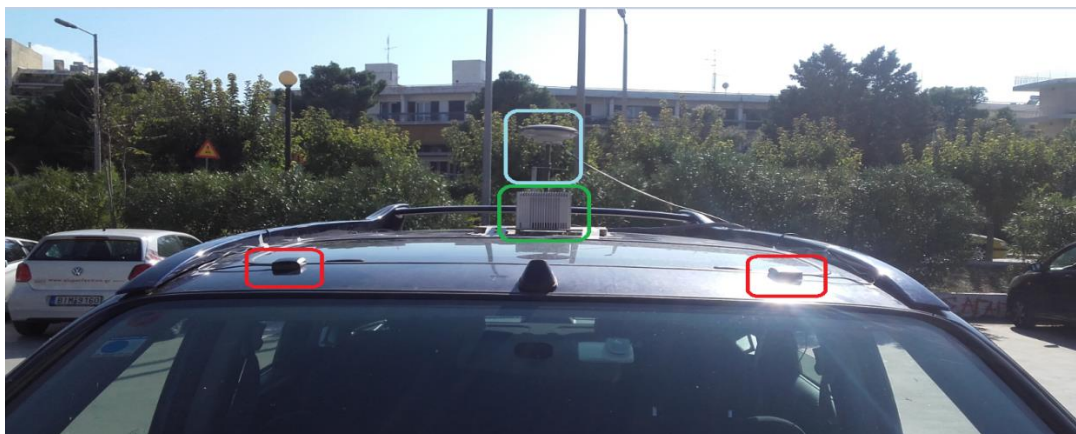
Πίνακας 4.5:Παράμετροι των κεραιών ANN-MS(Πηγή:ublox)
Table4.5:Antenna ANN-MS parameter(Source:ublox)



Σχήμα 4.9:Κεραία ANN-MS με τις διαστάσεις(Πηγή:u-blox)
Figure 4.9:Antenna ANN-MS(Source:ublox)

Συνοψίζοντας για όλους αυτούς του δέκτες,αδρανειακά συστήματα και κεραιές ήταν απαραίτητα προκειμένου να γίνουν οι μετρήσεις που θα αναλυθούν σε επόμενο κεφάλαιο και να βγουν κάποια συμπεράσματα.

Παρακάτω είναι η εικόνα από το πεδίο στην οροφή του αυτοκινήτου που μελετήθηκαν οι τροχίες.



Σχήμα 4.10:Όλες οι κεραιές(Πηγή:Φωτογραφία από πεδίο)
Figure 4.10:Antennas(Source:Photograph of experiment)

Σχολιασμός:Με κόκκινο περίγραμμα φαίνονται οι δύο κεραίες ANN-MS των δορυφορικών δεκτών χαμηλού κόστους της u-blox.Με μπλε περίγραμμα φαίνεται η κεραία NovAtel Pinwheel Antenna 702-GG που χρησιμοποιήθηκε στο σύστημα SPANη οποία συνδέεται με το αδρανειακό iIMU-FSAS που είναι με πράσινο περίγραμμα.

4.3 Σύστημα εντοπισμού Advanced Navigation SPATIAL

Το σύστημα εντοπισμού SPATIAL που χρησιμοποιήθηκε για την κίνηση του πεζού είναι ένα σύστημα πλοήγησης που δίνει πληροφορίες για την ταχύτητα και τον προσανατολισμό του πεζού (στην συγκεκριμένη διπλωματική).Περιέχει γυροσκόπια,μαγνητόμετρα και επιταχυνσιόμετρα.Το σύστημα SPATIAL συνδέεται με ηλεκτρονικό υπολογιστή (λάπτοπ) προκειμένου οι πιο πάνω πληροφορίες(ταχύτητα,προσανατολισμό και θέση του σώματος) να καταγράφονται.

Επίσης δέχεται διορθώσεις από σταθμούς αναφοράς με αποτέλεσμα να βελτιώνεται η ακρίβεια θέσης.Το σύστημα SPATIAL αποτελείται από το αδρανειακό κομμάτι και από το δορυφορικό.Το SPATIAL της εταιρίας advanced navigation χρησιμοποιείται για τοπογραφικές μετρήσεις,σε πλοία,σε ρομποτικές εφαρμογές,σε tracking και παρακολούθηση οχημάτων.

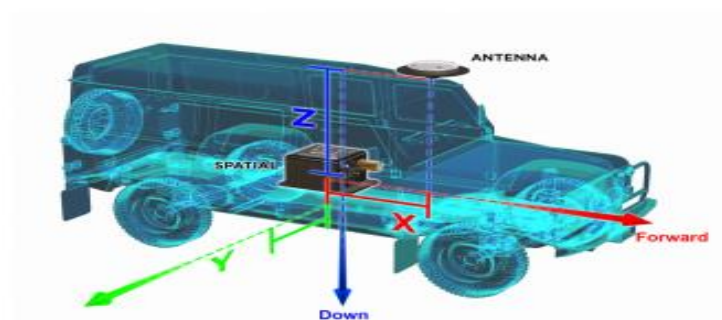
Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται το SPATIAL που χρησιμοποιήθηκε στις μετρήσεις.



Σχήμα 4.11: Advanced Navigation SPATIAL(Πηγή:Advanced Navigation)
Figure 4.11: Advanced Navigation SPATIAL(Source:Advanced Navigation)



Σχήμα 4.12: Σύστημα SPATIAL(Πηγή:Advanced Navigation)
Figure 4.12: SPATIAL system(Source:Advanced Navigation)



Σχήμα 4.13: Σύστημα SPATIAL(Πηγή:Advanced Navigation)
Figure 4.13: SPATIAL system(Source:Advanced Navigation)

Παρακάτω φαίνονται οι ακρίβειες και ορισμένες παραπάνω πληροφορίες σχετικά με την πλοήγηση που παρέχει το παραπάνω SPATIAL.Υπάρχουν πληροφορίες για την οριζοντιογραφική ακρίβεια,την κατακόρυφη,καθώς επίσης και ακρίβειες με την χρήση RTK εντοπισμού.Οι πληροφορίες και οι ακρίβειες υπάρχουν στο επίσημο site της εταιρίας advanced navigation όπου έχει όλα τα προϊόντα μαζί με τις ζητούμενες ακρίβειες και τις εφαρμογές που χρησιμοποιούνται.

NAVIGATION

Horizontal Position Accuracy	2.0 m
Vertical Position Accuracy	3.0 m
Horizontal Position Accuracy (with RTK)	0.02 m
Vertical Position Accuracy (with RTK)	0.03 m
Horizontal Position Accuracy (Kinematic Post Processing)	0.01 m
Vertical Position Accuracy (Kinematic Post Processing)	0.02 m
Velocity Accuracy	0.05 m/s
Roll & Pitch Accuracy	0.1 °
Heading Accuracy (Dynamic with GNSS)	0.2 °
Heading Accuracy (Magnetic Only)	0.8 °
Roll & Pitch Accuracy (Kinematic Post Processing)	0.04 °
Heading Accuracy (Kinematic Post Processing)	0.08 °
Heave Accuracy	5 % or 0.05 m (whichever is greater)
Orientation Range	Unlimited
Hot Start Time	500 ms
Internal Filter Rate	1000 Hz
Output Data Rate	Up to 1000 Hz
Latency	0.4 ms

Πίνακας 4.6 :Ακρίβειες του SPATIAL(Πηγή:Advanced Navigation)
Table 4.6:SPATIAL accuracy(Source: Advanced Navigation)

Επίσης από το manual του SPATIAL δίνονται και πληροφορίες για τις ακρίβειες και τα χαρακτηριστικά των αισθητήρων(MEMS) που έχει.Αφορά τα γυροσκόπια,τα επιταχυνσιόμετρα και τα μαγνητόμετρα.

SENSORS

SENSOR	ACCELEROMETERS	GYROSCOPES	MAGNETOMETERS	PRESSURE
Range (Dynamic)	2 g 4 g 16 g	250 °/s 500 °/s 2000 °/s	2 G 4 G 8 G	10 to 120 KPa
Bias Instability	20 ug	3 °/hr	-	10 Pa
Initial Bias	< 5 mg	< 0.2 °/s	-	< 100 Pa
Initial Scaling Error	< 0.06 %	< 0.04 %	< 0.07 %	-
Scale Factor Stability	< 0.06 %	< 0.05 %	< 0.09 %	-
Non-linearity	< 0.05 %	< 0.05 %	< 0.08 %	-
Cross-axis Alignment Error	< 0.05 °	< 0.05 °	< 0.05 °	-
Noise Density	100 ug/√Hz	0.004 °/s/√Hz	210 uG/√Hz	0.56 Pa/√Hz
Bandwidth	400 Hz	400 Hz	110 Hz	50 Hz

Πίνακας 4.7:Χαρακτηριστικά αισθητήρων(Πηγή:AdvancedNavigation)
Table 4.7:Sensors characteristics(Source: Advanced Navigation)

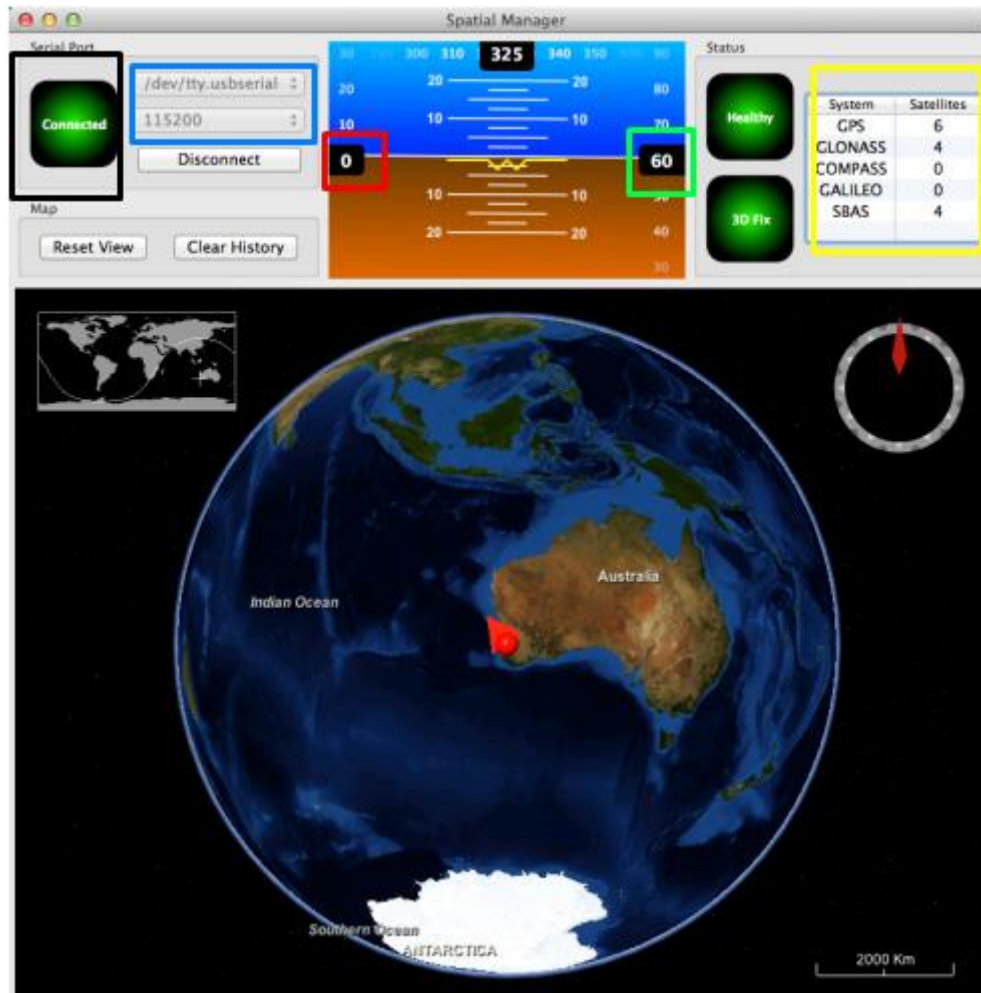
Επίσης για τον δορυφορικό εντοπισμό το SPATIAL χρησιμοποιεί τον δέκτη GNSS u-blox M8P. Από τα χαρακτηριστικά στον παρακάτω πίνακα φαίνεται ότι οι παρατηρήσεις γίνονται μόνο με κώδικα με αποτέλεσμα να λύνει διορθώσεις ψευδοαποστάσεων μόνο.

GNSS	
Model	u-blox M8P
Supported Navigation Systems	GPS L1 GLONASS L1 GALILEO E1 BeiDou L1
Supported SBAS Systems	WAAS EGNOS MSAS GAGAN QZSS
Update Rate	10 Hz
Cold Start Sensitivity	-148 dBm
Tracking Sensitivity	-160 dBm
Hot Start First Fix	1 s
Cold Start First Fix	26 s
Horizontal Position Accuracy	2.5 m
Horizontal Position Accuracy (with SBAS)	1 m
Horizontal Position Accuracy (with L1 RTK)	0.02 m
Velocity Accuracy	0.05 m/s
Timing Accuracy	30 ns
Acceleration Limit	4 g

Πίνακας 4.8: Χαρακτηριστικά u-blox M8P για το SPATIAL (Πηγή: Advanced Navigation)
Table 4.8: Ublox M8P for SPATIAL (Source: Advanced Navigation)

4.3.1 Λογισμικό SPATIAL της Advanced Navigation

Το SPATIAL Manager είναι το πρόγραμμα που παρέχει η εταιρία Advanced Navigation για τις απαραίτητες ρυθμίσεις και καταγραφή δεδομένων του SPATIAL.



Σχήμα 4.14: Σύστημα SPATIAL, πρόγραμμα (Πηγή: Advanced Navigation)

Figure 4.14: SPATIAL system, program (Source: Advanced Navigation)

Στο λογισμικό φαίνονται πληροφορίες για τους δορυφόρους (κίτρινο περίγραμμα), για το αν συνδέθηκε το SPATIAL και είναι έτοιμο για καταγραφή (μάυρο περίγραμμα), το ύψος (πράσινο περίγραμμα), η ταχύτητα (κόκκινο περίγραμμα), η θύρα σύνδεσης και ταχύτητας (μπλε περίγραμμα) και άλλες πληροφορίες για την κατάσταση του SPATIAL (Healthy, Fix..)

Η παρακάτω εικόνα δείχνει τον λόγο που χρησιμοποιήθηκε στις εφαρμογές της διπλωματικής αυτής το SPATIAL και δεν στηρίχτηκε το όλο πείραμα στα

αποτελέσματα των δεκτών της u-blox. Όπως φαίνεται η τροχιά που εξάγει το SPATIAL φαίνεται σαφώς πιο ακριβής από αυτή που παρέχουν οι δέκτες της u-blox επομένως μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν μια βάση ορθής τροχιάς και να γίνουν συγκρίσεις με άλλους δέκτες.



Σχήμα 4.15:SPATIAL INS vs ublox GPS (Πηγή:Advanced Navigation)
Figure 4.15:SPATIAL INS vs ublox GPS (Source:Advanced Navigation)

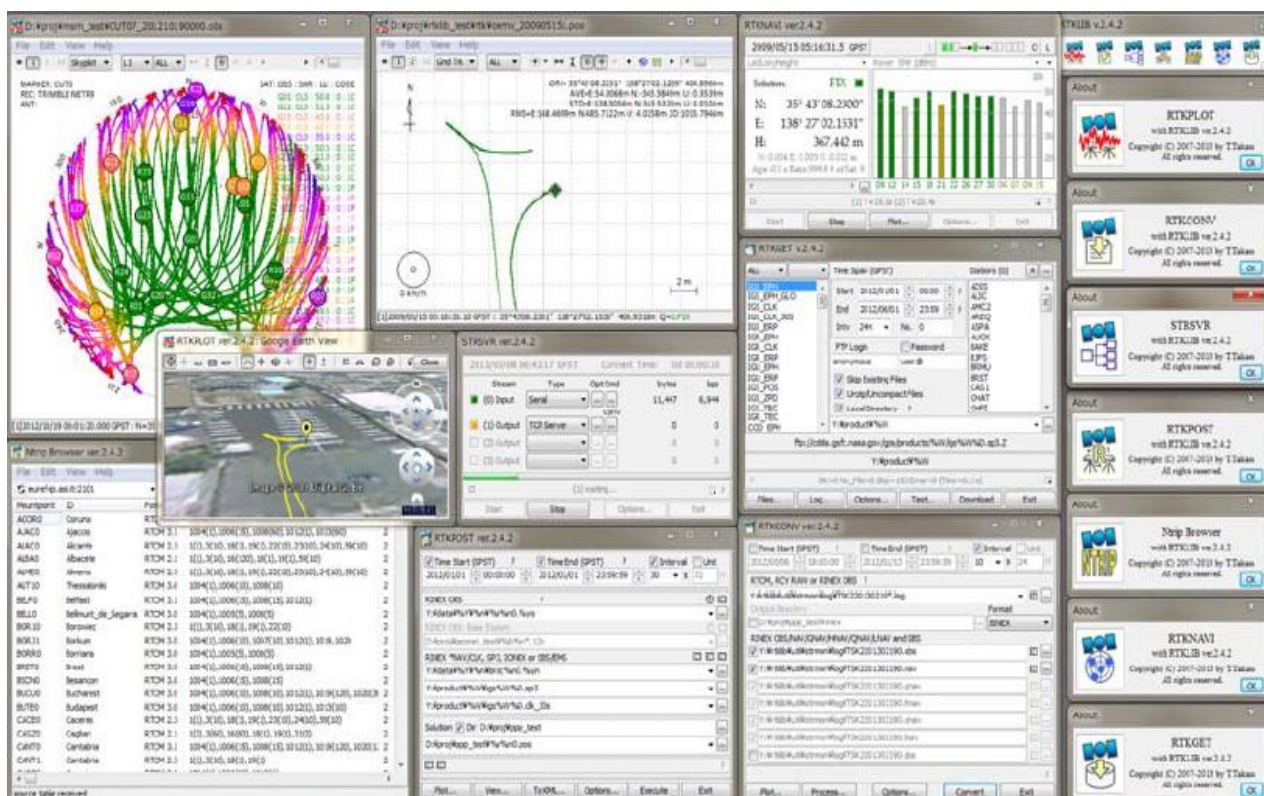
4.4 Λογισμικό GNSS RTKLIB

Για την επεξεργασία των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε και το λογισμικό(ελεύθερο) RTKLIB. Περιλαμβάνει βιβλιοθήκη προγραμμάτων και διάφορες εφαρμογές που θα αναλύθουν οι οποίες είναι χρήσιμες για την επεξεργασία και την εξαγωγή αποτελεσμάτων των πειραμάτων που έγιναν στην διπλωματική εργασία. Είναι συμβατό με τα δορυφορικά συστήματα GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou και SBAS. Μπορούμε να εφαρμόσουμε αρκετές μεθοδολίγες και τρόπο λύσεων των τροχιών μέσα από μια πληθώρα επιλογών που παρέχει το πρόγραμμα. Κάποιες από τις εφαρμογές που χρησιμοποιήθηκαν για την διεξαγωγή των πειραμάτων ήταν το RTKNAVI που αφορά το real-time positioning, το RTKSVR και για μετατροπή στη συνέχεια το RTKCONV, RTKPOST, RTKPLOT.

Οι εφαρμογές του RTKLIB φαίνονται στον παρακάτω πίνακα που βρίσκεται στο εγχειρίδιο χρήσης του προγράμματος.

Function	GUI AP	CUI AP	Notes
(a) AP Launcher	RTKLAUNCH (3.1)	-	
(b) Real-Time Positioning	RTKNAVI (3.2, 3.3, 3.5)	RTKRCV (3.11, A.1)	
(c) Communication Server	STRSVR, (3.3)	STR2STR (3.11, A.5)	
(d) Post-Processing Analysis	RTKPOST (3.4, 3.5)	RNX2RTKP (3.11, A.2)	
(e) RINEX Converter	RTKCONV (3.6)	CONVBIN (3.11, A.4)	
(f) Plot Solutions and Observation Data	RTKPLOT (3.7, 3.8)	-	
(g) Downloader for GNSS Products and Data	RTKGET (3.9)	-	
(h) NTRIP Browser	SRCTBLBROWS (3.10)	-	

Πίνακας 4.9:Εφαρμογές RTKLIB(Πηγή:RTKLIB manual)
Table 4.9:RTKLIB functions(Source:RTKLIB manual)

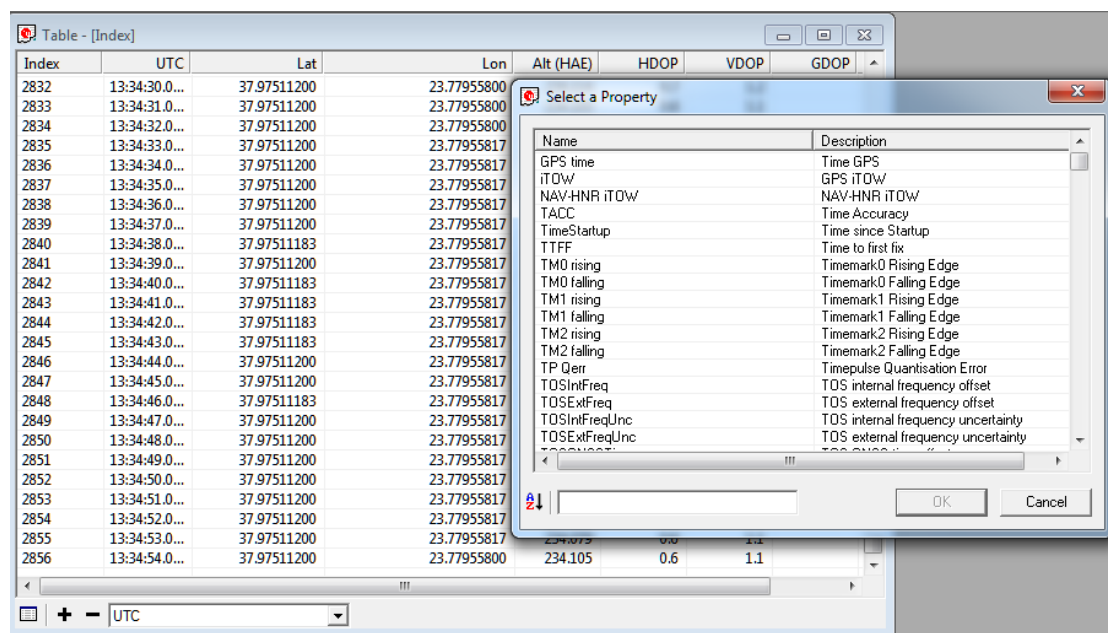


Σχήμα 4.16: Λειτουργία εφαρμογών RTKLIB(Πηγή:RTKLIBmanual)
Figure 4.16:RTKLIBs APs(Source:RTKLIB manual)

4.5 Λογισμικό U-CENTER

Ένα ακόμη λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την επεξεργασία των μετρήσεων ήταν το u-center της εταιρίας που παρέχει τους δέκτες u-blox. Στο πρόγραμμα αυτό εισάγονται οι μετρήσεις οι οποίες έχουν καταγραφεί μέσα από τους δέκτες και βγάζει αποτελέσματα για την τροχιά (συντεταγμένες, χρόνους, υψόμετρα), για την γεωμετρία των δορυφόρων, για τις αποχές σφαλμάτων καθώς δημιουργούνται και διαγράμματα που δίνει την τροχιά του αυτοκινητού real-time όπως καταγράφηκε η τροχιά στο πεδίο την ώρα του πειράματος.

Δίνει πληροφορίες για τον χρόνο που κάνει fix/float ο δέκτης GNSS κατά την διάρκεια των μετρήσεων. Εμφανίζει πληροφορίες για την κατάσταση των δορυφόρων και ποιοι δορυφόροι χρησιμοποιήθηκαν. Με αυτό το λογισμικό δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να βλέπει την τροχιά του οχήματος καθώς πλοτάρει κάθε χρονική στιγμή την θέση του με τις απαραίτητες πληροφορίες που επιλέγει ο χρήστης να εμφανίζει κάθε φορά στο table view της εφαρμογής. Οι επιλογές για το τι θα εμφανίζει την ώρα που ξανά τρέχει το πείραμα είναι πάρα πολλές και μπορεί να γίνει εύκολα εξαγωγή σε κάποιο υπολογιστικό φύλλο excel ή notepad για περαιτέρω επεξεργασία και ανάλυση.

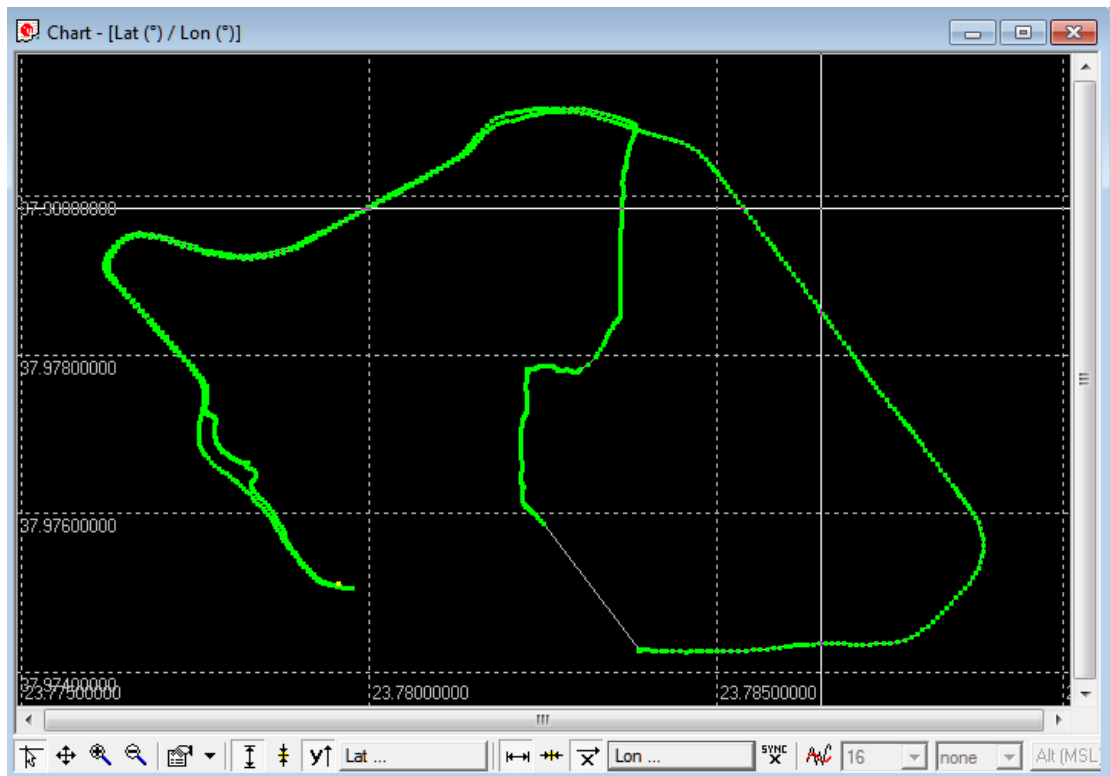


The screenshot shows the u-center software interface. The main window displays a table with columns: Index, UTC, Lat, Lon, Alt (HAE), HDOP, VDOP, and GDOP. The table contains 25 rows of data, with the last row (Index 2856) showing a UTC time of 13:34:54.0... and an Altitude of 234.105. A 'Select a Property' dialog box is open in the foreground, listing various GPS properties such as 'GPS time', 'ITDw', 'NAV-HNR ITDw', 'TACC', 'TimeStartup', 'TTFF', 'TM0 rising', 'TM0 falling', 'TM1 rising', 'TM1 falling', 'TM2 rising', 'TM2 falling', 'TP Qerr', 'TDSIntFreq', 'TDSExtFreq', 'TDSIntFreqUnc', and 'TDSExtFreqUnc'. The dialog box has 'OK' and 'Cancel' buttons at the bottom.

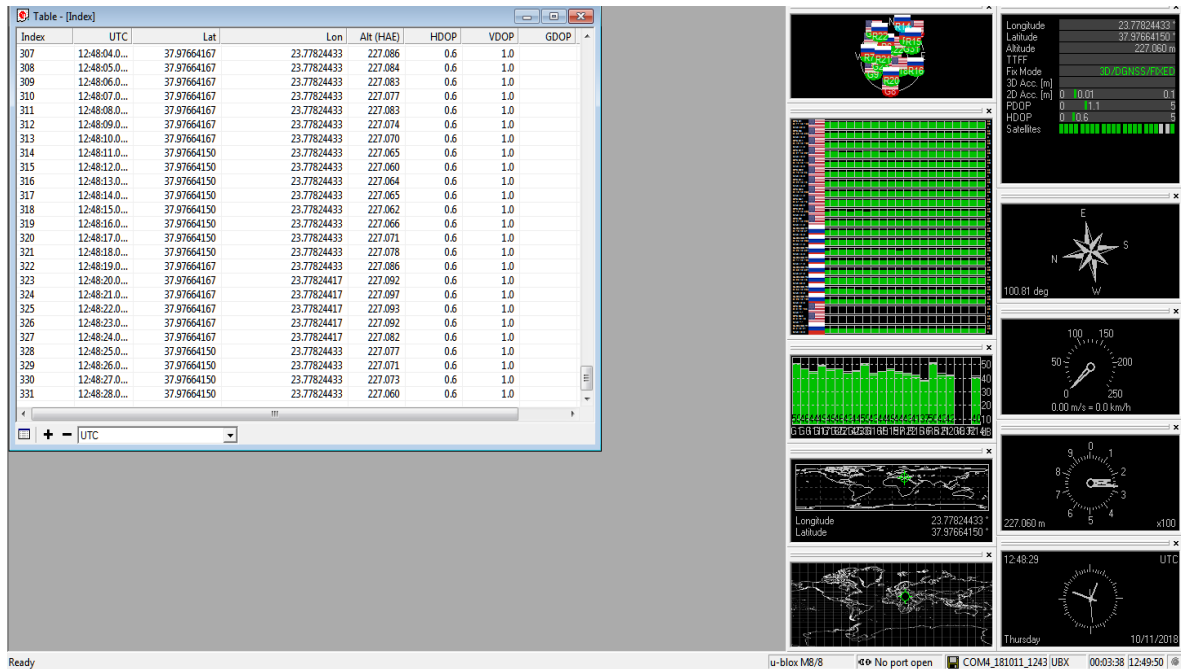
Index	UTC	Lat	Lon	Alt (HAE)	HDOP	VDOP	GDOP
2832	13:34:30.0...	37.97511200	23.77955800				
2833	13:34:31.0...	37.97511200	23.77955800				
2834	13:34:32.0...	37.97511200	23.77955800				
2835	13:34:33.0...	37.97511200	23.77955817				
2836	13:34:34.0...	37.97511200	23.77955817				
2837	13:34:35.0...	37.97511200	23.77955817				
2838	13:34:36.0...	37.97511200	23.77955817				
2839	13:34:37.0...	37.97511200	23.77955817				
2840	13:34:38.0...	37.97511183	23.77955817				
2841	13:34:39.0...	37.97511200	23.77955817				
2842	13:34:40.0...	37.97511183	23.77955817				
2843	13:34:41.0...	37.97511183	23.77955817				
2844	13:34:42.0...	37.97511183	23.77955817				
2845	13:34:43.0...	37.97511183	23.77955817				
2846	13:34:44.0...	37.97511200	23.77955817				
2847	13:34:45.0...	37.97511200	23.77955817				
2848	13:34:46.0...	37.97511183	23.77955817				
2849	13:34:47.0...	37.97511200	23.77955817				
2850	13:34:48.0...	37.97511200	23.77955817				
2851	13:34:49.0...	37.97511200	23.77955817				
2852	13:34:50.0...	37.97511200	23.77955817				
2853	13:34:51.0...	37.97511200	23.77955817				
2854	13:34:52.0...	37.97511200	23.77955817				
2855	13:34:53.0...	37.97511200	23.77955817				
2856	13:34:54.0...	37.97511200	23.77955800	234.105	0.6	1.1	

Σχήμα 4.17: Table View της εφαρμογής u-center (Πηγή: ucenter)

Figure 4.17: Table View (Source: ucenter)

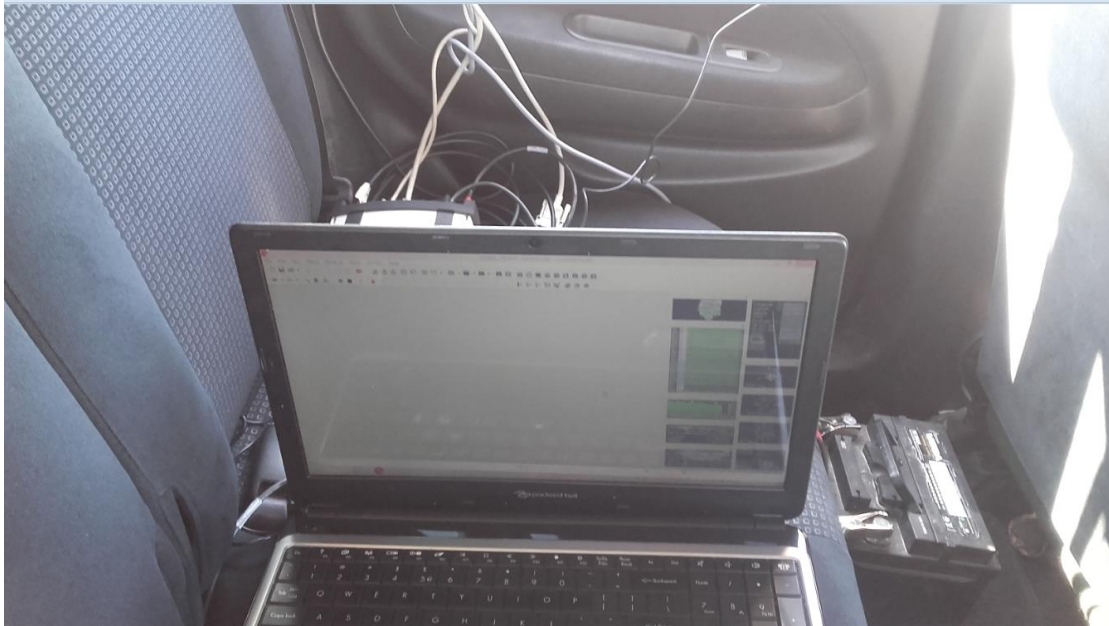


Σχήμα 4.18:Chart View.Απεικόνιση της τροχιάς του αυτοκινήτου(Πηγή:ucenter)
 Figure 4.18:Chart View.Vehicle direction(Source:ucenter)



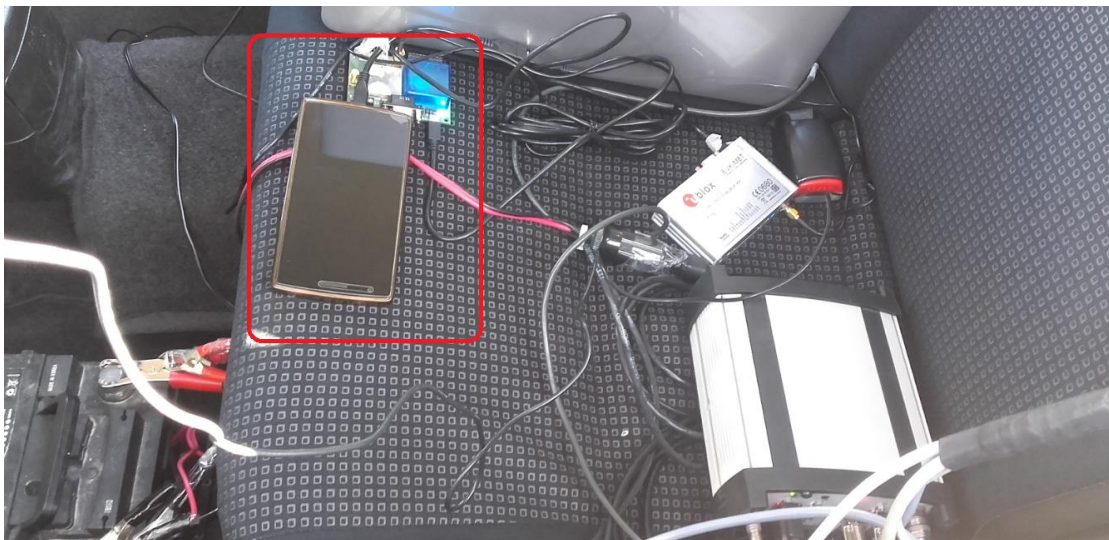
Σχήμα 4.19:Λογισμικό (Πηγή:ucenter)
 Figure 4.19:Ucenter program (Source:ucenter)

Η καταγραφή των δεδομένων για την δημιουργία αρχείου .ubx γίνεται με την χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών και κινητών συνδεδεμένων με θύρα usb με τον δέκτη χαμηλού κόστους της u-blox.



Σχήμα 4.20:Καταγραφή μετρήσεων με λάπτοπ(Πηγή:Φωτογραφία στο πεδίο)

Figure 4.20:Registry of measurements via laptop(Source: Photograph of experiment)



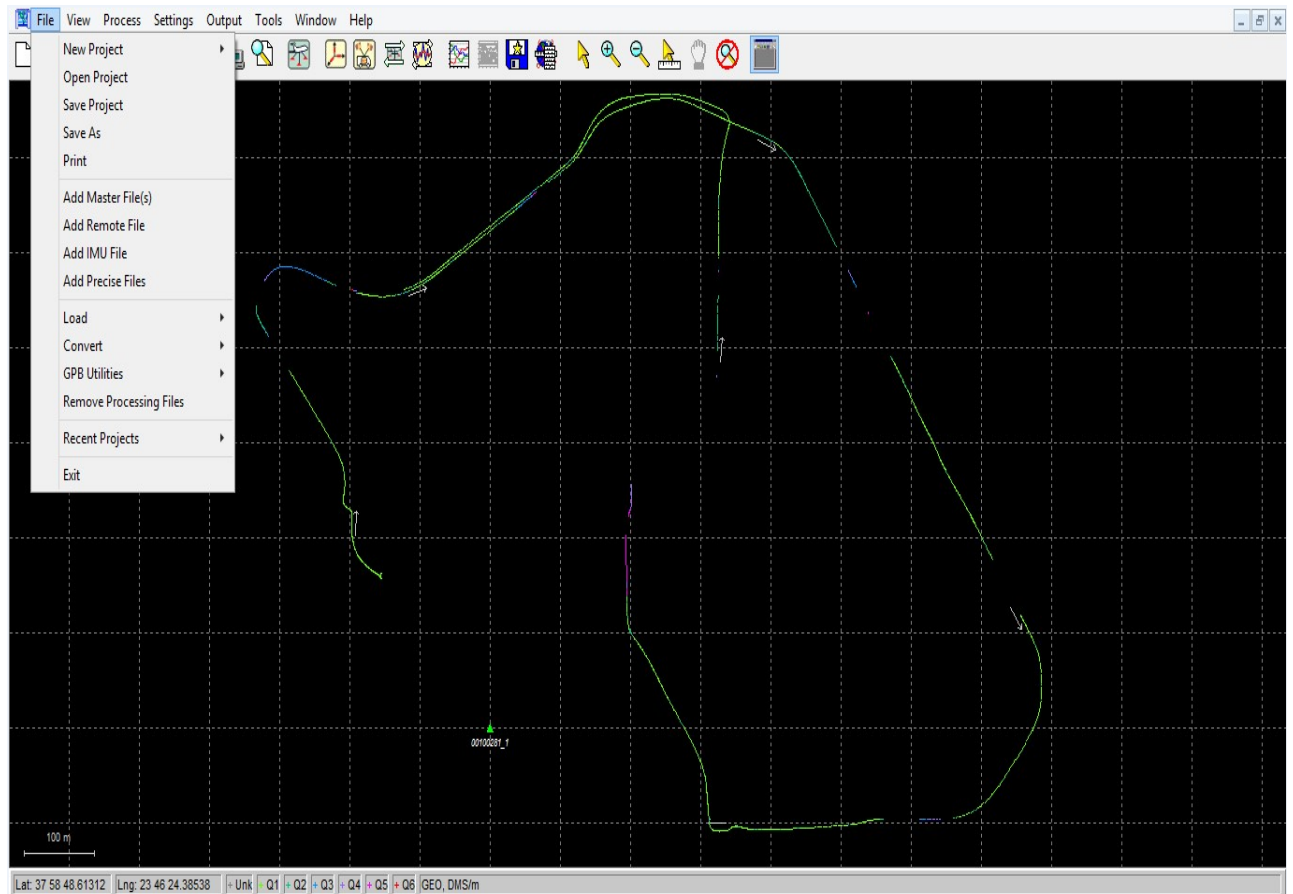
Σχήμα 4.21:Καταγραφή μετρήσεων με κινητό(Πηγή:Φωτογραφία στο πεδίο)

Figure 4.21:Registry of measurements via mobile phone (Source: Photograph of experiment)

4.6 Λογισμικό Inertial Explorer

Το λογισμικό Inertial Explorer χρησιμοποιήθηκε για να εξαχθούν τα αποτελέσματα του SPAN το οποίο χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα για την πορεία του αυτοκινήτου.

Το λογισμικό αυτό λειτουργεί με κλειδί (usb) και δεν είναι ελεύθερο λογισμικό. Περιέχει αλγορίθμους σχετικά με την βελτιστοποίηση των τροχιών καθώς και εξάγει διαγράμματα που έχουν να κάνουν με την θέση, την ταχύτητα, την επιτάχυνση, τους δορυφόρους την στιγμή των μετρήσεων,



Σχήμα 4.22: Περιβάλλον Inertial Explorer (Πηγή: Inertial Explorer)

Figure 4.22: Inertial Explorer (Source: Inertial Explorer)

Στην παραπάνω εικόνα φαίνεται το υπόβαθρο στο οποίο χρησιμοποιήθηκαν όλα τα δεδομένα για να εξαχουμε την τροχιά του αυτοκινήτου.

Στο κεφάλαιο 6 (επεξεργασία των μετρήσεων) αναλύεται περισσότερο ο τρόπος με τον οποίο χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό αυτό καθώς και τα τελικά export τα οποία αποτέλεσαν δεδομένα για περαιτέρω επεξεργασία και συμπερασμάτα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5:ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ

5.1 Σχεδιασμός Πειράματος

Το πείραμα έγινε στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου και οι μετρήσεις ξεκίνησαν από μεσημέρι και κράτησαν μέχρι απόγευμα.Έγιναν τροχιές για αυτοκίνητο σε διάφορα σενάρια,αλλά και τροχιές του πεζού.Επιλέχθηκαν έτσι οι τροχιές έτσι ώστε να έχουμε σημεία στα οποία δεν θα είχαμε τόσο καλό σήμα έτσι ώστε να δούμε τα αποτελέσματα των δεκτών στις περιοχές αυτές.Στην οροφή του κτηρίου Λαμπαδαρίου των Αγρονόμων τοπογράφων μηχανικών τοποθετήθηκε το base(σταθμός αναφοράς) προκειμένου να γίνουν οι μετρήσεις RTK.Παρακάτω φαίνονται τα σενάρια που ακολούθησε το όχημα και ο πεζός την ώρα των μετρήσεων.

Το πρώτο σενάριο όπως φαίνεται από την εικόνα ξεκίνησε από το parking των πολιτικών μηχανικών και κατέληξε λίγο πριν το γυμναστήριο της Πολυτετεχνειούπολης.

Το δεύτερο σενάριο που σχεδιάστηκε που έγινε ταυτόχρονα με το πρώτο όπως φαίνεται στην δεύτερη εικόνα περνάει μέσα από το υπόγειο parking των μηχανολόγων προκειμένου να είναι πιο δύσκολες οι συνθήκες εντοπισμού των δεκτών της τροχιάς του αυτοκινήτου.



Σχήμα 5.1:Σενάριο 1,Πολυτεχνειούπολη,Ζωγράφου(Πηγή:Googlemaps)
Figure 5.1:Scenario 1,Zografou(Source:Google maps)



Σχήμα 5.2:Σενάριο 2,Πολυτεχνειούπολη,Ζωγράφου(Πηγή:Googlemaps)
Figure 5.2:Scenario2,Zografou(Source:Google maps)

Για τον σωστό προγραμματισμό των πειραμάτων δημιουργήθηκε έντυπο και συμπληρώθηκε καταλλήλως προκειμένου να γίνουν όλα με σειρά. Από τους δέκτες και τις κεραίες τους που χρησιμοποιήθηκαν μέχρι ακριβείς ώρες του οχήματος, την πορεία του οχήματος και του πεζού.

Παρακάτω φαίνονται ορισμένα έντυπα τα οποία σχεδιάστηκαν έτσι προκειμένου να εκτελεστούν σωστά όλα τα πειράματα με τα συγκεκριμένα όργανα-δέκτες που καθορίστηκαν πριν βγει ο πεζός και το όχημα στο πεδίο.

Επίσης υπάρχει πινακάκι με σχόλια για τυχόν παρατηρήσεις που μπορεί να προκύψουν κατά την διάρκεια των μετρήσεων

1. ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ/ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	
Novatel ProPak-V3 (Novatel Pinwheel Antenna 702-GG+ Antenna Magnetic Base+ iMAR iIMU-FSAS)	<input type="checkbox"/>
SPAN BASE (Novatel DL-V3+ Novatel Pinwheel 702-GG)	
Adv. Nav. SPATIAL (Patch Antenna)	<input type="checkbox"/>
PC-1 (Dell VG) (Connect software)	<input type="checkbox"/>
PC-2 (KL)	<input type="checkbox"/>
PC-3 (HP VG)	
PC-4 (Acer HP)	
Ublox RTK (Ublox C94-M8P Rover+ Patch Antenna+ Internet (Android/iPhone?))	<input type="checkbox"/>
Ublox NEO-M8T (Patch Antenna+ Android-1 (OnePlus One HP)+ USB-USB micro)	<input type="checkbox"/>
Ublox NEO-M8T (Patch Antenna+ Android -2(Samsung KL)+ USB-USB micro)	<input type="checkbox"/>
Ublox RTK Base (Ublox C94-M8P Base+ Patch Antenna+ Power+ Internet (Android/ iPhone/ WiFi?))	<input type="checkbox"/>
ΠΑΡΕΛΚΟΜΕΝΑ	
Πλατφόρμα (κόντρα πλακέ) για τοποθέτηση κινητών + SPAN + Spatial	<input type="checkbox"/>
Μαγνητική Βάση οροφής για τοποθέτηση κεραίας GPS SPAN	<input type="checkbox"/>
Υλικά πρόσδεσης πλατφόρμας (χαρτοταινία, ταινία διπλής συγκόλλησης, σφήνες)	<input type="checkbox"/>
Μπαλαντέζα μεγάλη για ταράτσα	<input type="checkbox"/>
Σακίδιο Πλάτης πεζού + Καπέλο	<input type="checkbox"/>
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ	
Φωτογράφιση Οχήματος με εξοπλισμό	<input type="checkbox"/>

Πίνακας 5.1: Έντυπο πειράματος

Table 5.1: Form of experiment

Στην παραπάνω εικόνα φαίνονται οι δορυφορικοί δέκτες u-blox, τα αδρανειακά συστήματα, οι κεραίες τους καθώς επίσης και τα λαπτοπ και τα κινητά που χρειάστηκαν προκειμένου να διεξαχθούν σωστά τα πειράματα.

2.2 Διαδρομή Πολυτεχνειούπολης

2.2.1 Πρώτη διαδρομή Πολυτεχνειούπολης

2.2.1.a Προετοιμασία

- Εγκατάσταση Base SPAN σε Δυτικό Βάθρο (Θέση-D), Y: _____m
- Εγκατάσταση Base Ublox RTK σε Βάθρο Γκαδόλου (Θέση-G), Y: _____m
- Εγκατάσταση πλατφόρμας σε αυτοκίνητο
- Μέτρηση lever arms [X: _____m, Y: _____m, Z: _____m]
- Τροφοδοσία SPAN/ProPakV3 + SPATIAL
- Εγκατάσταση Ublox RTK
- Εγκατάσταση κινητού με Ublox M8P
- Alignment SPAN/ProPakV3 + εκκίνηση κινητών
- Εκκίνηση νέου project
- ...

2.2.1.b Περιοχή πειράματος



Πίνακας 5.2: Έντυπο πειράματος
Table 5.2: Form of experiment

Στην εικόνα αυτή φαίνεται η πορεία του πειράματος καθώς επίσης τα σημεία (σημεία αναφοράς) που εγκαταστήσαμε το base, τα lever arms μεταξύ του αδρανειακού συστήματος και των άλλων συστημάτων μετρώνται, προκειμένου να γίνει αναφορά των μετρήσεων στην αρχή των αξόνων του αδρανειακού συστήματος. Το lever arms το χρησιμοποιεί το πρόγραμμα Inertial Explorer του SPAN προκειμένου να κάνει σωστά την αναγωγή. Αφού επιβεβαιώθηκε ότι όλα τα συστήματα γράφουν και περιμένουμε να κάνει το SPAN το initialization όπως αναφέρθηκε στο αντίστοιχο κεφάλαιο ξεκινάει η διαδικασία των μετρήσεων.

A/A Test	Sub Test	Περιγραφή	Εκτέλεση	
1	Εκκίνηση πειράματος	Ώρα έναρξης project:		
		Διάρκεια opening stationary(sec):		
		Τοποθεσία opening stationary:		
		Εκκίνηση SPATIAL		
	Παρατηρήσεις			
	Κλείσιμο πειράματος	Διακοπή SPATIAL		
		Διάρκεια stationary(sec):		
		Τοποθεσία stationary:		
		Ώρα λήξης stationary:		

Πίνακας 5.3: Έντυπο πειράματος

Table 5.3: Form of experiment

2.3 Διαδρομή Πεζού

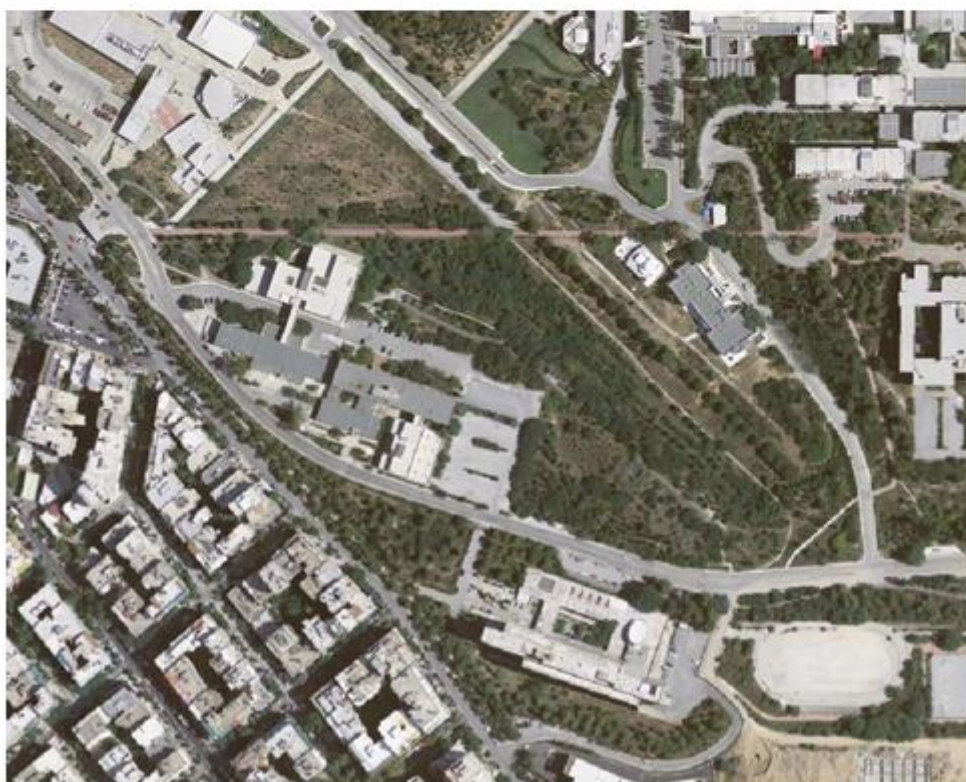
2.3.1.a Προετοιμασία

- Εγκατάσταση Adv. Nav. SPATIAL
- Χρήση Ublox NEO-M8T – κινητού
- Εκκίνηση νέου project
- ...



Χώρος Πολυτεχνειούπολης-Γύρω από τους Τοπογράφους

2.3.1.b Περιοχή Πειράματος



Πίνακας 5.4: Έντυπο πειράματος

Table 5.4: Form of experiment

Σε αυτό το έντυπο τσεκάρετε πριν βγει ο πεζός να κάνει την απαραίτητη τροχιά, ότι έχουν εγκατασταθεί το spatial και ο δέκτης u-blox και αμέσως μετά ξεκινάει την πορεία.

5.2 Κινήσεις στο πεδίο

Λίγα λόγια για το πως έγιναν οι κινήσεις προκειμένου να βγουν τα κατάλληλα αποτελέσματα. Όπως αναφέρθηκε ως σταθμός αναφοράς χρησιμοποιήθηκε βάθρο με γνωστές γεωδαιτικές συντεταγμένες το οποίο βρίσκεται στην ταράτσα του κτηρίου Λαμπαδαρίου της σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών. Εκεί έγινε η εγκατάσταση του base.



Σχήμα 5.3: Εγκατάσταση Base σε σημείο με γνωστές συντεταγμένες (Πηγή: Φωτογραφία από πεδίο)

Figure 5.3: Base installation (Source: Photograph of experiment)



Σχήμα 5.4:Εγκατάσταση Base με γνωστές συντεταγμένες για την αποστολή διορθώσεων στον δέκτη (rover). (Πηγή:Φωτογραφίααπόπεδίο)

Figure 5.4:Base installation to send corrections to rover (Source:Photograph of experiment)

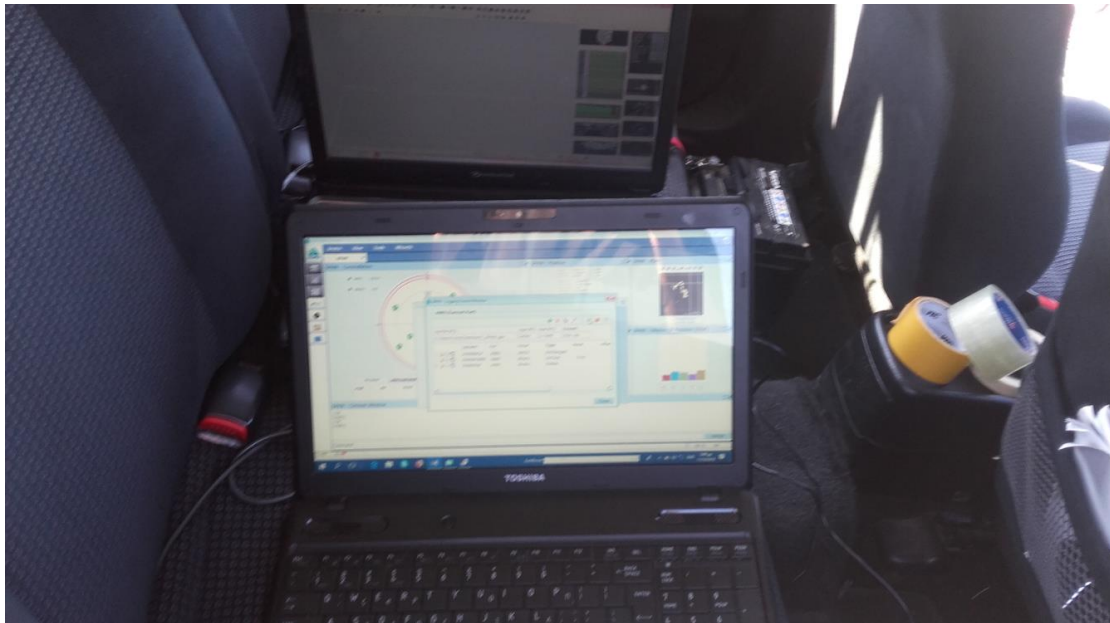
Αφού εγκαταστάθηκε το base στην συνέχεια εγκαταστάθηκε ο εξοπλισμός στο αυτοκίνητο. Τα αδρανειακά συστήματα καθώς και οι δέκτες u-blox μαζί με τα λάπτοπ και τα κινήτα που αναφέρθηκαν στο προηγούμενο υποκεφάλαιο.

Επομένως αφού εγκατασταθούν οι δέκτες C94-M8P και ο NEO-M8T της u-blox μαζί με τις κεραίες τους ANN-MS και το αδρανειακό iMar ,και μετρηθούν και τα lever arms για τον λόγο που αναφέρθηκε παραπάνω το όχημα είναι έτοιμο για τα πειράματα.



Σχήμα 5.5:Αδρανειακό σύστημα(Πηγή:Φωτογραφία από πεδίο)
Figure 5.5:INS system(Source:Photograph of experiment)

Μέσα στο αυτοκίνητο βρίσκεται το τροφοδοτικό (ρεύμα) που χρειάζεται,καθώς επίσης και τα λάπτοπ και τα κινήτα τα οποία είναι συνδεδεμένα με τους δέκτες u-blox και με το SPAN. Το ένα λάπτοπ τρέχει το Inertial Explorer και το άλλο λάπτοπ τρέχει το αδρανειακό.Επίσης ο ένας από τους δύο δέκτες u-blox που μετράνε ,μετράει με την χρήση κινητού τηλεφώνου.



Σχήμα 5.6:Λειτουργία SPAN και ublox(Πηγή:Φωτογραφία από πεδίο)
Figure 5.6:Run of SPAN and ublox(Source:Photograph of experiment)

Οι υπολογιστές έχουν εγκατεστημένα όπως φαίνεται τα απαραίτητα λογισμικά προκειμένου να γίνει η συλλογή παρατηρήσεων από τους δέκτες GNSS low cost της u-blox και του GNSS Spatial.Επίσης χρησιμοποιήθηκε η εφαρμογή RTKLIB προκειμένου να επιτευχθεί η μέθοδος RTK.Τα λάπτοπ είναι συνδεδεμένα σε δίκτυο μέσω wi-fi hotspot από κινητό τηλέφωνο προκειμένου να δέχονται τις διορθώσεις που στέλνει ο base (σταθμός αναφοράς) που στήθηκε στην ταράτσα του Λαμπαδαρίου.

Αφού έχουν ελεγχθεί ότι όλα επικοινωνούν,ότι τα λάπτοπ δέχονται τις διορθώσεις από τον σταθμό αναφοράς,ότι γίνεται η καταγραφή των παρατηρήσεων πριν ξεκινήσει να κινείται το όχημα πρέπει να γίνει η λειτουργία αρχικοποίησης του συστήματος SPAN,η λεγόμενη initialization.Η διάρκεια που χρησιμοποιήθηκε για την αρχικοποίηση του συστήματος SPAN στα πειράματα,στο πλαίσιο αυτής της διπλωματικής,είναι 6 λεπτά.Αφού ολοκληρωθούν τα 6 λεπτά με το όχημα να είναι στάσιμο, τότε το όχημα είναι έτοιμο προς την υλοποίηση των πειραμάτων που σχεδιάστηκαν.

Την ίδια πάνω κάτω ετοιμασία είχε και ο πεζός, αφού και αυτός έφερε δέκτης GNSS/INSSPATIAL και τον δέκτη u-blox NEO-M8T.Ο δέκτης u-blox συνδέθηκε με κινητό προκειμένου να καταγράφονται οι μετρήσεις, και το SPATIAL συνδέθηκε με λάπτοπ που ήταν εγκατεστημένο το κατάλληλο λογισμικό για την καταγραφή των μετρήσεων.Και τα δύο τοποθετήθηκαν σε μια τσάντα πλάτης προκειμένου ο πεζός να εκτελεί την τροχιά του χωρίς ιδιαίτερη δυσκολία.Η κεραία του u-blox τοποθετείται σε ένα καπέλο που το φοράει ο πεζός καθόλη την διάρκεια των πειραμάτων,όπως και το SPATIAL.



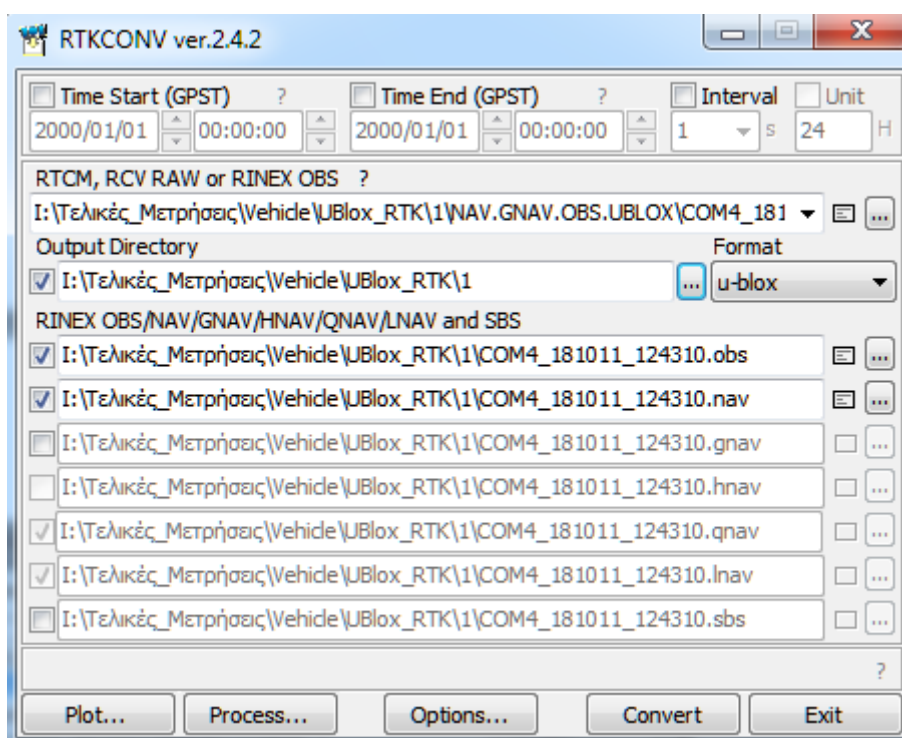
Σχήμα 5.7: Κάπελο με το SPATIAL(κόκκινο περίγραμμα) και με την κεραία του u-blox(πράσινο περίγραμμα) (Πηγή:Φωτογραφία από πεδίο)

Figure 5.7:A hat with SPATIAL(red)and ublox M8T(green) (Source:Photograph of experiment)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6:ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

6.1 Διαδικασία λειτουργίας και εξαγωγής αποτελεσμάτων μέσω RTKLIB

Ο δέκτης που χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις μας δίνει την λύση των μετρήσεων σε αρχείο .ubx όπως φαίνεται στην εικόνα.Ανοίγοντας το πρόγραμμα RTKLIB και χρησιμοποιώντας το RTKCONV μετάρηπουμε το αρχείο .ubx σε μορφή αρχείων (OBS,NAV,GNAV) προκειμένου να γίνει περαιτέρω ανάλυση και να εμφανισθεί η τροχιά που έκανε το όχημα.Τα αρχεία αυτά είναι rinex και τα φέρνουμε σε τέτοια μορφή έτσι ώστε να επιδέχονται διάφορες μετατροπές από παρόμοια προγράμματα.

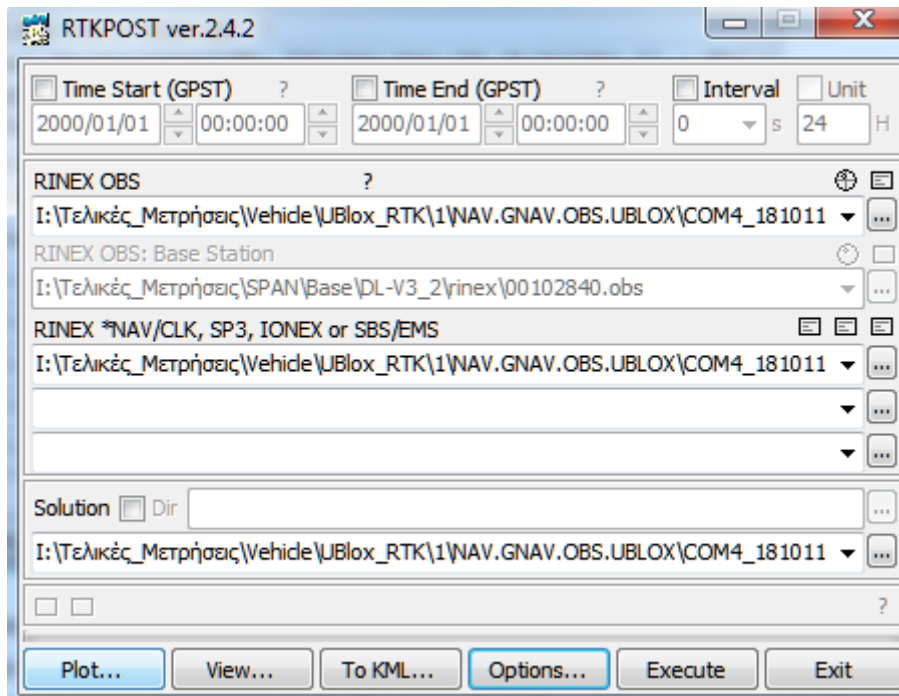


Σχήμα 6.1:Επιλογή παραμέτρων(Πηγή:RTKLIB)

Figure 6.1:Selecting parameters(Source:RTKLIB)

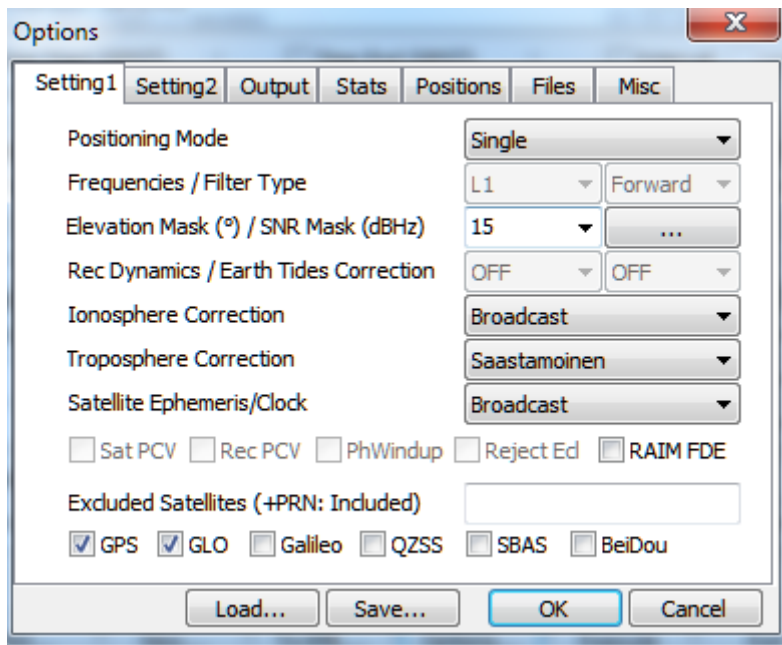
Εφόσον έγινε η μετατροπή σε rinex αρχεία το επόμενο βήμα είναι να πλοταριστούν όλα τα σημεία προκειμένου να μας εμφανισθεί η τροχιά του αυτοκινήτου και όλες οι λεπτομέρειες, όπως σημεία fix,float ,αριθμό δορυφόρων,γεωμετρία δορυφόρων κ.α

Αυτό γίνεται με την εντολή RTKPOST.Όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα τοποθετούμε στο inputto rinex OBS αρχείο που έγινε convert με την προηγούμενη εντολή RTKCONV και στη συνέχεια έχουμε δυο κατηγορίες λύσεων.

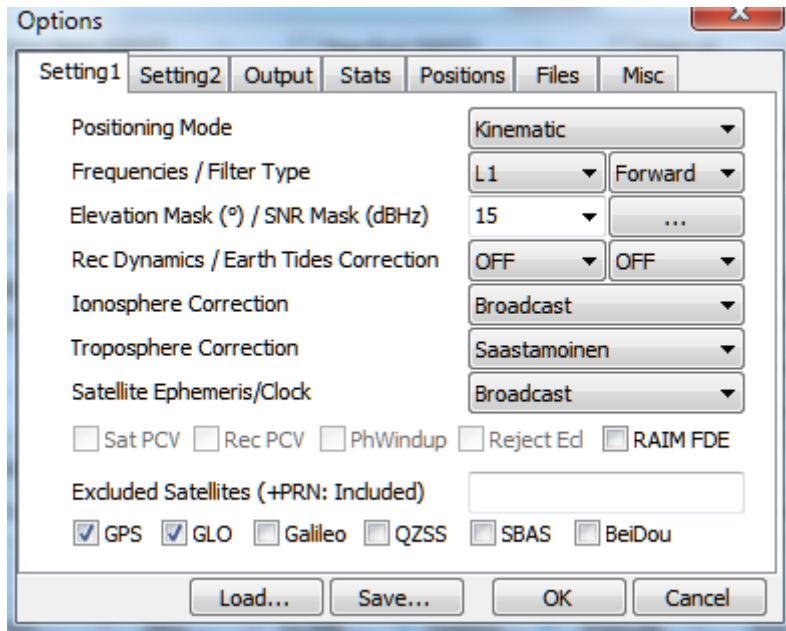


Σχήμα 6.2:Επιλογή παραμέτρων(Πηγή:RTKLIB)
 Figure 6.2:Selecting parameters(Source:RTKLIB)

Την single και την kinematic.



Σχήμα 6.3:Επιλογή παραμέτρων(Πηγή:RTKLIB)
 Figure 6.3:Selecting parameters(Source:RTKLIB)

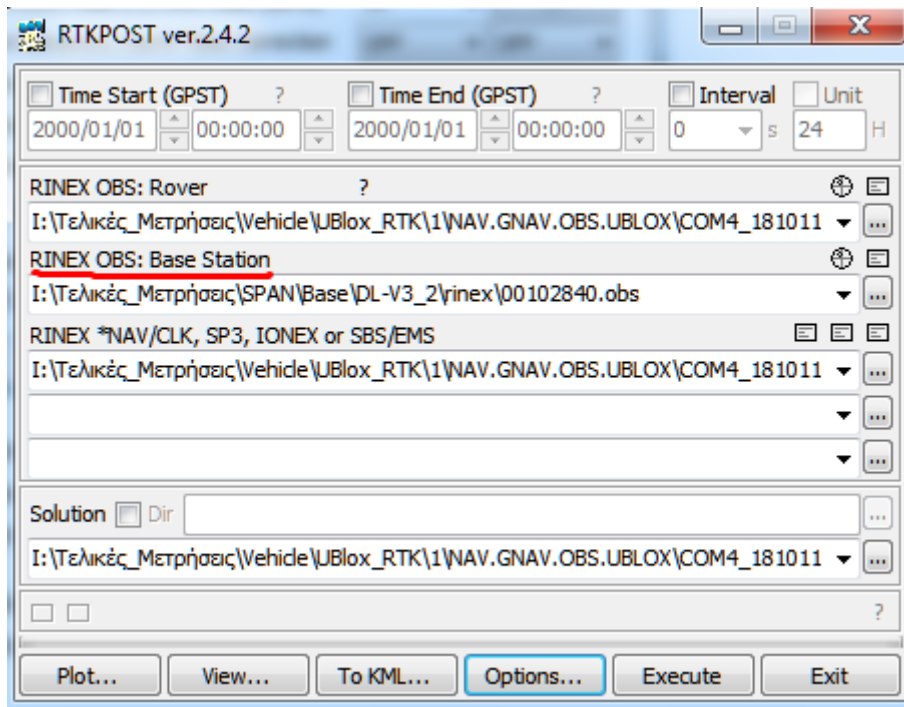


Σχήμα 6.4:Επιλογή παραμέτρων(Πηγή:RTKLIB)

Figure 6.4:Selecting parameters(Source:RTKLIB)

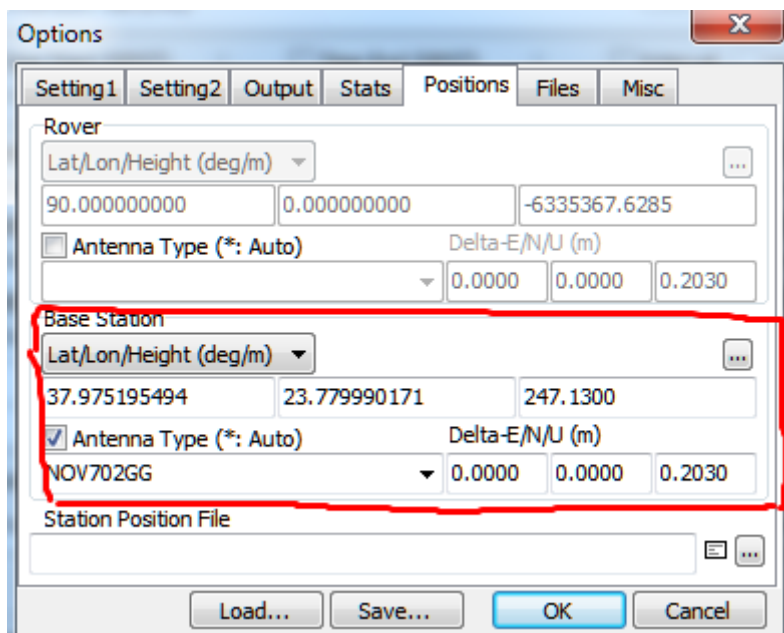
Στην kinematic λύση έχει χρησιμοποιηθεί όπως φαίνεται το forward filter γρε που σημαίνει ότι λύνει όπως είναι κανονικά η τροχιά του αυτοκινήτου και για συχνότητα η L1.

Επιπρόσθετα στο kinematic solution βάζουμε το rinex αρχείο του base όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα και τις συντεταγμένες του base μαζί με το ύψος και το είδος της κεραίας που χρησιμοποιήθηκε.



Σχήμα 6.5:Επιλογή παραμέτρων(Πηγή:RTKLIB)

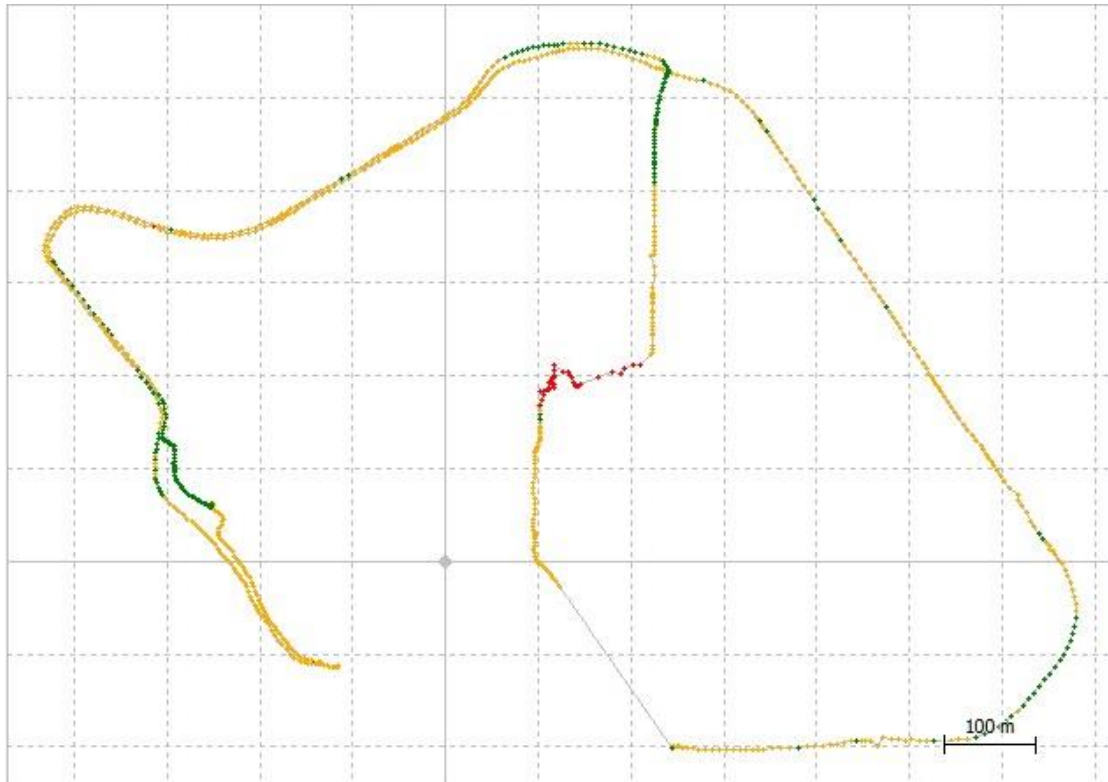
Figure 6.5:Selecting parameters(Source:RTKLIB)



Σχήμα 6.6:Επιλογή παραμέτρων.Εισαγωγή Base(Πηγή:RTKLIB)

Figure 6.6:Selecting parameters. Base coordinates(Source:RTKLIB)

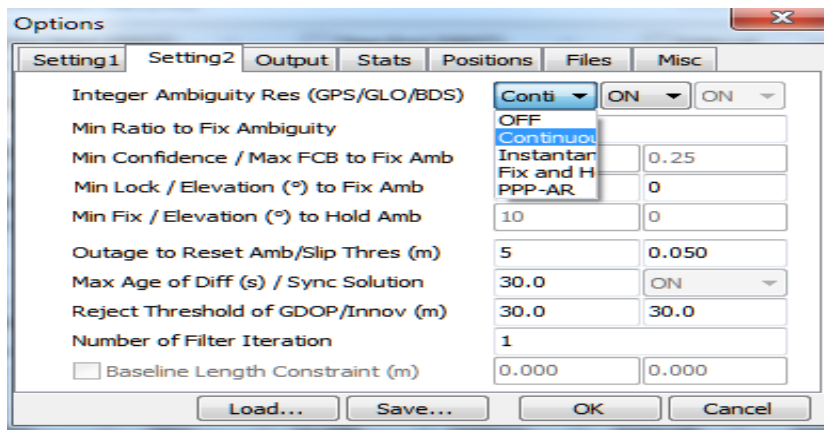
Στη συνέχεια πατάμε OK και γίνεται το plot και μας δείχνει την πορεία του αυτοκινήτου για τις διάφορες λύσεις που επιλέξαμε (single,kinematic).



Σχήμα 6.7:Τροχιά αυτοκινήτου(Πηγή:RTKLIB)
 Figure 6.7:Vehicle orbit (Source:RTKLIB)

Για παραδείγμα έδω είναι μια τροχιά του αυτοκινήτου που θα αναλυθεί παρακάτω και θα συγκριθεί .Βλέπουμε οτι έχει fix λύση στα πράσινα σημεία, float λύση στα κίτρινα και δεν έχει λύσει στα κόκκινα σημεία.

Για κάθε τροχιά και για κάθε πείραμα χρησιμοποιήθηκαν διάφορες επιλογές της λύσης kinematic που μπορεί ο χρήστης να επιλέξει από τα options του RTKPOST.



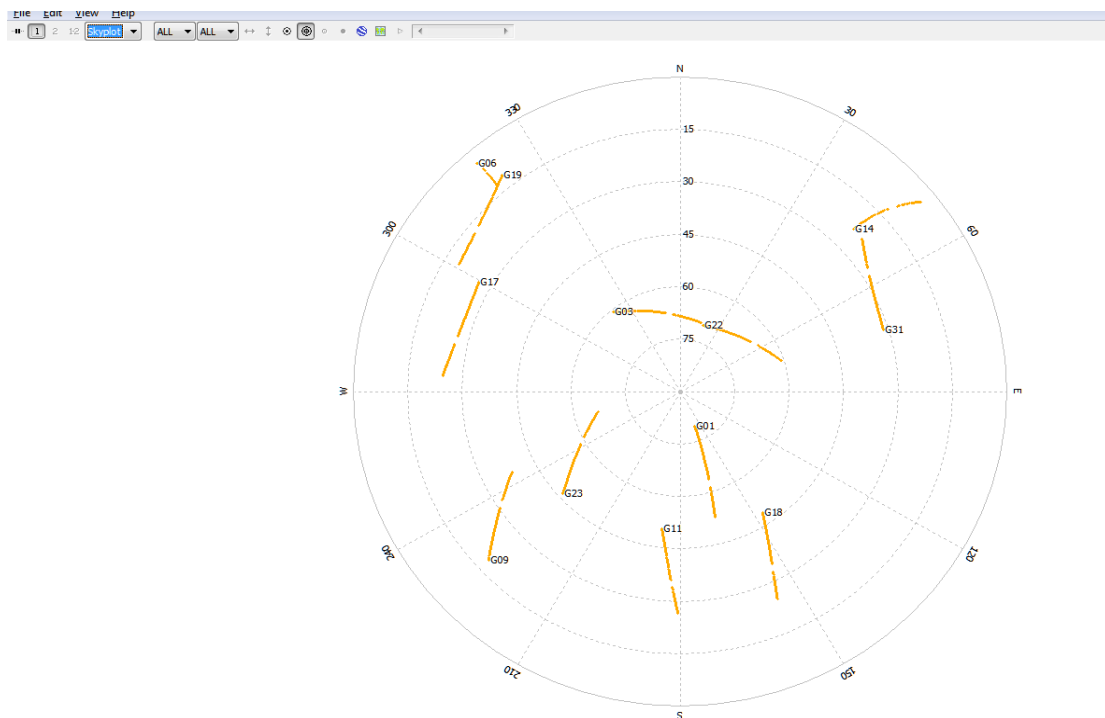
Σχήμα 6.8:Επιλογή παραμέτρων(Πηγή:RTKLIB)
 Figure 6.8:Selecting parameters(Source:RTKLIB)

Παρουσιάζονται οι παρακάτω 3 επιλογές για λύση σε kinematic mode.
Αυτές είναι

- Continuous
- Instantaneous
- Fix and Hold

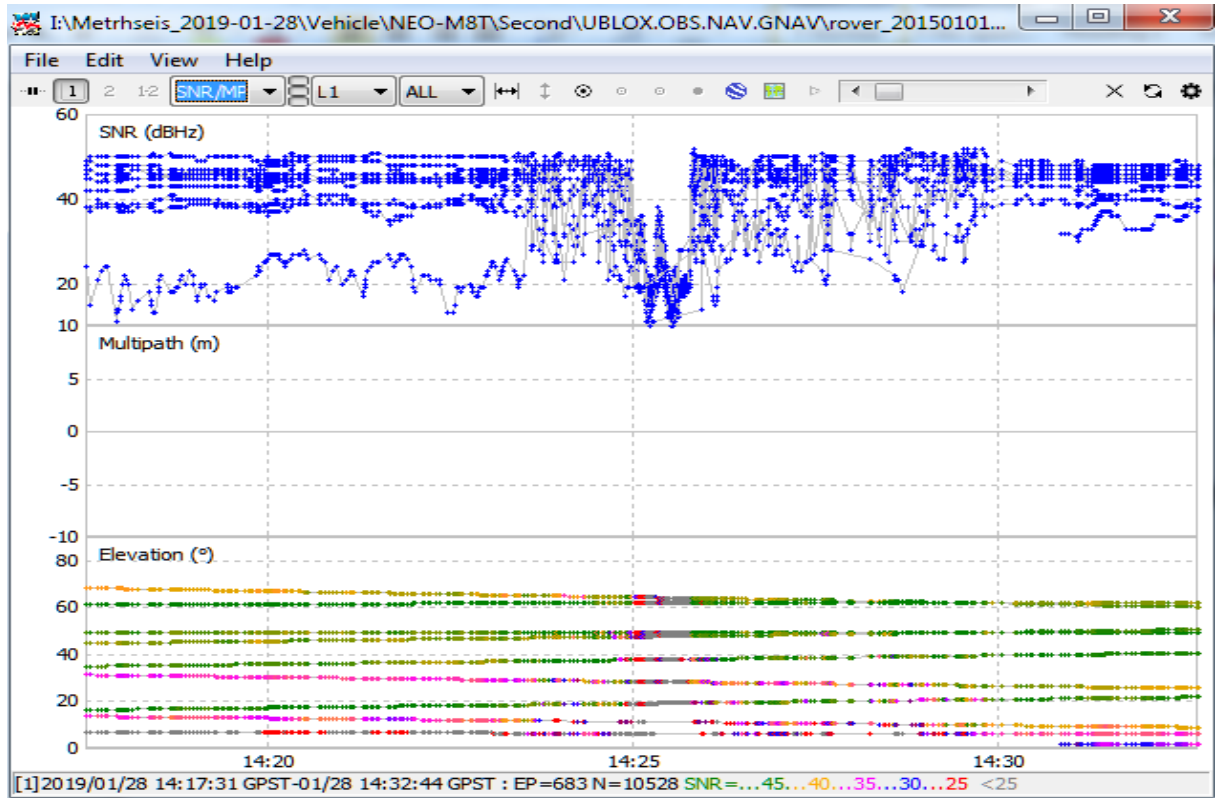
Στη συνέχεια αφού βγουν όλα τα αποτελέσματα για κάθε λύση δίνεται η δυνατότητα στο plot του RTKPOST να εισαχθούν τα obs,nan files και να έχουμε πληροφορίες για το SNR,για την γεωμετρία των δορυφόρων (DOP),τον αριθμό των δορυφόρων,την θέση των δορυφόρων,το elevation mask,την αποχή της θέσης,για την ταχύτητα κ.α.

Ορισμένα από αυτά τα στοιχεία φαίνονται στις παρακάτω εικόνες ενδεικτικά που θα αναλυθούν στην συνέχεια.



Σχήμα 6.9:Skyplot (Πηγή:RTKLIB)

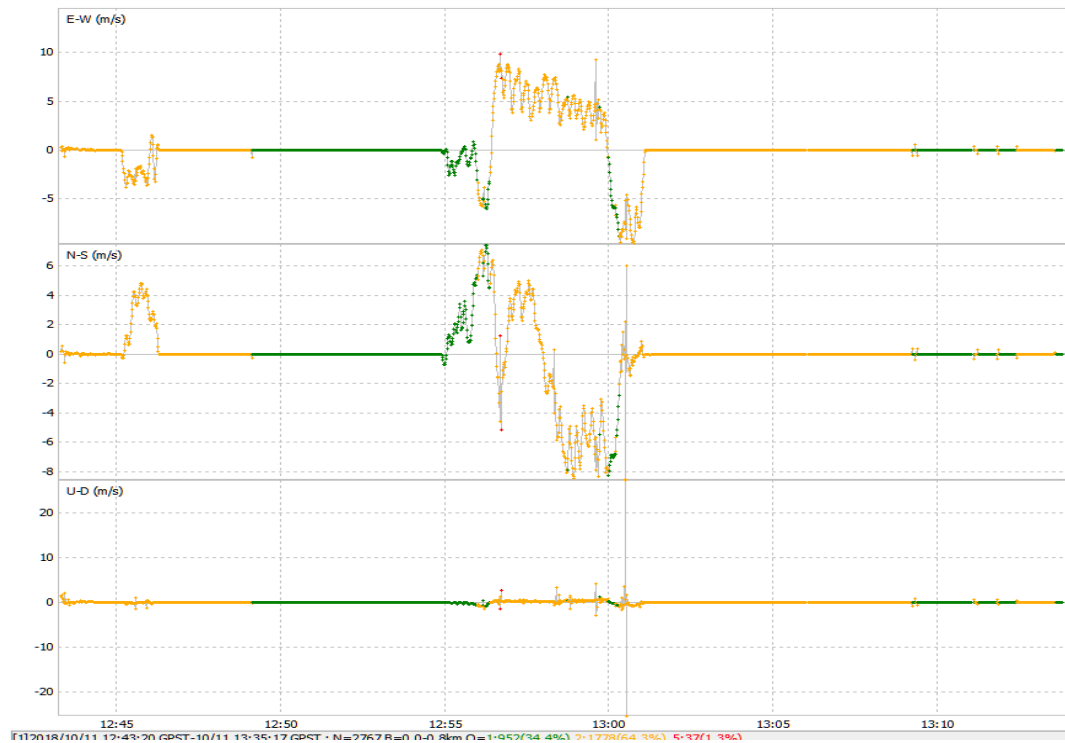
Figure 6.9: Skyplot (Source:RTKLIB)



Σχήμα 6.10: SNR/Elevation (Πηγή:RTKLIB)
 Figure 6.10: SNR/Elevation (Source:RTKLIB)

Το SNR είναι ένας δείκτης θορύβου και σύμφωνα με τον οποίο όσο μεγαλύτερος είναι τόσο καλύτερο είναι το αποτέλεσμα. Αυτό ερχεται να το δικαιολογήσει ο ορισμός του SNR με μαθηματική σχέση.

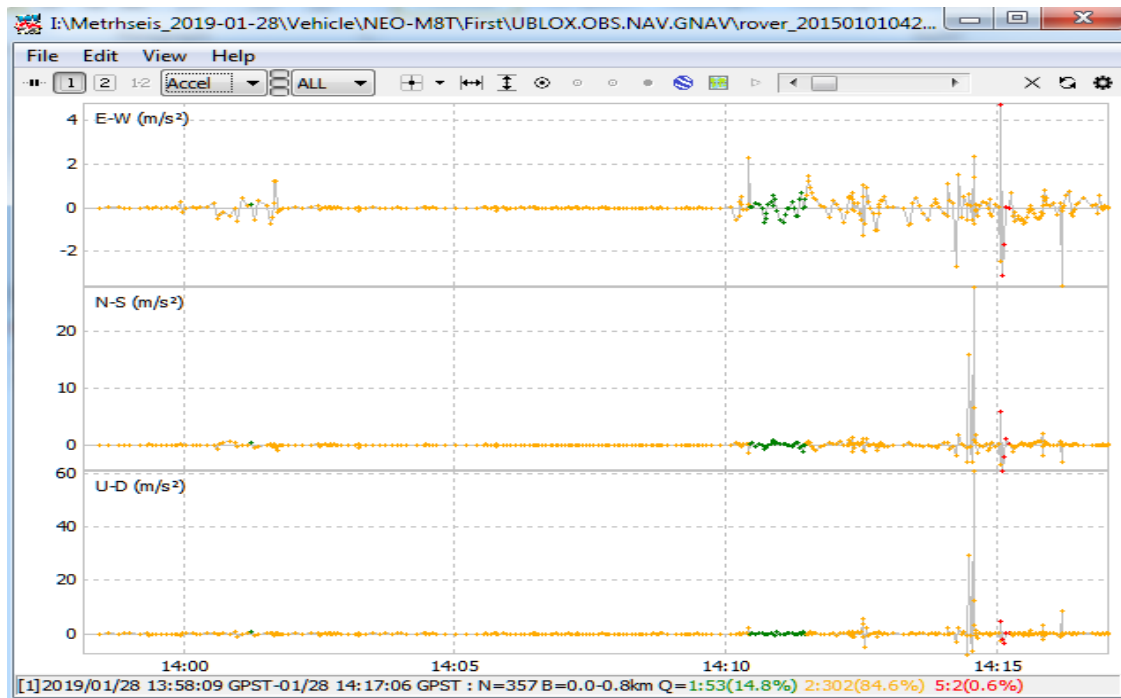
$$\text{SNR} = \frac{P_{\text{signal}}}{P_{\text{noise}}}, \quad (6.1)$$



Σχήμα 6.11: Διαγράμματα ταχυτήτων του οχήματος σε διάφορες κατευθύνσεις(Πηγή:RTKLIB)
 Figure 6.11: Speed charts in direction (Source:RTKLIB)



Σχήμα 6.12: Αριθμός δορυφόρων και γεωμετρία (Πηγή:RTKLIB)
 Figure 6.12: Number of SAT and DOP (Source:RTKLIB)



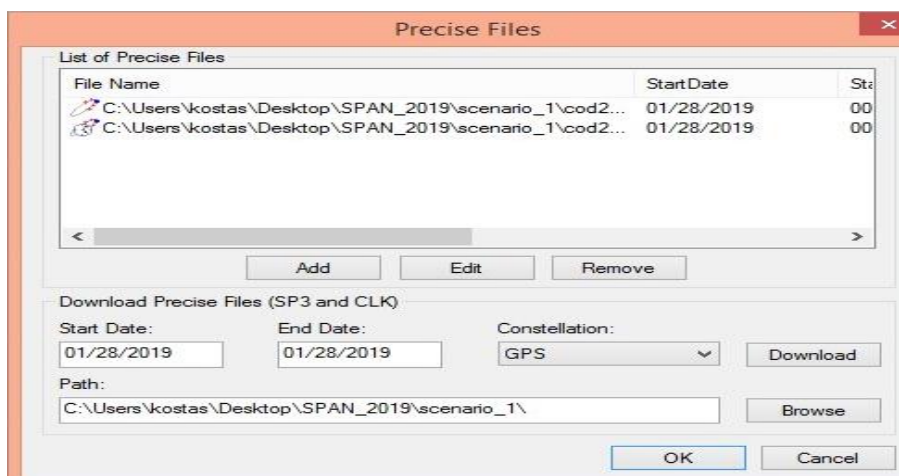
Σχήμα 6.13: Διαγράμματα επιταχύνσεων του οχήματος σε διάφορες κατευθύνσεις (Πηγή:RTKLIB)

Figure 6.13: Acceleration charts in any directions (Source:RTKLIB)

6.2 Διαδικασία λειτουργίας και εξαγωγής αποτελεσμάτων μέσω Inertial Explorer

Το αποτέλεσμα ήταν 3 αρχεία σε μορφή .txt τα οποία περιέχουν πληροφορίες σχετικά με την θέση(συντεταγμένες) την ώρα των μετρήσεων, την γεωμετρία των δορυφόρων (dop), το πλήθος των δορυφόρων και αρκετά άλλα στοιχεία.

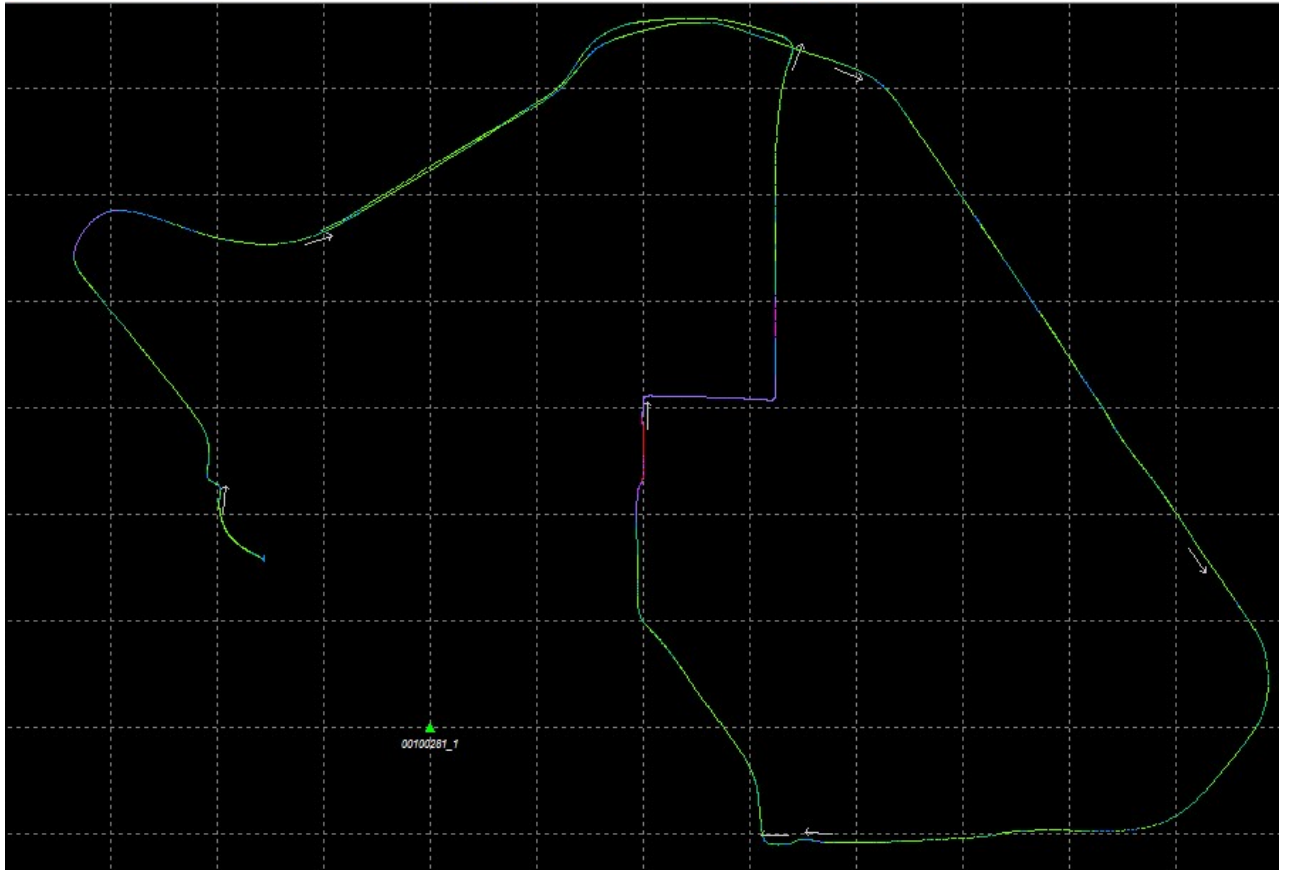
Για τον ακριβέστερο υπολογισμό της τροχιάς εισήχθησαν και οι εφημερίδες των δορυφόρων



Σχήμα 6.14: Εισαγωγή εφημερίδων δορυφόρων(Πηγή: InertialExplorer)

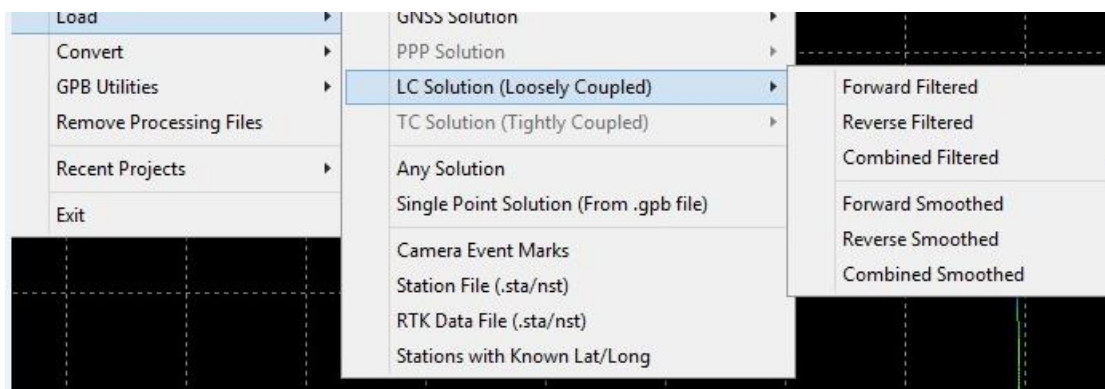
Figure 6.14:Input of epochs(Source: Inertial Explorer)

Η διορθωμένη τροχιά με συγκεκριμένο αλγόριθμο που έτρεξε το πρόγραμμα είναι η παρακάτω



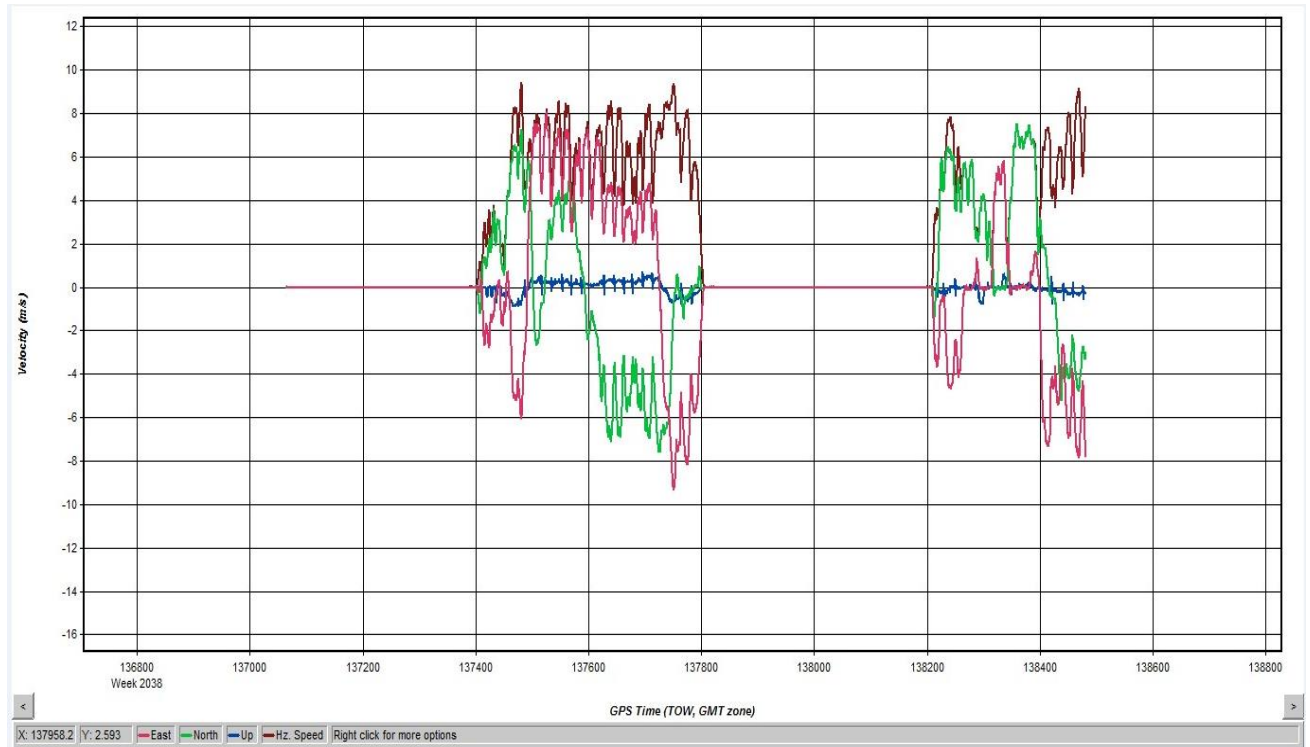
Σχήμα 6.15: Τροχιά οχήματος(Πηγή: InertialExplorer)
Figure 6.15:Orbit of vehicle (Source: Inertial Explorer)

Επομένως παρόλο που στο ΜΩΒ σημείο είναι το γκαράζ και δεν υπήρχε καλό σήμα με τον αλγόριθμο Loosely Coupled διορθώθηκε πλήρως η τροχιά.



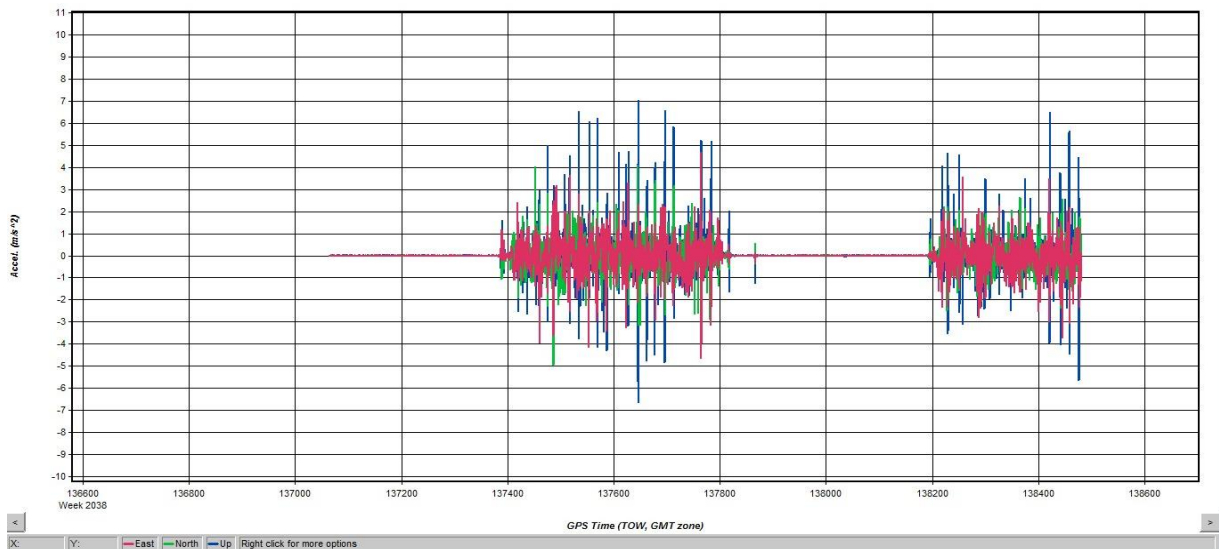
Σχήμα 6.16:Εντολή LC Solution(Πηγή: Inertial Explorer)
Figure 6.16:LC Solution (Source: Inertial Explorer)

Εφόσον βγήκε η τροχιά στην συνέχεια βγαίνουν ορισμένα διαγράμματα που έχουν να κάνουν με την ταχύτητα, την επιτάχυνση, τον αριθμό και την θέση των δορυφόρων.



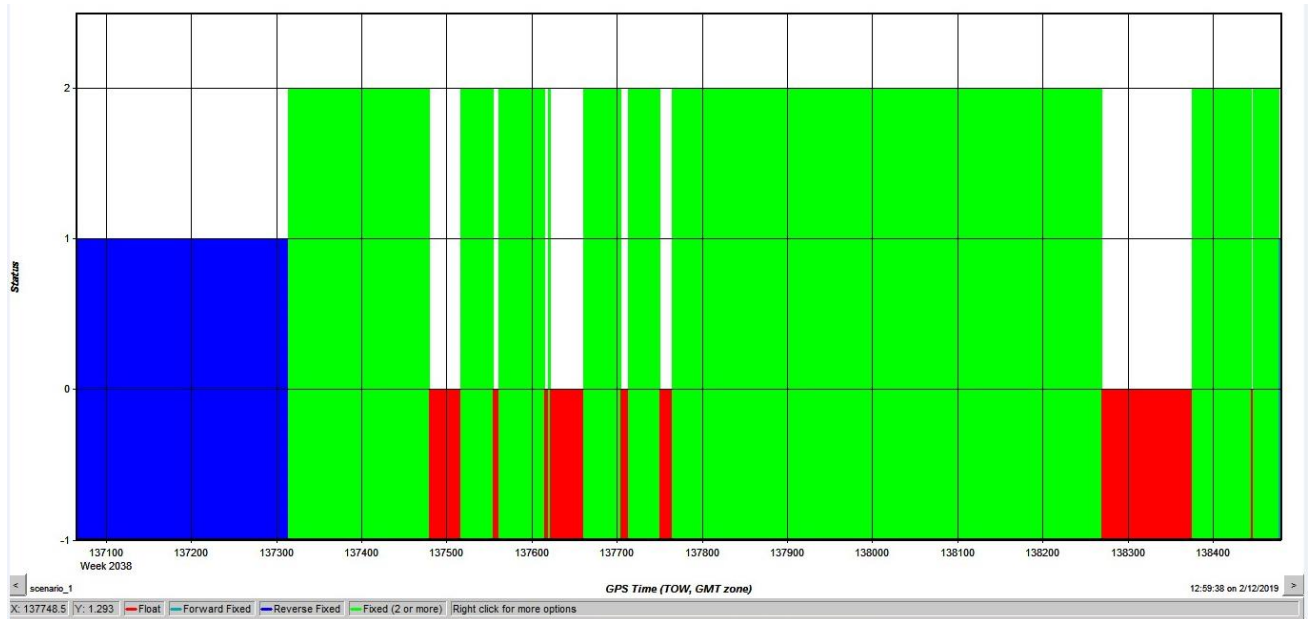
Σχήμα 6.17: Διάγραμμα ταχύτητας προς χρόνο (Πηγή: InertialExplorer)

Figure 6.17: Speed/time chart (Source: Inertial Explorer)



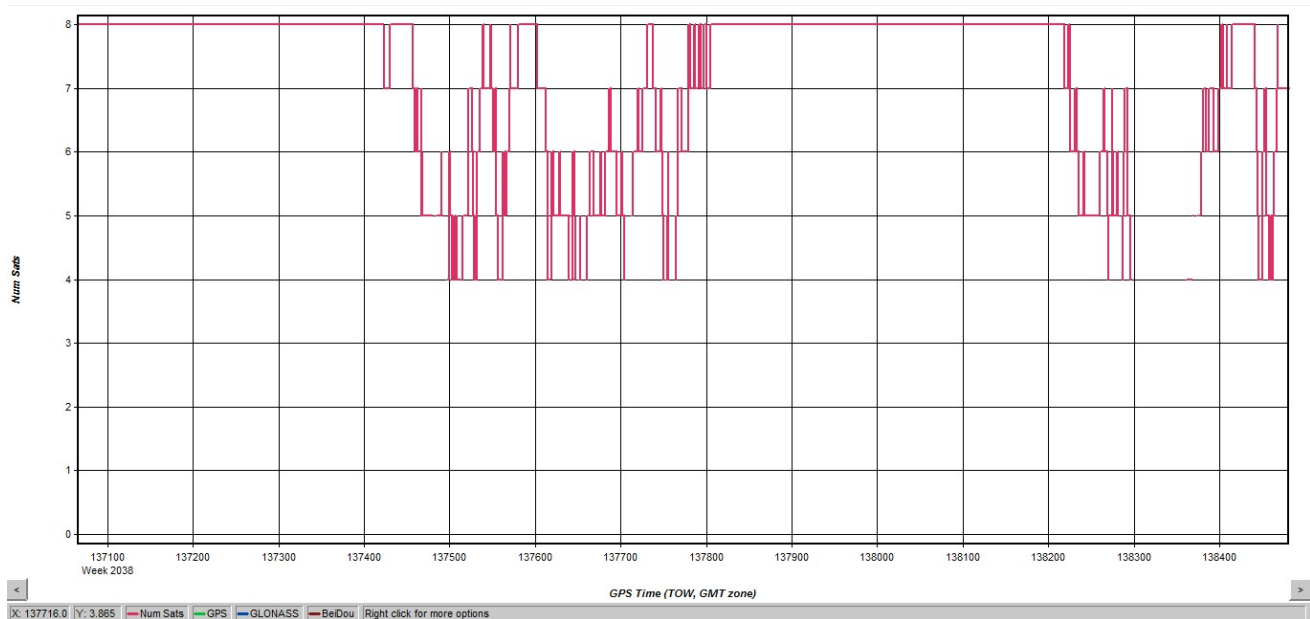
Σχήμα 6.18: Διάγραμμα επιτάχυνσης προς χρόνο (Πηγή: InertialExplorer)

Figure 6.18: Acceleration/time chart (Source: Inertial Explorer)

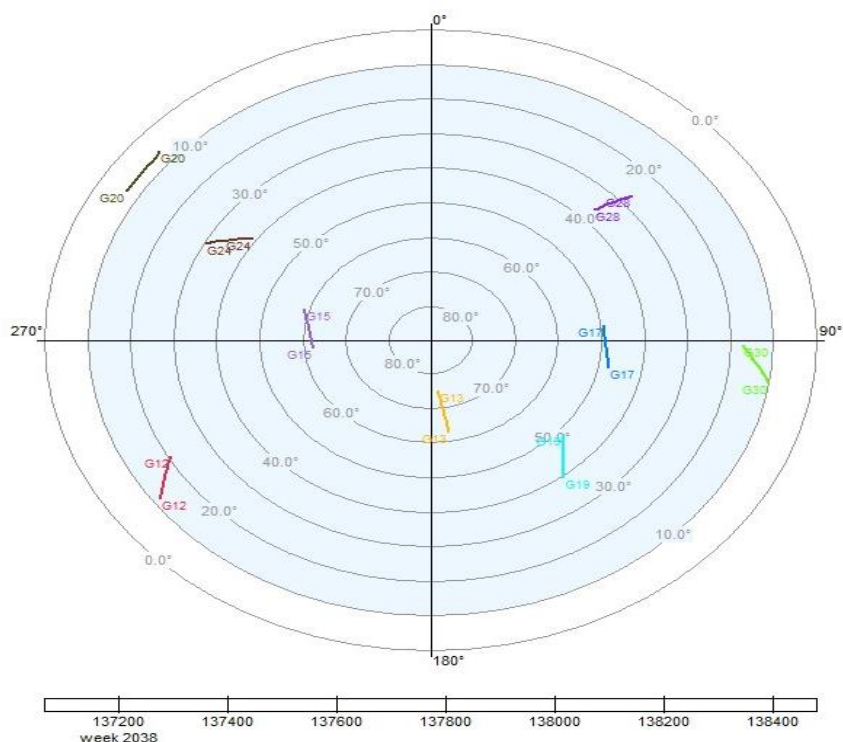


Σχήμα 6.19: Διάγραμμα κατάστασης δορυφόρων προς χρόνο (Πηγή: InertialExplorer)
 Figure 6.19: SAT status/time chart (Source: Inertial Explorer)

Σε αυτό το διάγραμμα με πράσινο χρώμα είναι το fixed, με κόκκινο χρώμα το float και με μπλε το reverse Fixed.

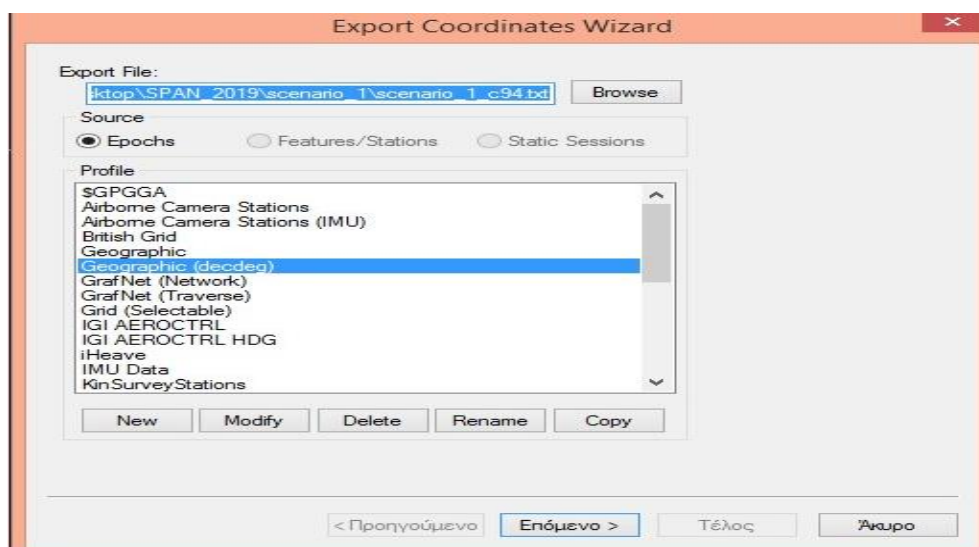


Σχήμα 6.20: Διάγραμμα αριθμού δορυφόρων προς χρόνο (Πηγή: InertialExplorer)
 Figure 6.20: Number of SAT/time chart (Source: Inertial Explorer)

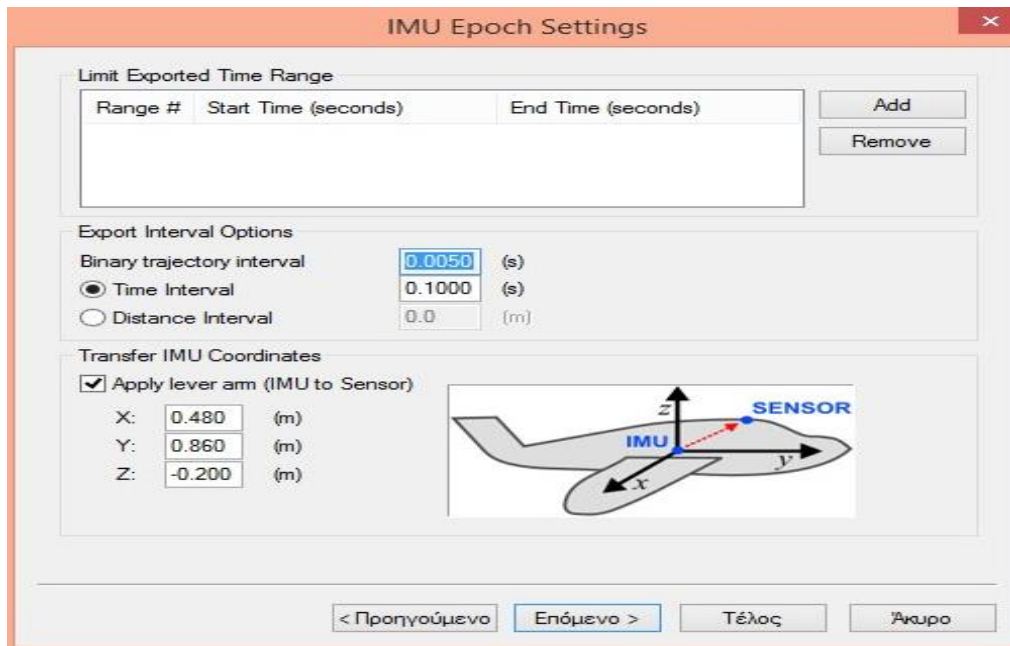


Σχήμα 6.21: Skyplot των δορυφόρων (Πηγή: InertialExplorer)
 Figure 6.21: Skyplot (Source: Inertial Explorer)

Το λογισμικό αυτό εκτός από τις παραπάνω λειτουργίες και τα απαραίτητα διαγράμματα παρέχει και επιλογές στο export προκειμένου να χρησιμοποιηθούν τα δεδομένα και σε άλλα λογισμικά. Με την διαδικασία Export Coordinates Wizard επιλέγουμε το format εξαγωγής των συντεταγμένων. Στην συγκεκριμένη εφαρμογή βγήκαν τρία exports.



Σχήμα 6.22: Επιλογή format για την εξαγωγή των συντεταγμένων (Πηγή: InertialExplorer)
 Figure 6.22: Format from export coordinates (Source: Inertial Explorer)



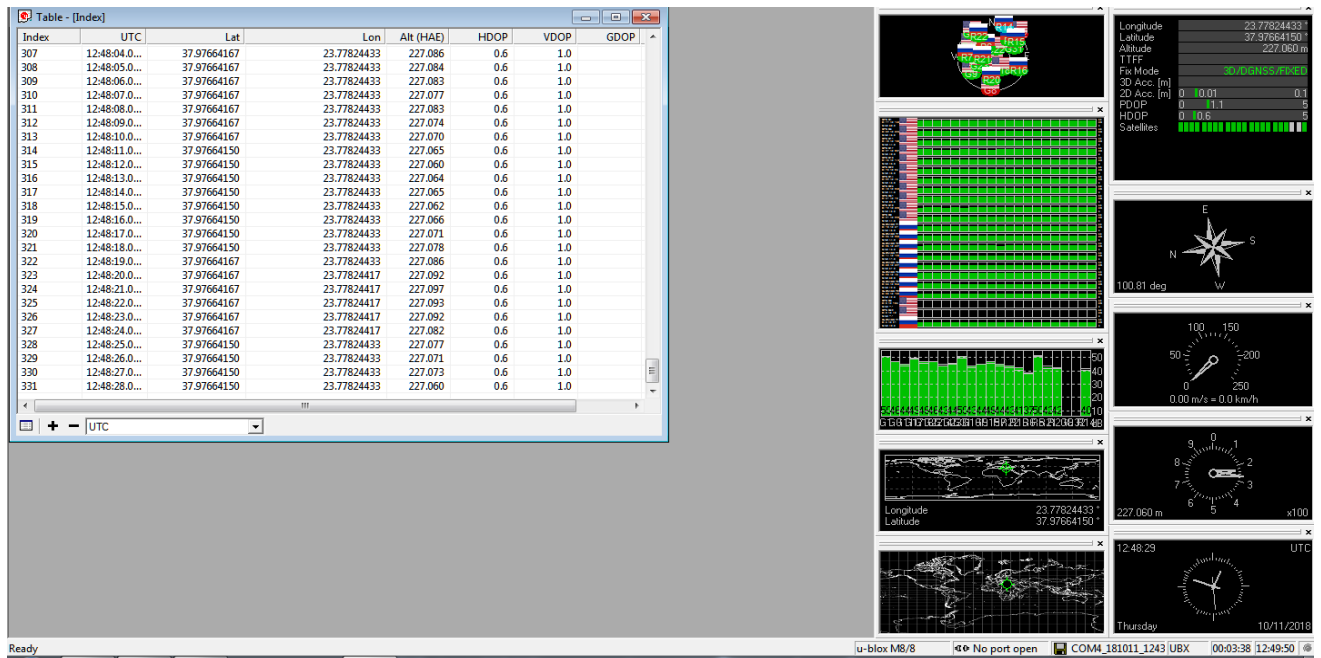
Σχήμα 6.23: Επιλογή lever arms (Πηγή: Inertial Explorer)
 Figure 6.23: Lever arms (Source: Inertial Explorer)

Η επιλογή των lever arms έγινε με τέτοιο τρόπο προκειμένου να έρθει το σύστημα συντεταγμένων στον αισθητήρα του SPAN.

Αφού επιλεγθούν σωστά τα lever arms βγαίνουν τα τελικά export σε μορφή .txt για περαιτέρω επεξεργασία. Για την συγκεκριμένη διπλωματική βγήκε ένα .txt στην κανονική του θέση, ένα .txt στη θέση του δέκτη C94, και ένα .txt στη θέση του M8T.

6.3 Διαδικασία λειτουργίας και εξαγωγής αποτελεσμάτων μέσω UCENTER

Με τον τρόπο που αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 4 που έγινε η παρουσίαση του λογισμικού που χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή των real-time δεδομένων του οχημάτος και του πεζού.



Σχήμα 6.24: Λογισμικό (Πηγή:ucenter)
Figure 6.24: Ucenter App(Source:ucenter)

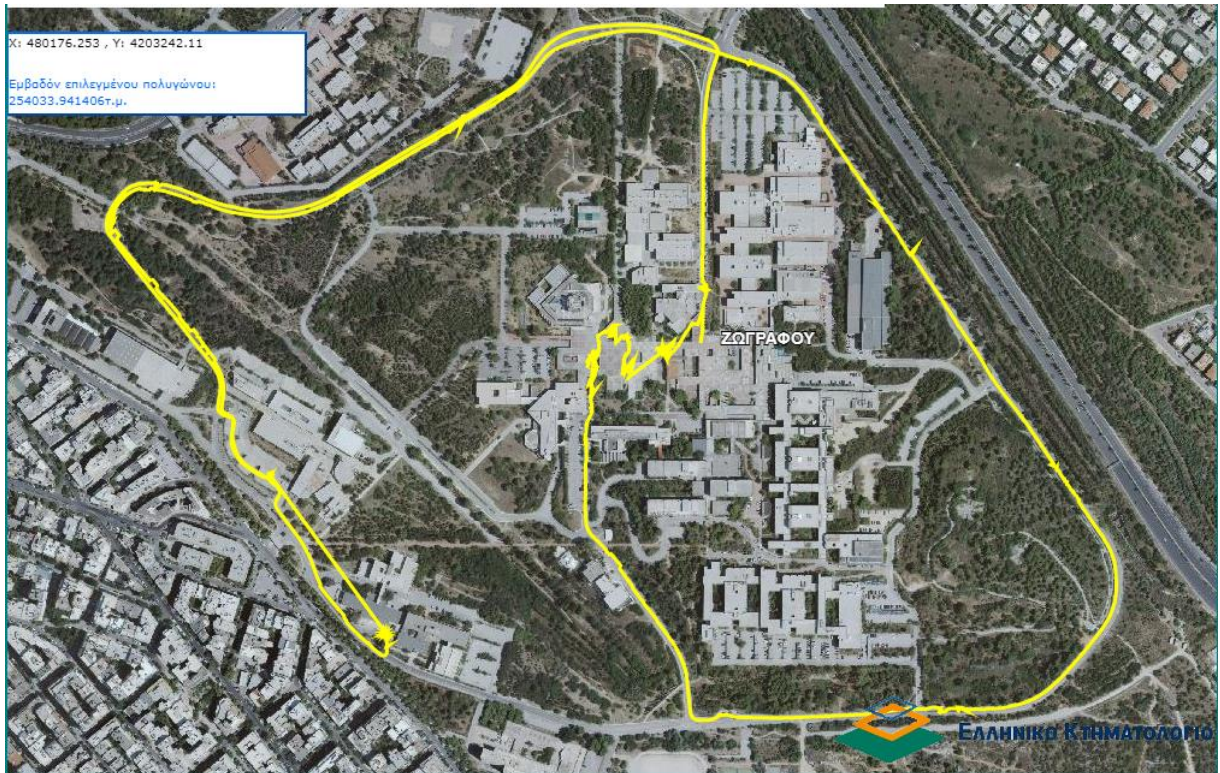
Στον πίνακα αριστερά βλέπουμε όλες τις μετρήσεις που πάρθηκαν με τους δέκτες GNSSκαθόλη την διάρκεια του πειράματος και στη συνέχεια με ένα SaveAs μεταφέρονται οι κατάλληλες στήλες(lat,long,alt,time,ratio,dop) σε υπολογιστικό φύλλο του Excell και εκεί μετατρέπονται στο σύστημα αναφοράς ΕΓΣΑ'87 όπως όλα τα αρχεία συντεταγμένων από τα παραπάνω τρία λογισμικά.

Τρία λογισμικά: RTKLIB,UCENTER,Inertial Explorer

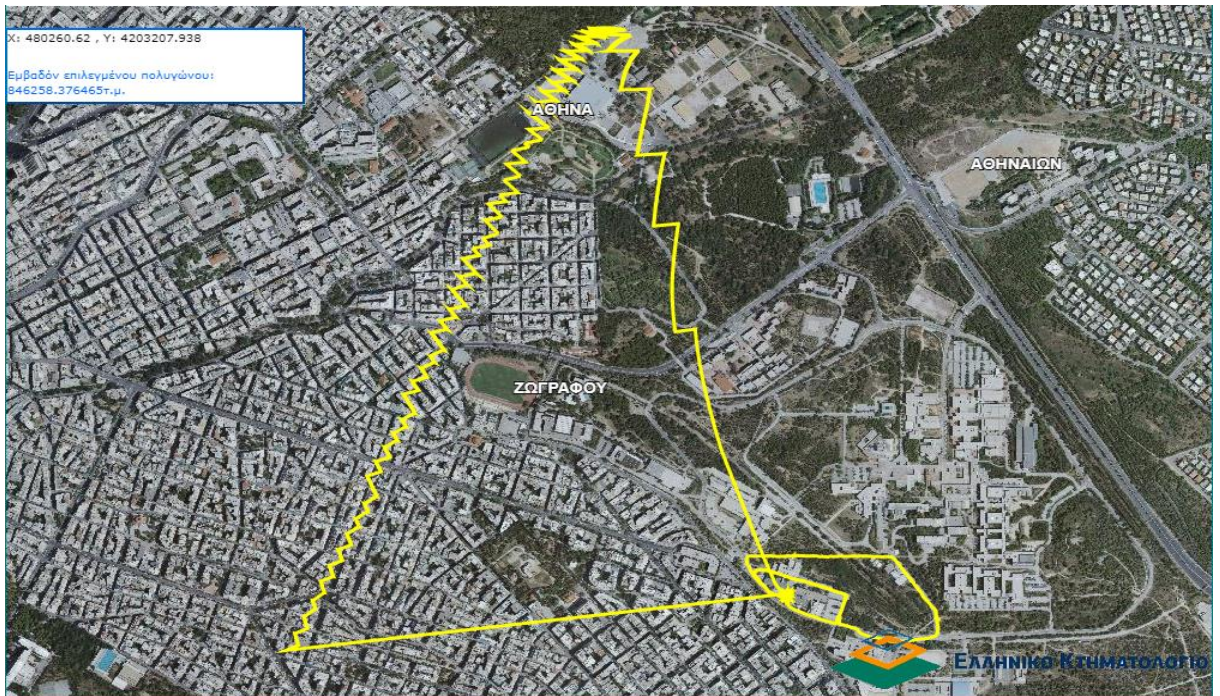
Στη συνέχεια για τον έλεγχο των τροχιών ότι είναι οντως αυτές μέσα στην πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου, φορτώθηκαν στην βάση του κτηματολογίου σε μορφή .txt και βγήκαν τα παρακάτω αποτελέσματα και έτσι σωστά έγινε και η μετατροπή που επιβεβαιώνει την προσχεδιασμένη πορεία του οχήματος στο πεδίο.

Κτηματολόγιο

Για την εύκολη παρακολούθηση για την τροχιά του αυτοκινήτου δημιουργήθηκαν και αρχεία που είναι συμβατά με την βάση του κτηματολογίου και έτσι καθιστά δυνατή την εμφάνιση της τροχιάς του αυτοκινήτου μέσω της ιστοσελίδας του κτηματολογίου.



Σχήμα 6.25: Τροχιά αυτοκινητου στη βάση κτηματολογίου(GNSS:C94) (Πηγή: ktimatologio.gr)
 Figure 6.25: Vehicle orbit with C94 GNSS receiver (Source: ktimatologio.gr)



Σχήμα 6.26: Τροχιά πεζού στη βάση κτηματολογίου(SPATIAL) (Πηγή: ktimatologio.gr)
 Figure 6.26: Pedestrian orbit with SPATIAL (Source: ktimatologio.gr)

Στην δευτερη εικόνα που αφορά τον πεζό με τον δέκτη του SPATIAL φαίνεται εκτός από την τροχιά που έκανε ο πεζός(παρακάτω εικόνα) ότι μέχρι να ξεκινήσει να κάνει την τροχιά υπήρχε μια χρονική διάρκεια προκειμένου να γίνει ο εντοπισμός του πεζού και για αυτό το λόγο παρατηρούνται μετρήσεις μακριά από την Πολυτεχνειούπολη που έγινε το πείραμα.

Επομένως σε ενδεχόμενη χρήση του συστήματος αυτού θα ήταν καλό να υπάρχουν ορισμένα λεπτά στασιμότητας προκειμένου να αποφευχθούν λανθασμένες παρατηρήσεις στην προς μελέτη οποιασδήποτε τροχιάς.Οπως και έγινε στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία καθώς φαίνεται στην παρακάτω εικόνα ότι η τροχια κύλησε ομαλά.



Σχήμα 6.27: Τροχιά πεζού στη βάση κτηματολογίου(SPATIAL) (Πηγή: ktimatologio.gr)
Figure 6.27: Pedestrian orbit with SPATIAL (Source: ktimatologio.gr)

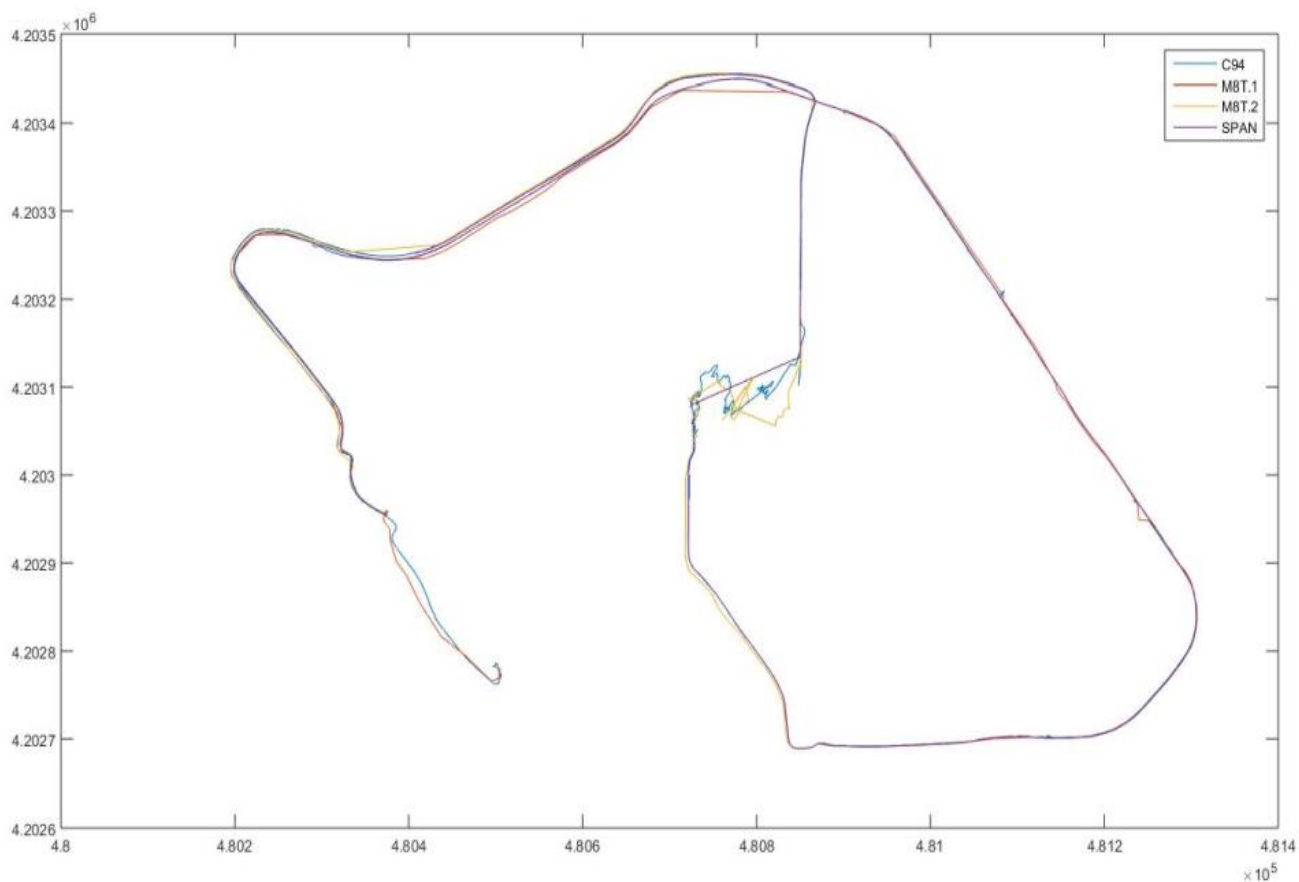
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7:ΣΥΚΡΙΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΕΙΣ ΤΡΟΧΙΩΝ ΜΕΣΩ ΤΩΝ ΔΕΚΤΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ

Για την σύγκριση των τροχιών μεταξύ των δεκτών της u-blox (C94,M8T)του SPAN και του SPATIAL χρησιμοποιήθηκε το περιβάλλον της MATLAB.Ακολουθούν στην συνέχεια οριζοντιογραφίες και χρονοδιαγράμματα από τους παραπάνω δέκτες καθώς και οι αιτιολογήσεις για τα αποτελέσματα που προέκυψαν.

7.1Πείραμα 1(Τροχιά Αυτοκινήτου)

7.1.1 Οριζοντιογραφίες

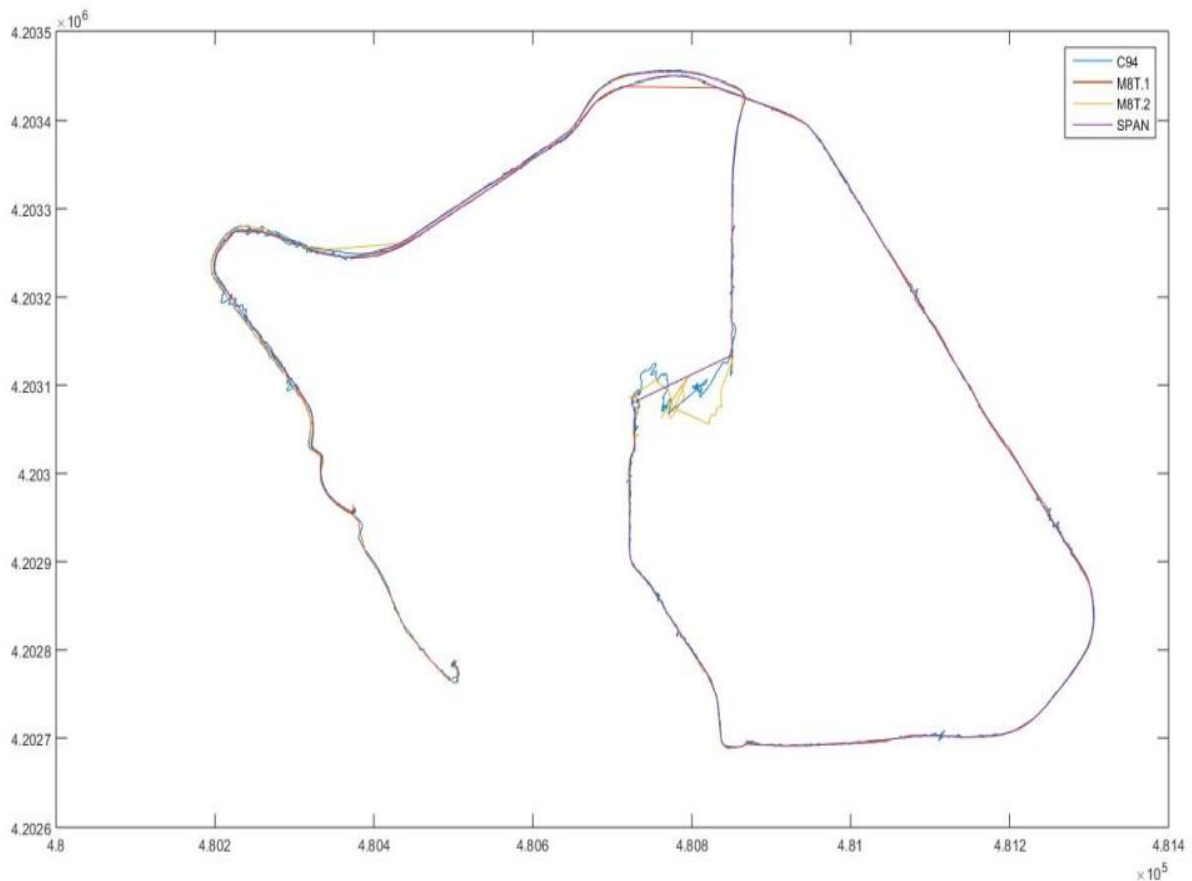
Σε περιβάλλον MATLAB εισήχθησαν οι συντεταγμένες από τους τρεις δέκτες και με την εντολή plot προέκυψε η πλήρης εικόνα για την τροχιά του αυτοκινήτου που εκτελέστηκε στο πείραμα.



Σχήμα 7.1:Τροχια αυτοκινήτου(Αλγόριθμος Continuous)

Figure 7.1:Vehicle orbit(Continuous algorithm)

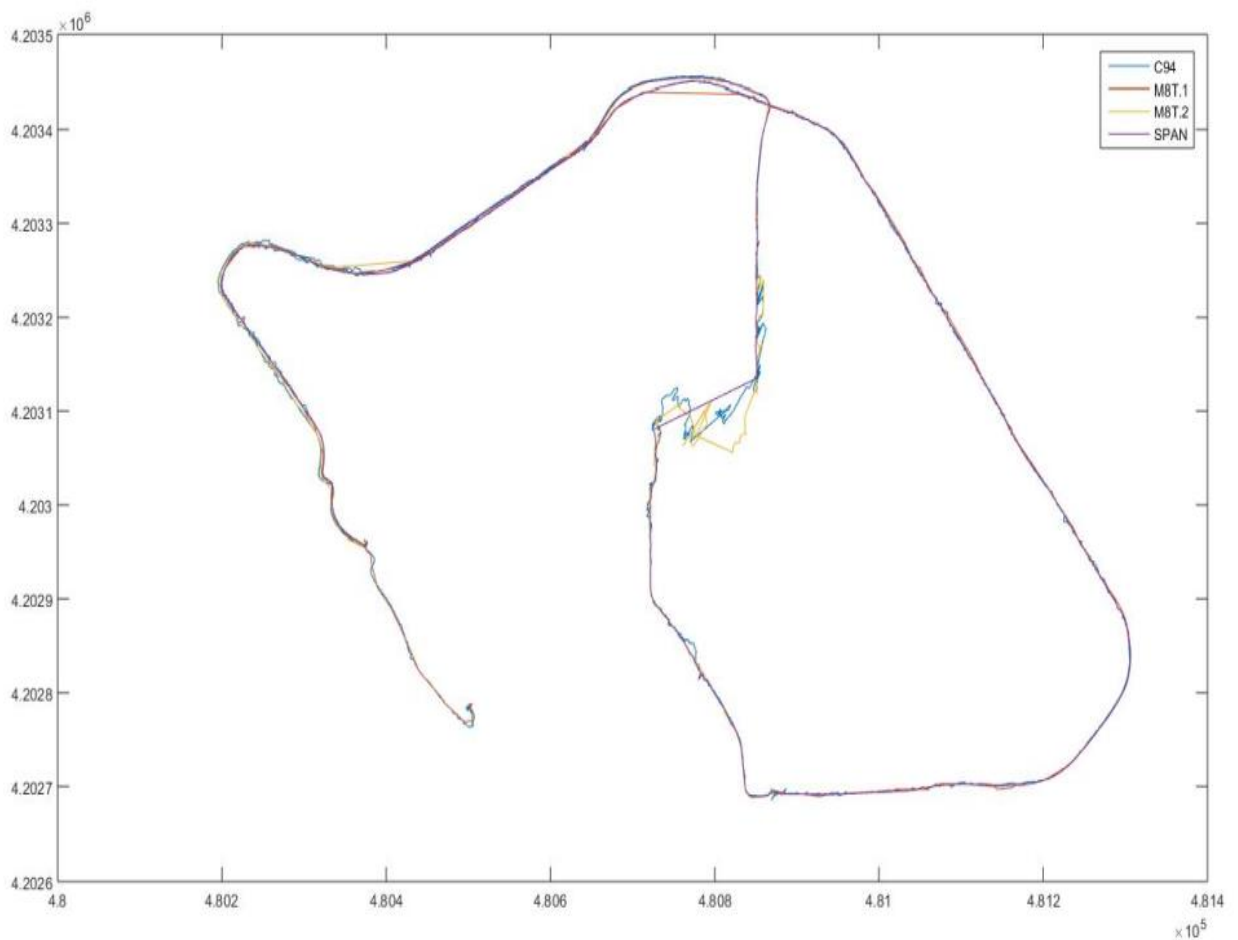
Στην εικόνα παρατηρείται ότι σε γενικές γραμμές εξελίσσεται ομαλά η τροχιά με χαρακτηριστικό πρόβλημα το υπόγειο παρκινγκ (κάτω από την βιβλιοθήκη) όπου και χάθηκε το σήμα για αυτό φαίνεται να αλλάζει η τροχιά του αυτοκινήτου. Η μόνη σταθερή τροχιά που υπάρχει είναι του SPAN που όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο για την επεξεργασία των μετρήσεων με τον κατάλληλο αλγόριθμο και με τα αδρανειακά που έχει έφερε την τροχιά πιο ομαλά.



Σχήμα 7.2:Τροχια αυτοκινήτου(Αλγόριθμος Instantinuous)
Figure 7.2:Vehicle orbit(Instantinuous algorithm)

Στην παραπάνω εικόνα φαίνεται πάλι η τροχιά του αυτοκινήτου από όλους τους δέκτες αλλά υπάρχουν διαφορές σε σχέση με την προηγούμενη όπως φαίνεται καθώς εκτός από το σημείο πάρκινγκ φαίνεται να είναι λίγο χειρότερη η θέση του οχήματος και σε κάποια άλλα σημεία.

Αυτή η διαφορά των δυο τελευταίων εικόνων οφείλεται στον διαφορετικό αλγόριθμο post process που χρησιμοποιήθηκε από το rktlib για τους δέκτες C94 και M8T.Φαίνεται ότι ο αλγόριθμος continuousέφερε μια καλύτερη διόρθωση σε σχέση με τον αλγόριθμο instantinuous.



Σχήμα 7.3:Τροχια αυτοκινήτου(Αλγόριθμος Single)
 Figure 7.3:Vehicle orbit(Single solution)

Στην παραπάνω εικόνα η όλη διαδικασία λύθηκε χωρίς να υπάρχει το base.Επομένως αναμενόμενο ήταν η λύση να μην είναι τόσο καλή(διορθωμένη).Οι τροχιές του single solution είναι απευθείας αυτές που έπαιρναν οι δέκτες κατά την διάρκεια του πειράματος.

Στην συνέχεια εξετάζεται η κίνηση του οχήματος κατά μήκος και κατά πλάτος καθώς επίσης και μεταβολές της ταχύτητας και της επιταχύνσης που είχε κατα την διάρκεια των μετρήσεων και το πως αυτές επηρεάστηκαν από την κατάσταση των δορυφόρων, και από τα σημεία που πέρανε το όχημα.

7.1.1.1 Δέκτης C94

Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιήθηκε για αυτήν την σύγκριση μέσω του προγράμματος του RTKLIB ήταν ο fix and hold combined. Αυτός ο αλγόριθμος κρατάει τις fixed τιμές του δέκτη και προσπαθεί να τις συσχετίσει με τις επόμενες θέσεις.

Το combined στην προκειμένη περίπτωση λύνει την τροχιά του αυτοκινήτου και όπως εκτελέστηκε κανονικά στο πείραμα αλλά και από την αντίθετη κατεύθυνση. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το fix combined να μας δίνει την όσο το δυνατόν καλύτερη λύση της τροχιάς σε post process διαδικασία.



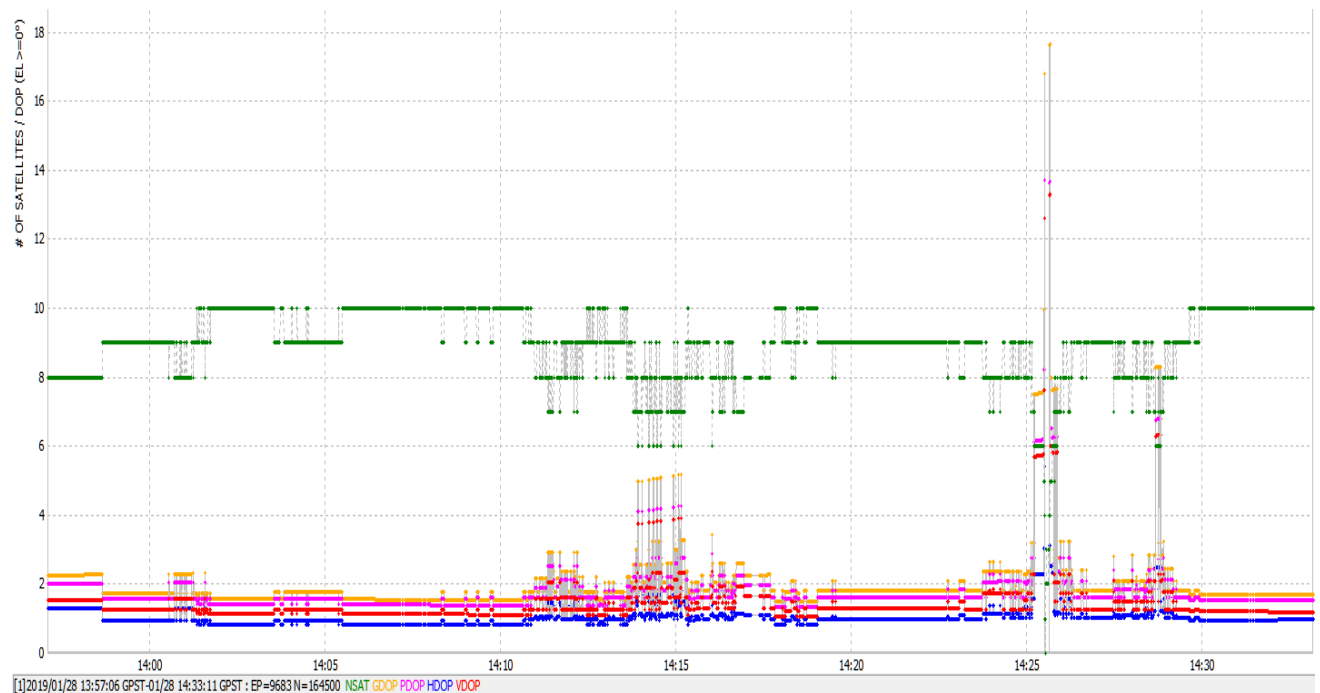
Σχήμα 7.4: Τροχιά αυτοκινήτου (Αλγόριθμος fix and hold combined)

Figure 7.4: Vehicle orbit (fix and hold combined algorithm)

Όπως φαίνεται στην εικόνα της τροχιάς τα πράσινα σημεία είναι τα σημεία που έγινε fixed η τροχιά, τα κίτρινα σημεία είναι το float, και το κόκκινο είναι τα σημεία που

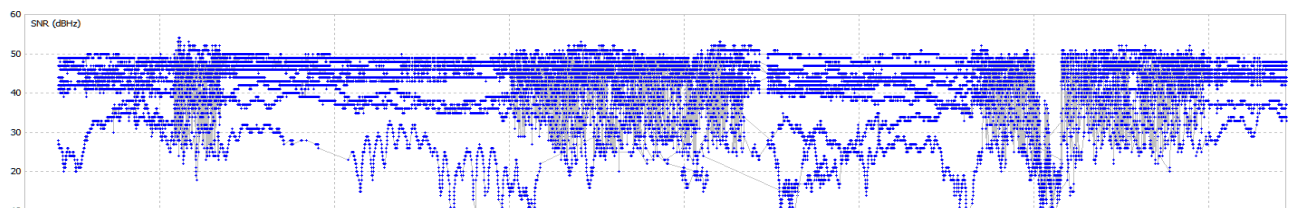
χάθηκε το σήμα. Με την συγκεκριμένη λύση το ποσοστό fixed είναι στο 70%, το float στο 27%, και το single στο 2%.

Την παραπάνω συμπεριφορά με τις διάφορες τιμές που παίρνει (fixed, float, single) την δικαιολογούν τα παρακάτω διαγράμματα.



Σχήμα 7.5: Άξονας Χ(ώρα), Άξονας Υ(αριθμός δορυφόρων και γεωμετρία)

Figure 7.5: X(time), Y(number of SAT and DOP)



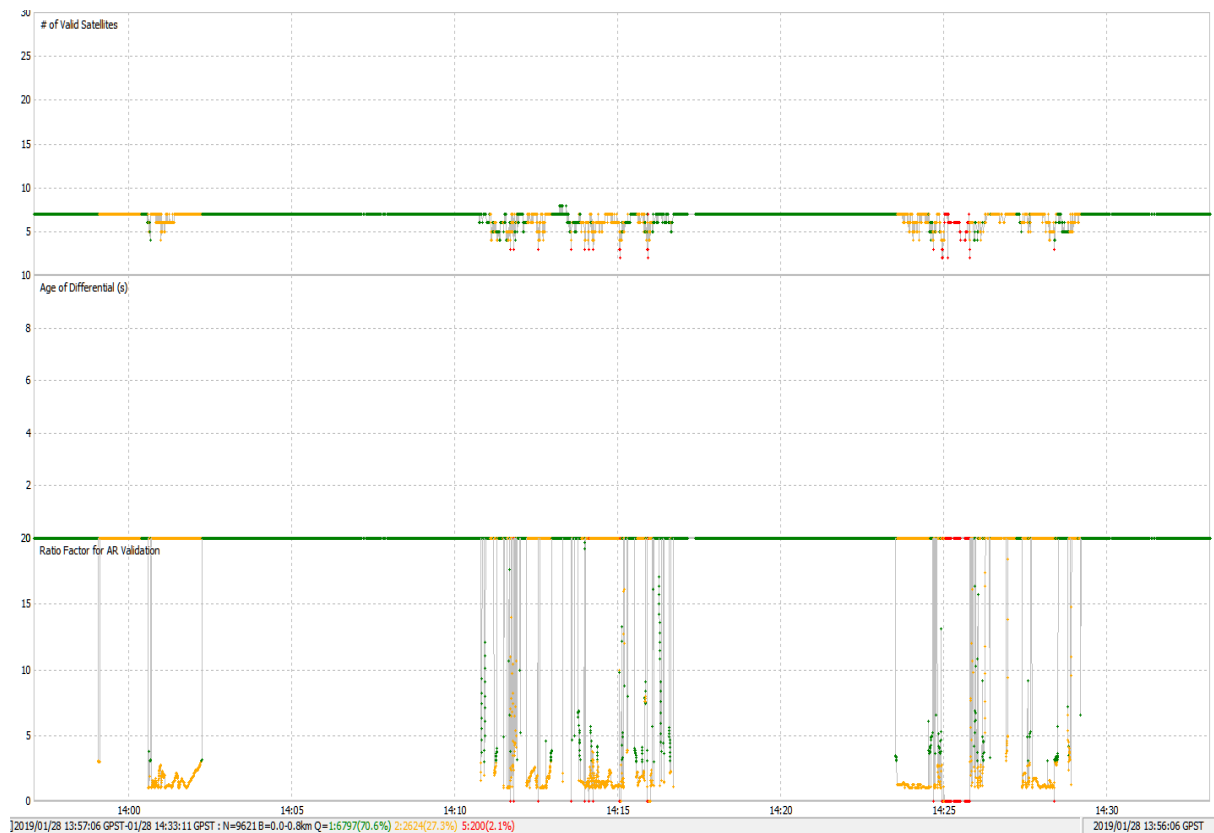
Σχήμα 7.6: Δείκτης SNR κατά την διάρκεια της τροχιάς

Figure 7.6: SNR during experiment

Από το πρώτο διάγραμμα με τον αριθμό των δορυφόρων κατά την διάρκεια της τροχιάς φαίνεται ότι όταν έχουμε αρκετούς δορυφόρους το DOP κυμαίνεται σε χαμηλές τιμές ενώ όταν χάνονται δορυφόροι φαίνεται ότι ο δείκτης DOP αυξάνεται αμέσως. Χαμηλό DOP σημαίνει ακριβέστερες μετρήσεις επομένως μια «ορθή» τροχιά χαρακτηρίζεται από χαμηλές τιμές DOP.

Στην ώρα 14:25 που φαίνεται από το διάγραμμα ότι το DOP έχει εκτοξευτεί σε μεγάλες τιμές είναι η ώρα που το όχημα περνούσε το υπόγειο parking κάτω από την βιβλιοθήκη στο χώρο της Πολυτεχνειούπολης.Επομένως ήταν αναμενόμενη αυτή η συμπεριφορά.

Την ορθότητα των μετρήσεων για την αποτύπωση της τροχιάς έρχεται να συμπληρώσει και το δεύτερο διαγράμμα του SNR που έχει σχολιαστεί σε προηγούμενο κεφάλαιο ο ρόλος του.Όπως αναφέρθηκε όταν η τιμή του SNR είναι μεγάλη τότε η ποιότητα των μετρήσεων είναι καλύτερη.Επομένως η μεγάλη διαφορά στην τιμή του SNR που παρατηρείται στην ώρα που το όχημα περνάει από το υπόγειο parkingέρχεται να επιβεβαιώσει την συμπεριφορά αυτή του δείκτη(SNR).

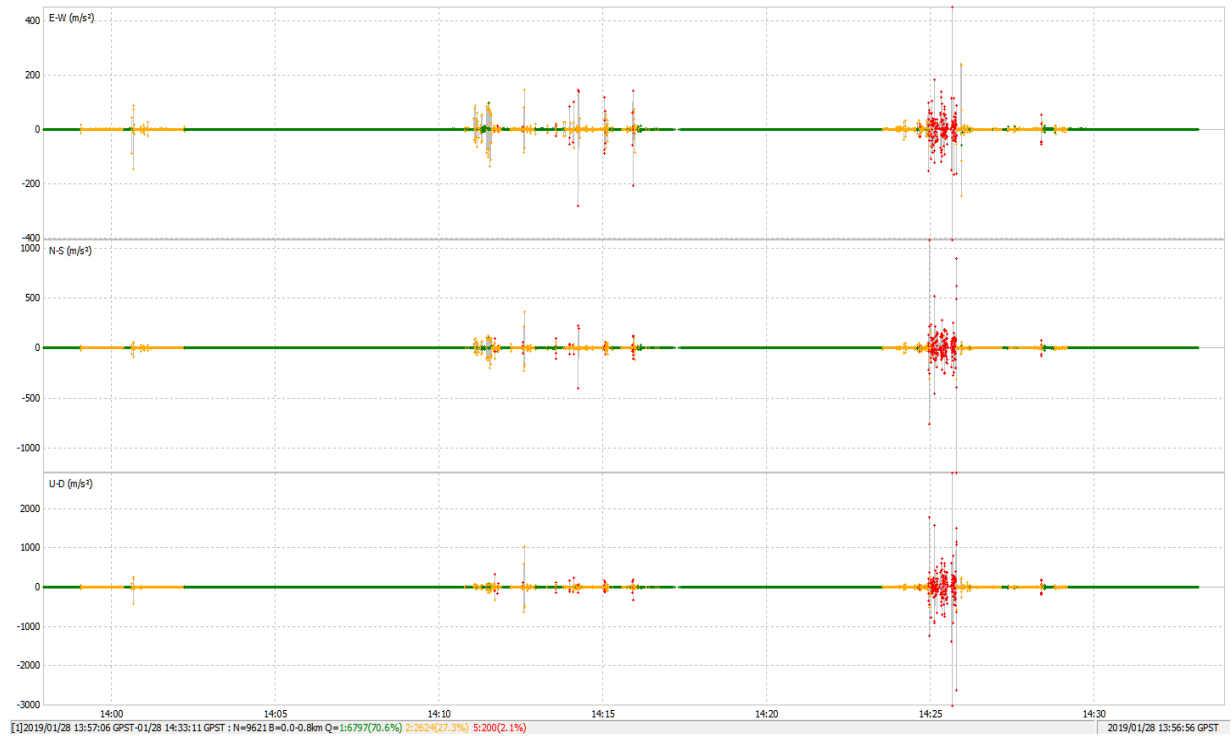


Σχήμα 7.7: Συσχέτιση δορυφόρων και λύση (ratioFactor) συναρτήσει ώρας

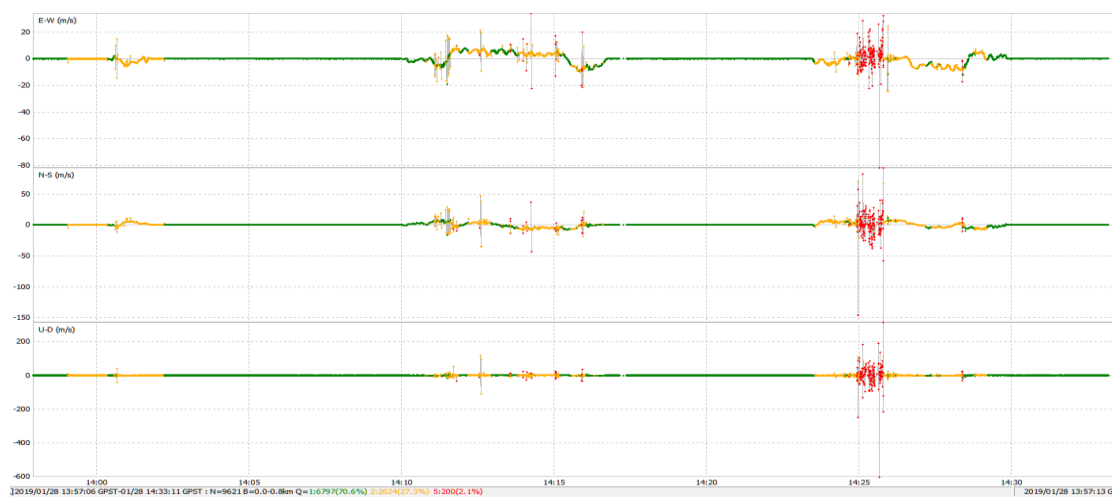
Figure7.7:Ratio Factor/time-chart

Η άγνωστη μέχρι τώρα παράμετρος Radio Factorfor ARvalidation έχει να κάνει με τις καλύτερες λύσεις.Είναι αναλόγια της καλύτερης λύσης με την επομένη καλύτερη λύση καθώς προσπαθεί να λύσει τον ακέραιο κύκλων φάσεων.Επομένως όπου ο δείκτης είναι υψηλός σημαίνει ότι έχουμε καλή λύση.Αυτό φαίνεται και από το διάγραμμα που όταν πέφτει ο αριθμός των δορυφόρων πέφτει και η ποιότητα της λύσης.

Παρακάτω φαίνονται τα δυο διαγράμματα ταχυτήτων(πρώτο) και επιταχύνσεων(δεύτερο) στα οποία ξεχωρίζει πάλι η θέση του οχήματος στο υπόγειο parking(πόλλες κόκκινες τιμές, single solution)καθώς και ενδιάμεσες τιμές που είχε χαθεί το σήμα και στη συνέχεια βρέθηκε ξανά.



Σχήμα 7.8: Διάγραμμα ταχύτητας συναρτήσει ώρας
Figure 7.8: Speed/time chart



Σχήμα 7.9: Διάγραμμα επιτάχυνσης συναρτήσει ώρας
Figure 7.9: Acceleration/time chart

7.1.1.2 Δέκτης M8T

Τροχια 1

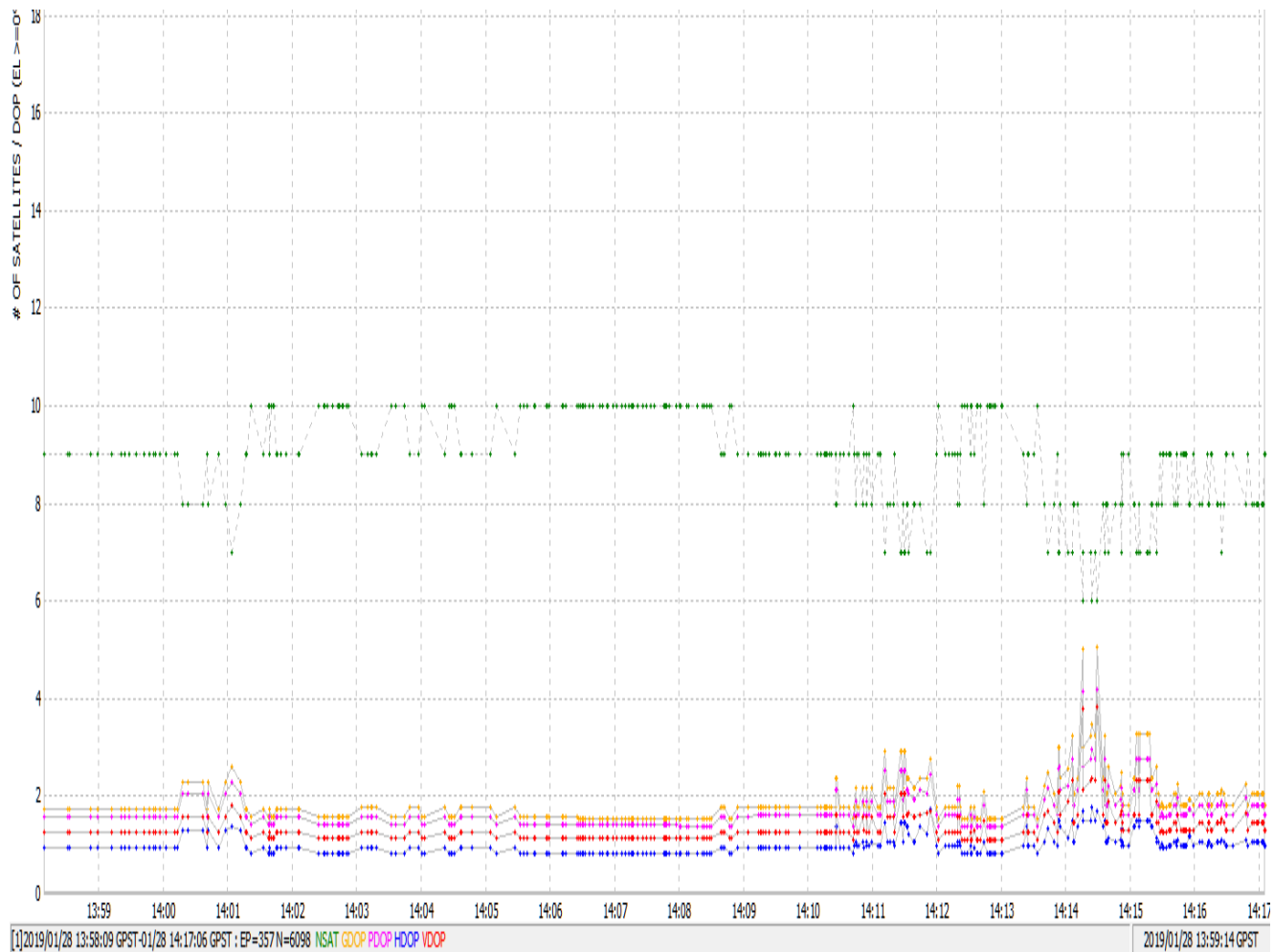
Την ίδια διαδικασία πάλι με λύση fix and hold combined χρησιμοποιήθηκε και για τον δέκτη M8P.Θα παρουσιαστούν παρακάτω τα ίδια διαγράμματα τροχιών,αριθμών δορυφόρων,γεωμετρίας,δείκτης SNR, και διαγράμματα ταχυτήτων και επιταχύνσεων.



Σχήμα 7.10:Τροχια αυτοκινήτου(Αλγόριθμος fixandholdcombined)
Figure 7.10:Vehicle orbit(fix and hold combined algorithm)

Φαίνεται ότι παρόλου που λύθηκε με τον ίδιο αλγόριθμο τα ποσοστά fixed σε σχέση με τον δέκτη C94 είναι χαμηλότερα.Ποσοστό fixed 30%,float 70% και single 0.6%.Ο δέκτης GNSS Low Cost C94, όντας πιο καινούριος από τον M8T είχε καλύτερη απόδοση στην απόδοση της τροχιάς του αυτοκινήτου.

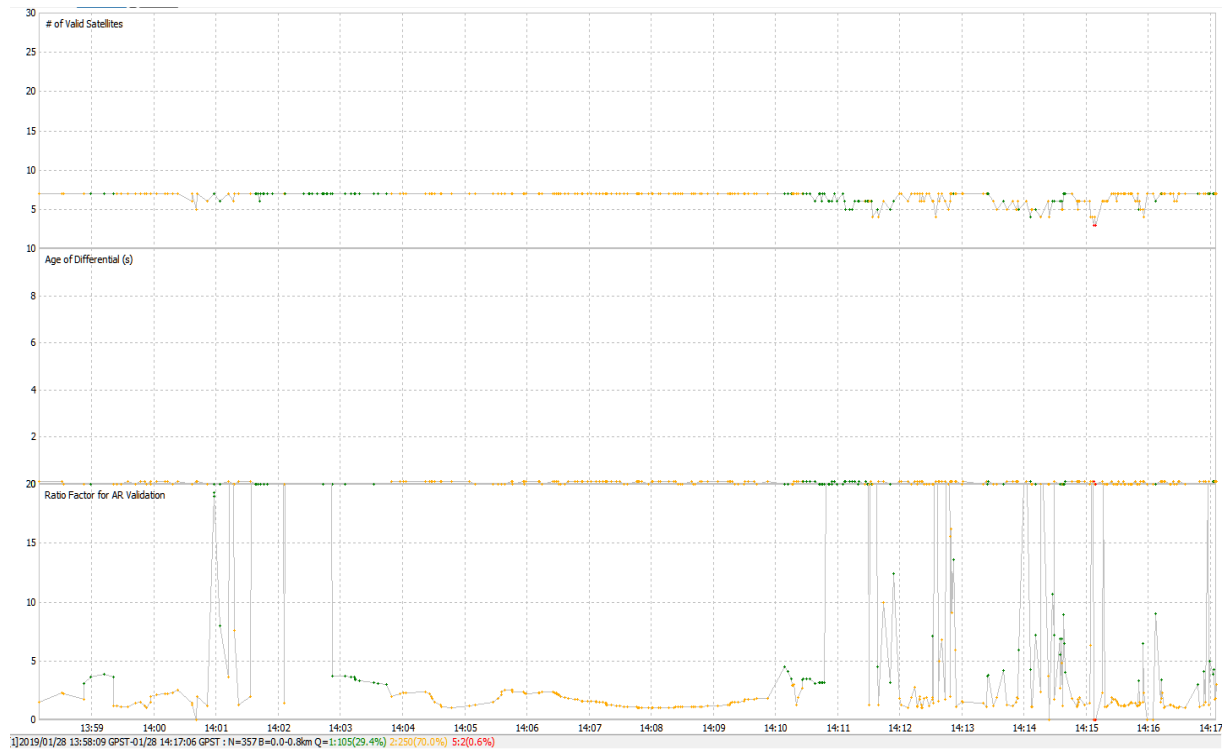
Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα διαγράμματα της τροχιάς του αυτοκινήτου όπως έγινε παραπάνω με τον δέκτη C94 προκειμένου να παρατηρηθούν οι διαφορές στους δύο δέκτες χρησιμοποιώντας τον ίδιο αλγόριθμο επεξεργασίας.(fix and hold combined).



Σχήμα 7.11: Άξονας Χ(ωρα), Άξονας Υ(αριθμός δορυφόρων και γεωμετρία).

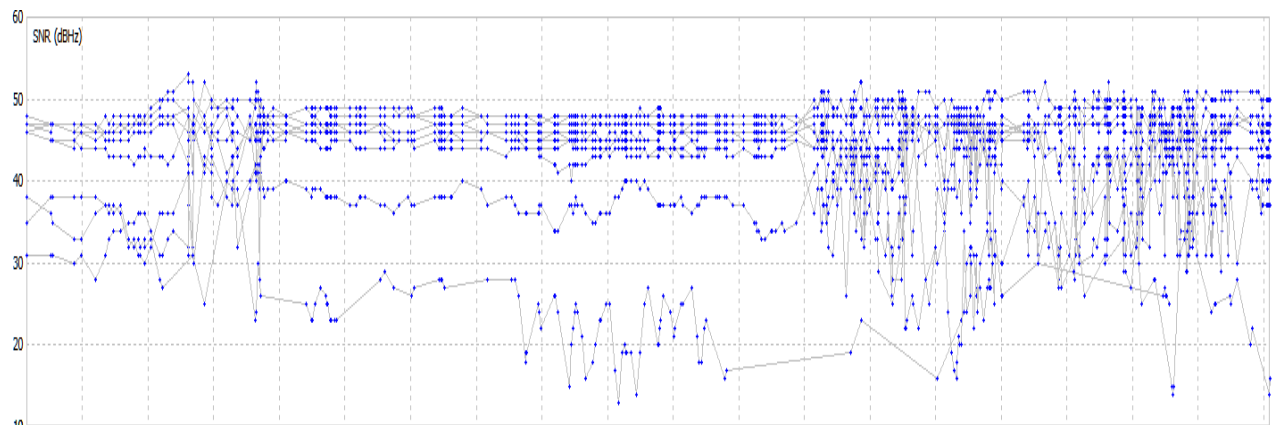
Figure 7.11: X(time), Y(number of SAT and DOP)

Παρατηρείται ότι όσο ο αριθμός των δορυφόρων είναι μεγάλος τόσο χαμηλότερο DOP άρα καλύτερη γεωμετρία έχουμε.Όπου ο αριθμός των δορυφόρων ελαττώνεται το DOP αυτόματα ανεβάζει τιμή,όπως είναι λογικό.Επομένως αυτό είναι ένα σημαντικό διαγράμμα και μπορούμε να έχουμε μια καλή γνώση κατα την διάρκεια των μετρήσεων(άξονας Υ) ποιες χρονικές στιγμές είχαμε καλή γεωμετρία με αποτέλεσμα να έχουμε καλύτερα αποτελέσματα.



Σχήμα 7.12: Συσχέτιση δορυφόρων και λύση (ratioFactor) συναρτήσει ώρας
 Figure7.12:Ratio-Factor/timechart

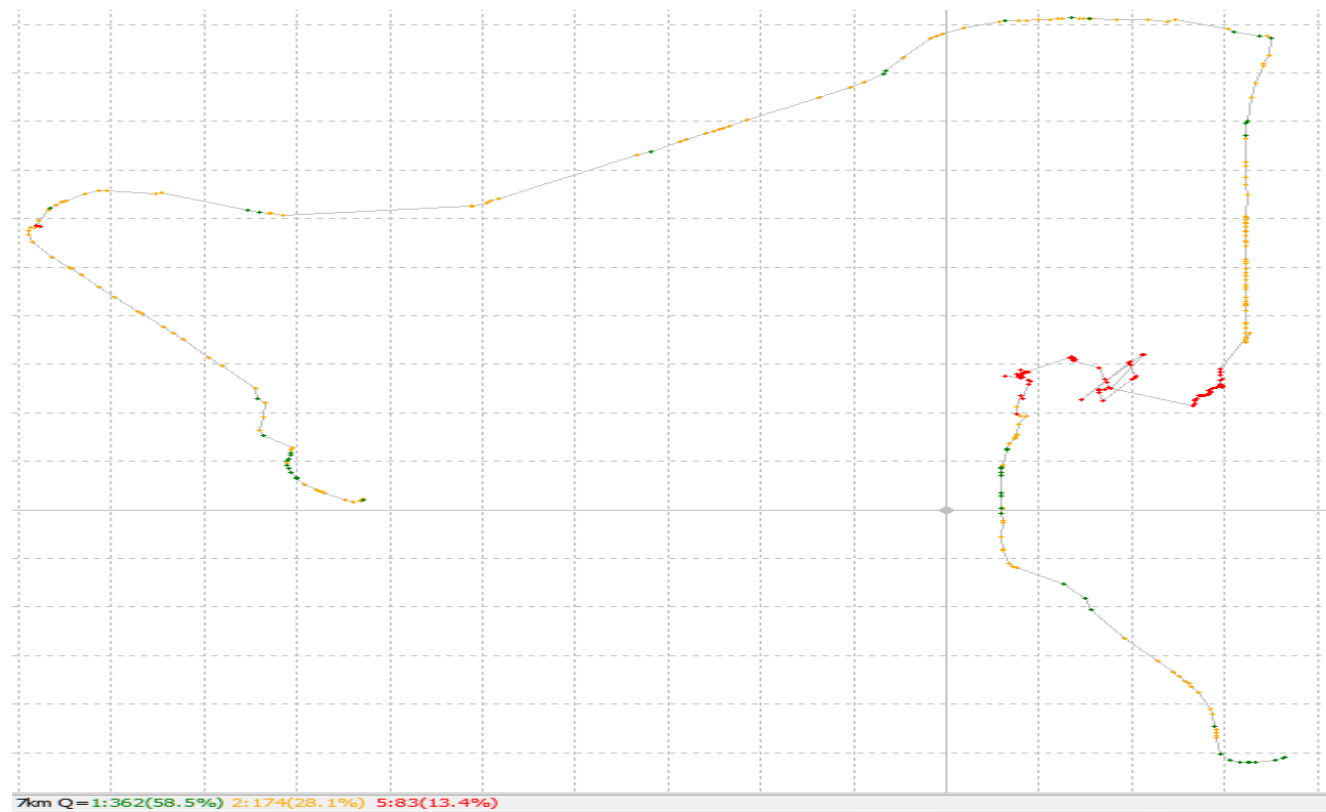
Πάλι εδώ σχολιάζεται το ίδιο γεγονός. Όσο το Ratio Factor έχει μεγάλες τιμές σημαίνει ότι υπάρχουν καλές λύσεις. Εδώ συγκριτικά με τον δέκτη C94 φαίνεται ότι υπάρχουν περισσότερες χαμηλές τιμές που έχει σαν αποτέλεσμα χαμηλότερης ποιότητας λύσεις. Η λειτουργία του παραπάνω διαγράμματος αναλύθηκε παρουσιάζοντας το διάγραμμα αυτό για τον δέκτη C94.



Σχήμα 7.13: Δείκτης SNR κατά την διάρκεια της τροχιάς.
 Figure7.13:SNR during experiment

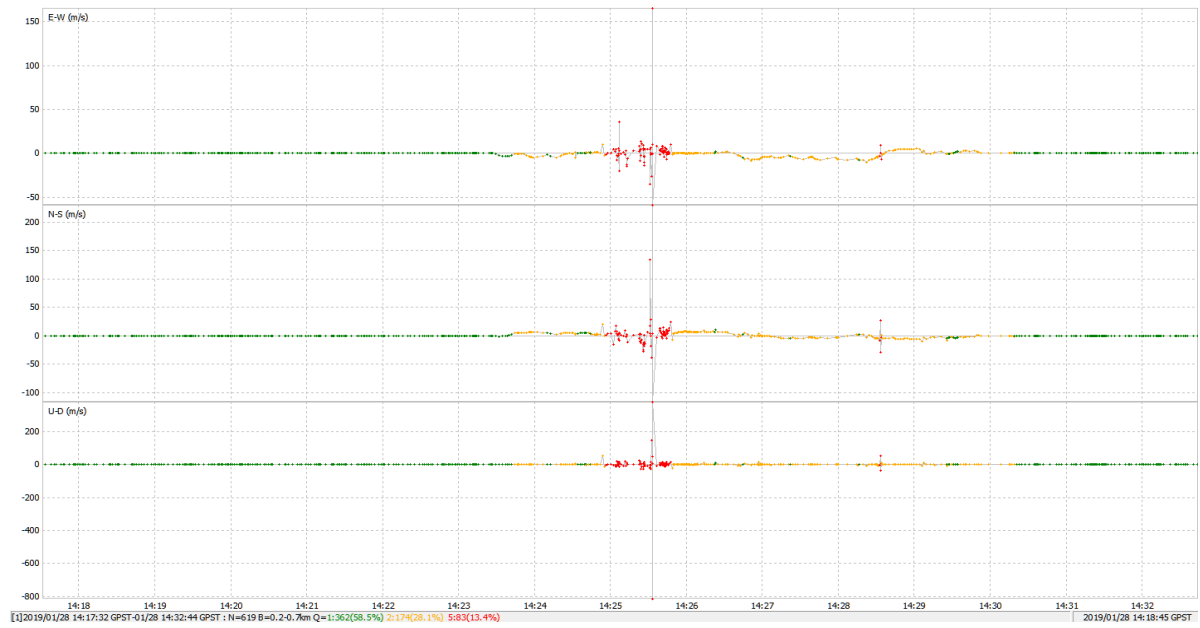
Φαίνεται ότι σε αρκετά σημεία ο δείκτης SNR είναι χαμηλότερος σε σχέση με το SNR του δέκτη C94. Επομένως πάλι η ποιότητα των μετρήσεων είναι υποδεέστερη σε σχέση με τον χαμηλού κόστους δέκτη C94.

Τροχιά 2

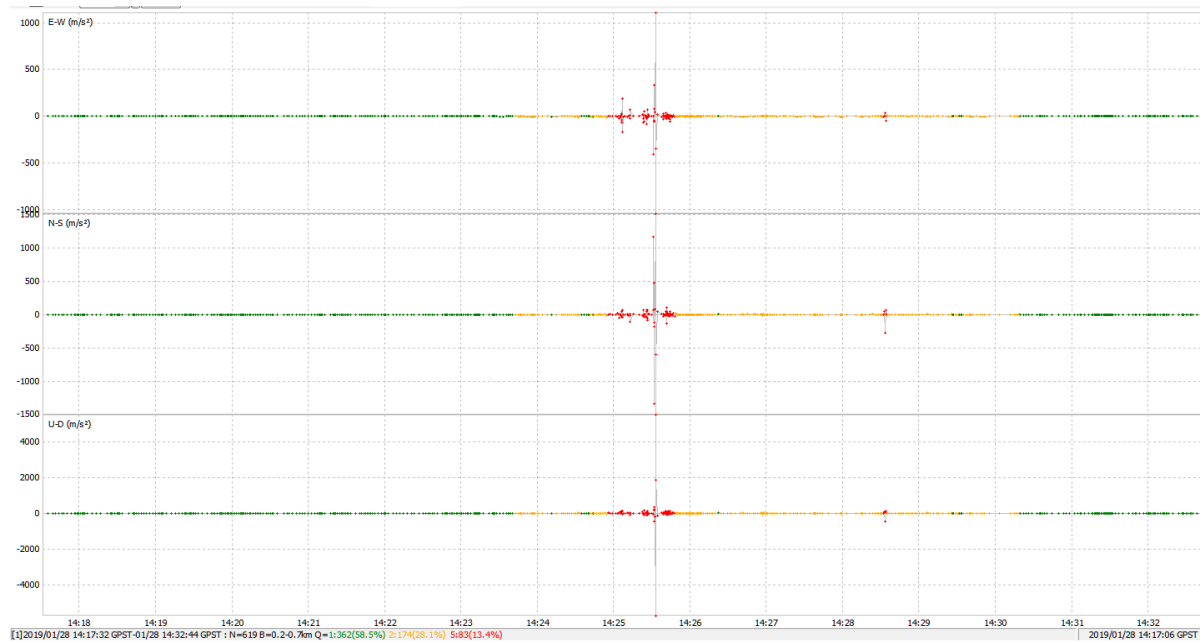


Σχήμα 7.14: Τροχια αυτοκινήτου (Αλγόριθμος fix and hold combined)
Figure 7.14: Vehicle orbit (fix and hold combined algorithm)

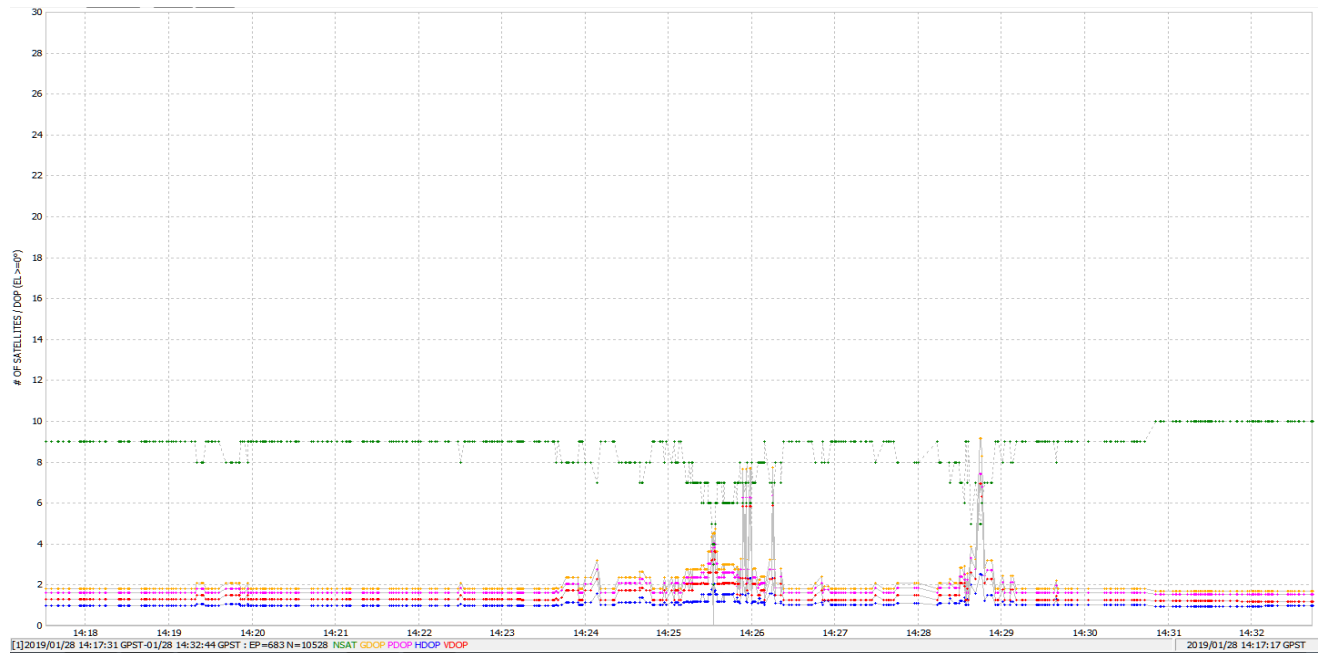
Ποσοστά: 58.5% fixed, 28.1% float και 13.4% single solution



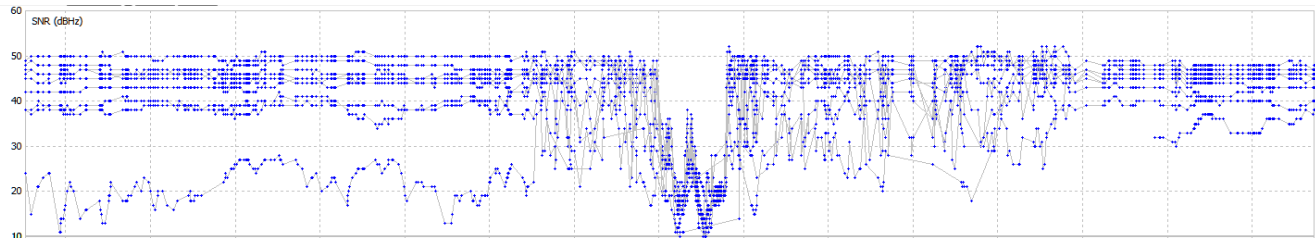
Σχήμα 7.15: Διάγραμμα ταχύτητας συναρτήσει ώρας
 Figure 7.15: Speed/timechart



Σχήμα 7.16: Διάγραμμα επιτάχυνσης συναρτήσει ώρας
 Figure 7.16: Acceleration/timechart



Σχήμα 7.17: Συσχέτιση δορυφόρων και λύση (ratioFactor) συναρτήσει ώρας
 Figure7.17:Ratio-Factor/timechart



Σχήμα 7.18: Δείκτης SNR κατά την διάρκεια της τροχιάς.
 Figure7.18:SNR during experiment

Τα παραπάνω διαγράμματα είναι αυτά τα οποία αφορούν την τροχιά του αυτοκινήτου που περιέχει και το υπόγειο parking μέσα.

Από τα διαγράμματα SNR και της τροχιάς φαίνεται ότι το σήμα στο parking έχει χαθεί καθώς και ο δείκτης SNR είναι χαμηλός αυτή την χρονική στιγμή και το DOP είναι πολύ υψηλό. Επιπρόσθετα στις ταχύτητες και τις επιταχύνσεις φαίνεται πάλι το σημείο του parking με κόκκινο χρώμα και τις στιγμές που χάνει το σήμα.

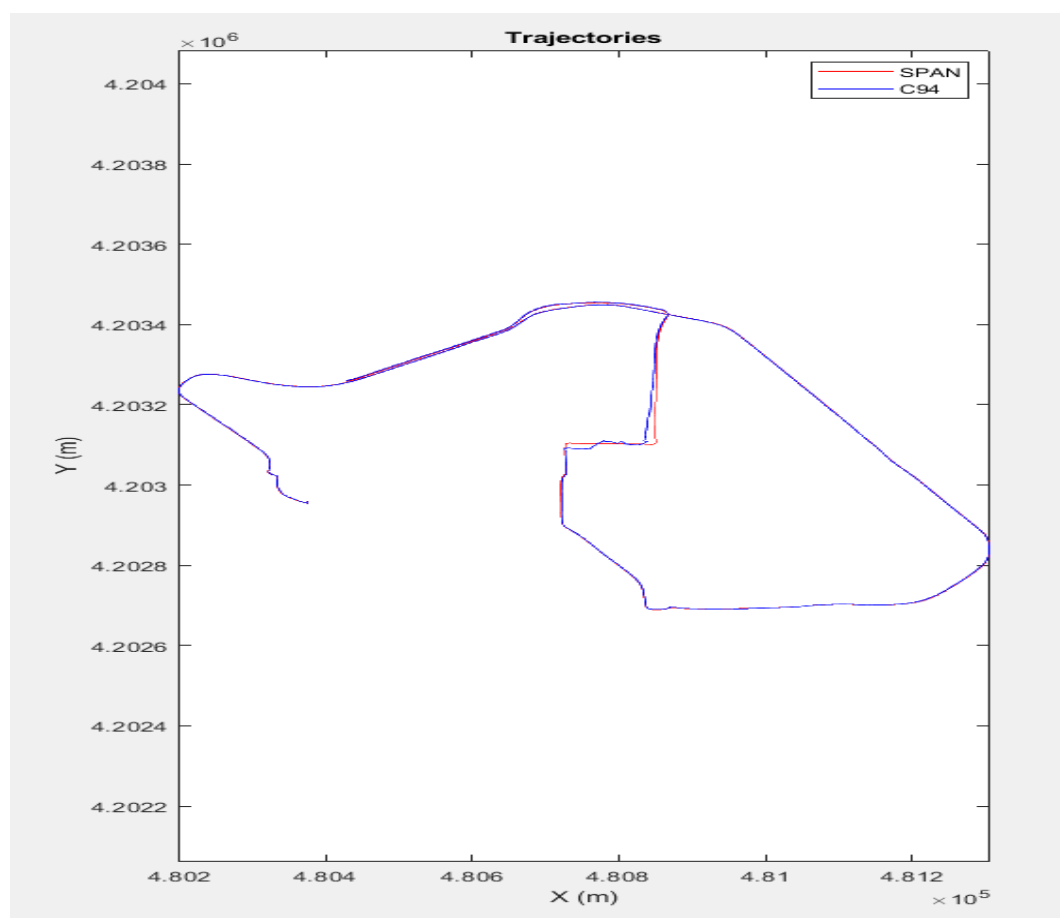
7.1.2 Χρονοδιαγράμματα

Για την καλύτερη σύγκριση και μεγαλύτερη βοήθεια στην αξιολόγηση των αποτελεσμάτων με την βοήθεια του MATLAB δημιουργήθηκαν ορισμένες χρονοσειρές από τους τρεις δέκτες που χρησιμοποιήθηκαν. (C94, M8T και SPAN). Επειδή το σύστημα SPAN όπως αναλύθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο λόγω και αδρανειακών και καλύτερης κεραίας είναι το καλύτερο από τους υπόλοιπους δυο

δέκτης χρησιμοποιήθηκε ως τροχιά αναφοράς και όλες οι συγκρίσεις έγιναν με αναφορά τις μετρήσεις του SPAN.

7.1.2.1 Σύγκριση τροχιάς C94 με SPAN (UCENTER).RTK ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

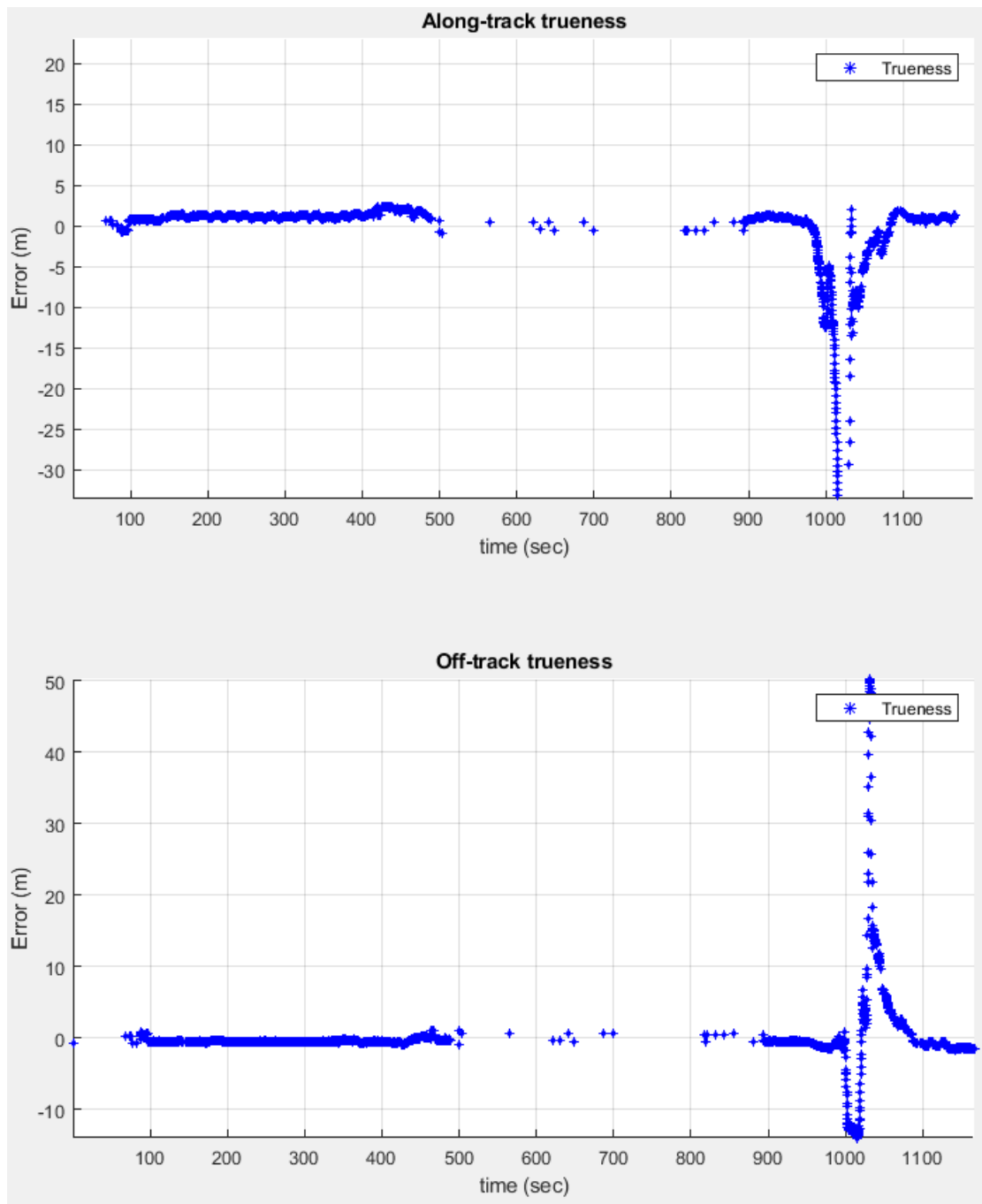
Έγιναν δύο συγκρίσεις του C94 με το SPAN. Η μια έγινε με αποτελέσματα post process διαδικασίας (fix and hold combined) για το C94 μέσω του λογισμικού RTKLIB και η δεύτερη έγινε με εξαγωγή αποτελεσμάτων κατευθείαν από το λογισμικό u-center της ublox που προέκυψαν τα αποτελέσματα(μετρήσεις) του C94 για την υπο μελέτη τροχιά σε RTK λειτουργία.



Σχήμα 7.19:Τροχιά οχήματος του δέκτη χαμηλού κόστους u-blox C94 (μπλε) και τροχιά αναφοράς (κόκκινο)

Figure 7.19: Vehicle trajectory using u-blox C94 (blue) and reference trajectory (red)

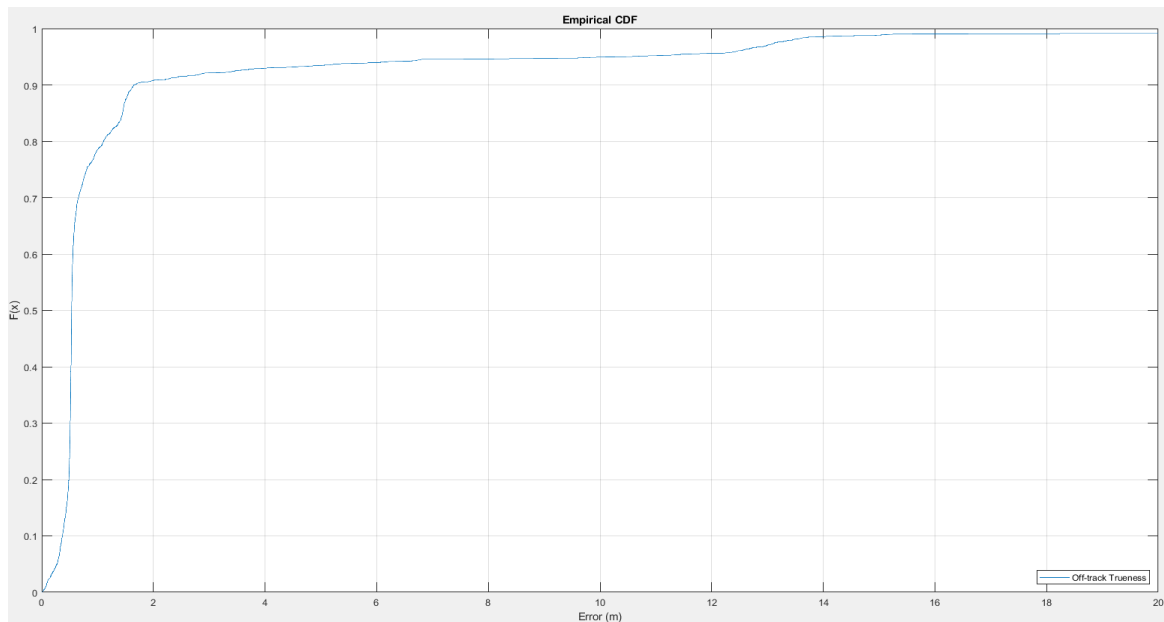
Στο διάγραμμα αυτό φαίνεται με κόκκινη γραμμή η τροχιά του SPAN και με μπλε η τροχιά του C94. Φαίνεται σε αρκετά σημεία ότι είναι αρκετά κοντά με την τροχιά του SPAN. Την διαφορά κάνει βέβαια η είσοδος στο parking καθώς ο αλγόριθμος του SPAN μέσω του λογισμικού inertial explorer έχει διορθώσει την τροχιά, στην τροχιά του C94 φαίνεται να πηγαίνει πιο «άτσαλα» από την είσοδο στην έξοδο. Φαίνεται εδώ δηλαδή η αδυναμία του δέκτη να παράγει αξιόπιστη λύση στην περιοχή του υπογείου γκαράζ.



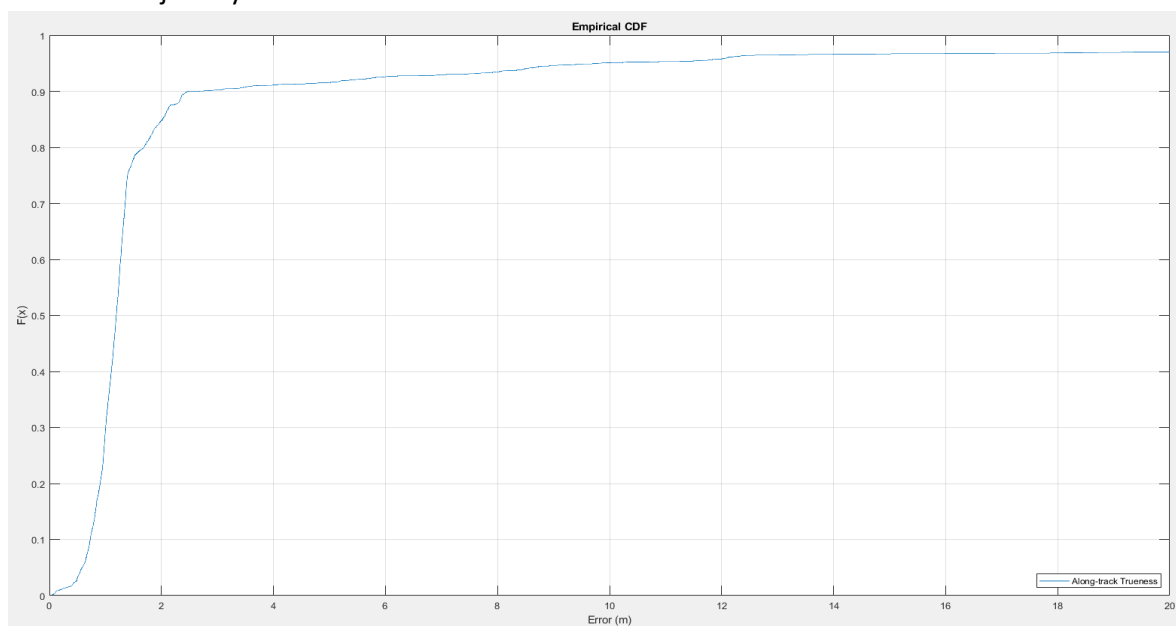
Σχήμα 7.20:Εγκάρσια ορθότητα τροχιάς(Off-track) και κατα μήκος ορθότητα τροχιάς(Along-track)

Figure 7.20:Along and off track trueness of ubloxC94 trajectory

Τα δύο αυτά διαγράμματα αφορούν την συμπεριφορά του αυτοκινητού για το μπρος-πίσω σε σχέση με τον χρόνο και το αριστερά δεξιά σε σχέση με τον χρόνο πάντα βασιζόμενο ως τροχιά αναφοράς(reference) του SPAN. Παρατηρούνται μεγάλα σφάλματα στην περιοχή του parking αφού χάθηκε το σήμα.Το κενό των μετρήσεων είναι η αναμονή από το σενάριο 1 στο 2.

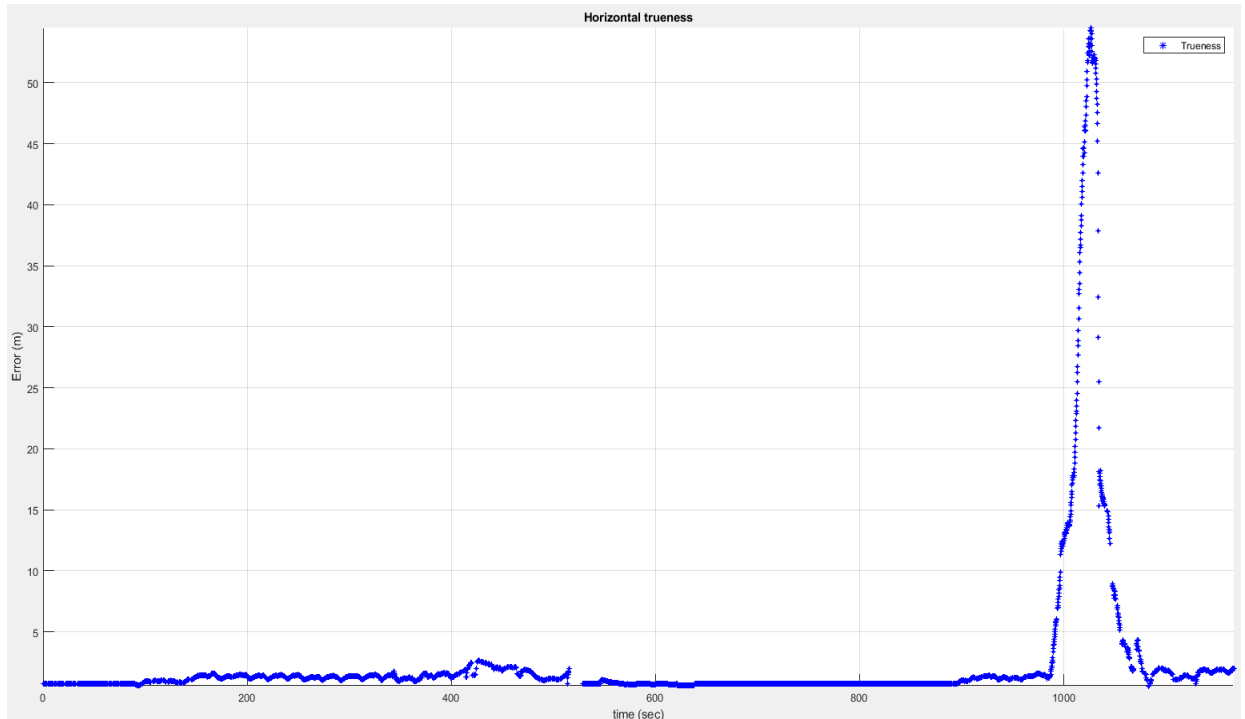


Σχήμα 7.21: Αθροιστική συνάρτηση κατανομής ορθότητας εγκάρσια της διεύθυνσης κίνησης της τροχιάς
 Figure 7.21: Cumulative distribution of positioning trueness of the off-track trueness of ubloxC94 trajectory



Σχήμα 7.22: Αθροιστική συνάρτηση κατανομής ορθότητας κατά μήκος της διεύθυνσης κίνησης της τροχιάς
 Figure 7.22: Cumulative distribution of positioning trueness of the along-track trueness of ubloxC94 trajectory

Οι δύο αθροιστικές συναρτήσεις αντιπροσωπεύουν τις τιμές που βρίσκονται μακριά από την μηδενική τιμή της τροχιάς αναφοράς. Άρα φαίνονται σχηματικά οι τιμές ορθότητας για το σύνολο του μήκους της τροχιάς του οχήματος. Φαίνεται ότι γύρω στο 90% των σημείων κατά μήκος της τροχιάς παρουσιάζει τιμές ορθότητας μέχρι 2 μέτρα, και εγκάρσια το ποσοστό ορθότητας πάλι στο 90% για έως 2 μέτρα.



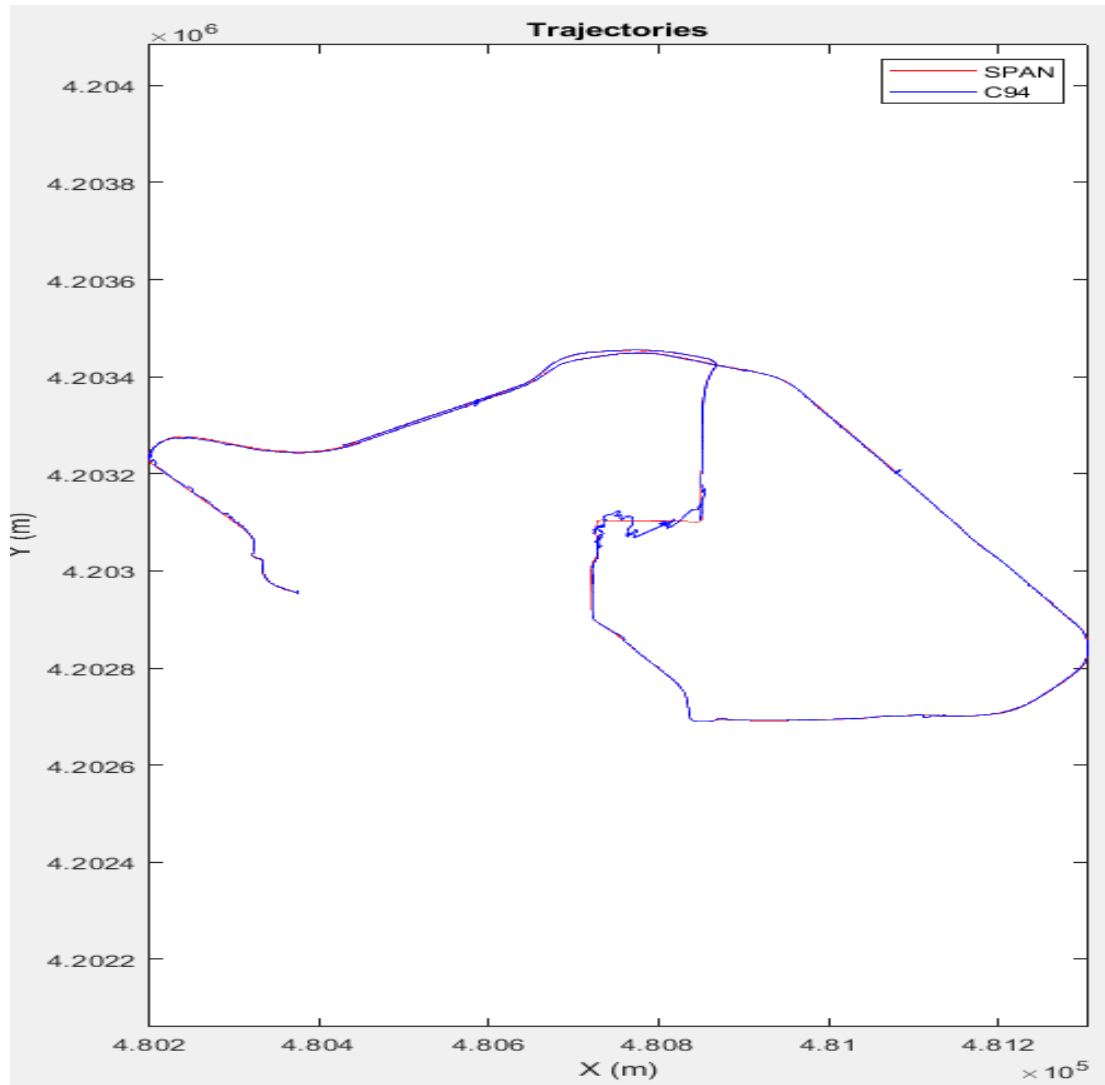
Σχήμα 7.23: : Η 2D απόκλιση μεταξύ τροχιάς αναφοράς και τροχιάς ελέγχου (ευκλείδεια απόσταση)

Figure 7.23: Horizontal trueness time series of ublox C94 trajectory

Στο διάγραμμα Horizontal Trueness φαίνεται η απόσταση(ευκλείδεια) μεταξύ της τροχιάς του SPAN(τροχιά αναφοράς) και της τροχιάς του C94. Παρατηρείται ότι σε ορισμένα σημεία στο χρόνο έχει κάτι πετάγματα με χαρακτηριστικό σημείο την είσοδο στο parking που εκεί φαίνεται η διαφορά των τροχιών και η έλλειψη ορθότητας στον δείκτη του C94.

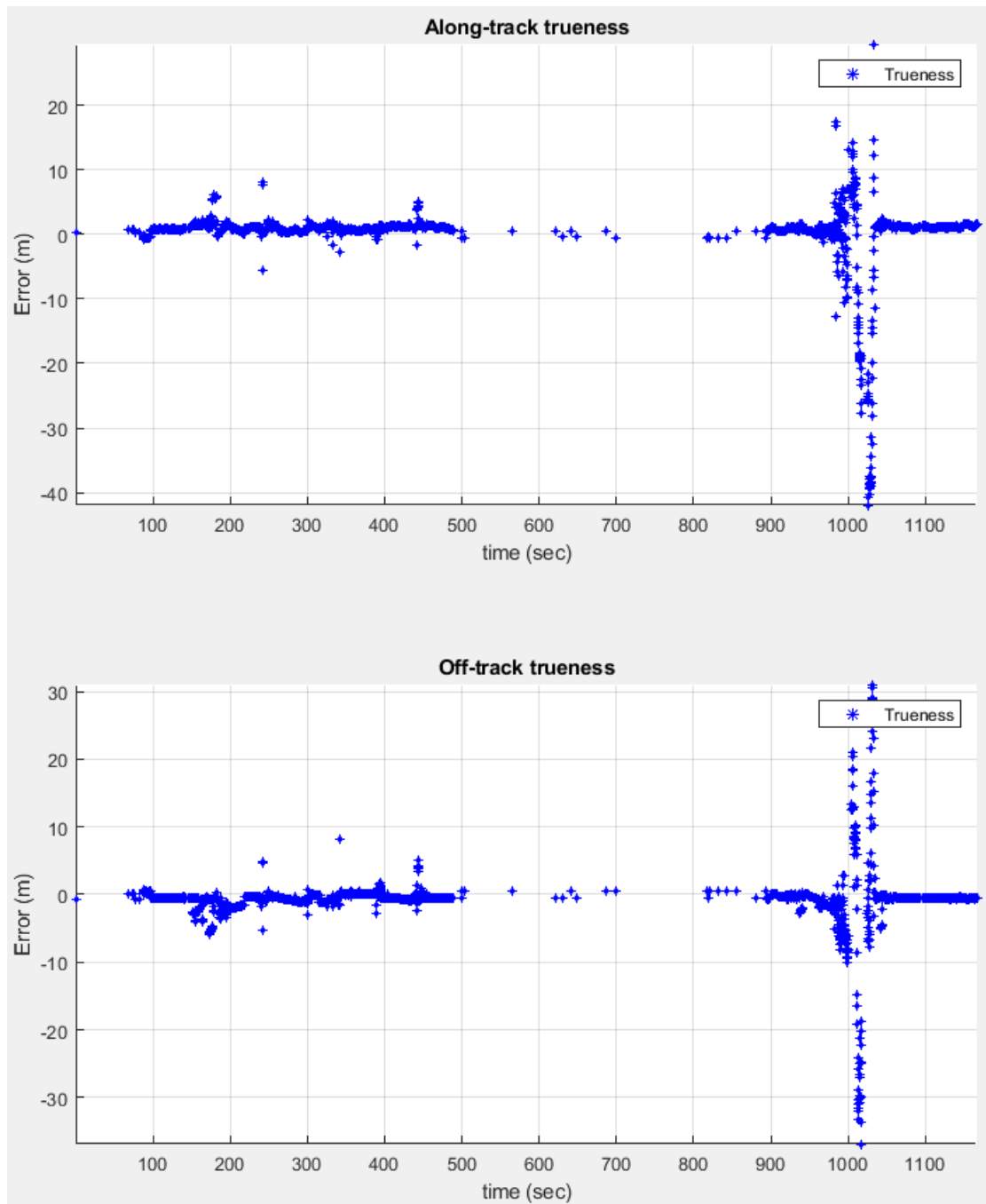
7.1.2.2 Σύγκριση τροχιάς C94 με SPAN (RTKLIB).POST PROCESS ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Εδώ χρησιμοποιήθηκαν οι μετρήσεις που βγήκαν από το fix and hold combined του λογισμικού RTKLIB όσον αφορά τον δέκτη C94.



Σχήμα 7.24:Τροχιά οχήματος του δέκτη χαμηλού κόστους u-blox C94 (μπλε) και τροχιά αναφοράς (κόκκινο)

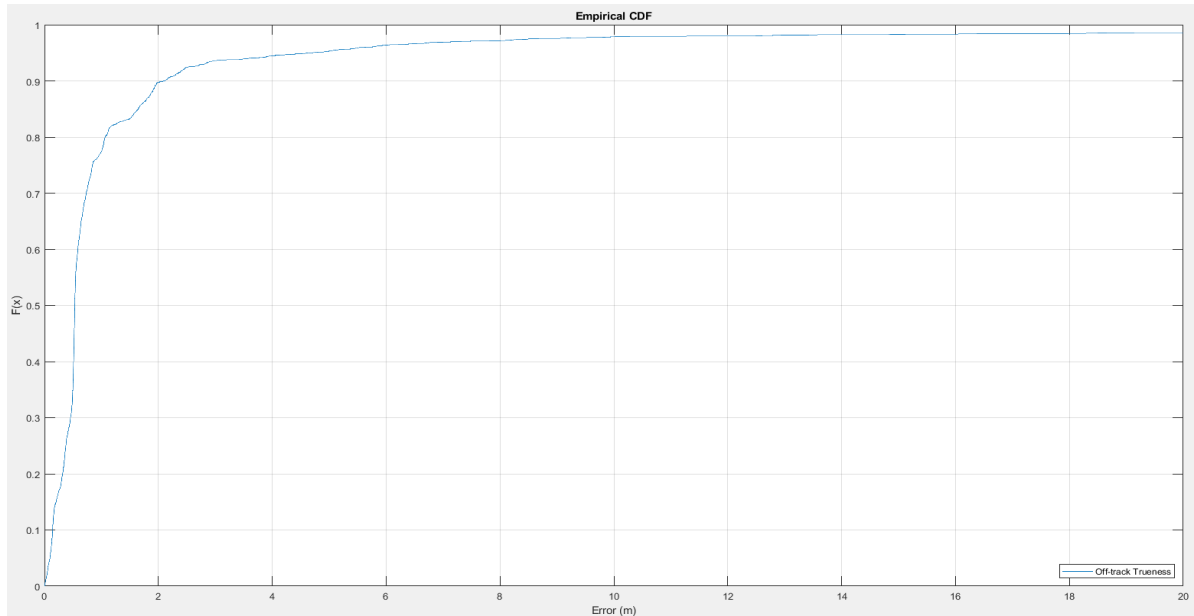
Figure 7.24: Vehicle trajectory using u-blox C94 (blue) and reference trajectory (red)



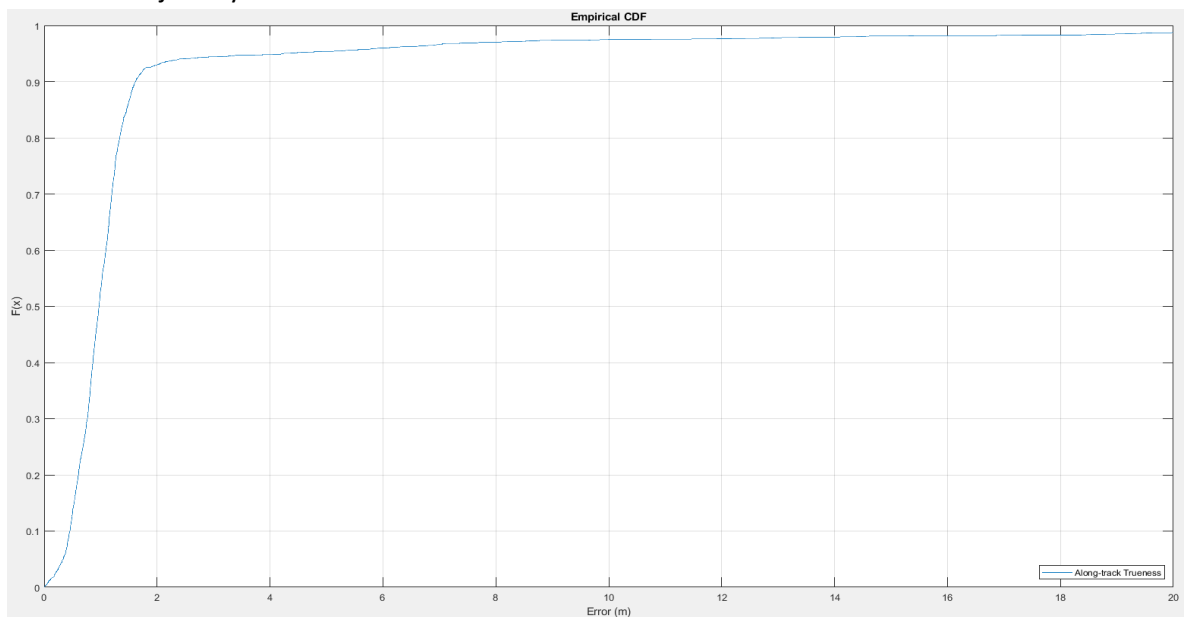
Σχήμα 7.25:Εγκάρσια ορθότητα τροχιάς(Off-track) και κατα μήκος ορθότητα τροχιάς (Along-track)

Figure 7.25:Along and off track trueness time series of ublox C94 trajectory

Τα δύο αυτά διαγράμματα αφορούν την συμπεριφορά του αυτοκινητού για το μπρος-πίσω σε σχέση με τον χρόνο και το αριστερά δεξιά σε σχέση με τον χρόνο πάντα βασιζόμενο ως τροχιά αναφοράς(reference) του SPAN.Παρατηρούνται μεγάλα σφάλματα στην περιοχή του parking αφού χάθηκε το σήμα.Το κενό των μετρήσεων είναι η αναμονή από το σενάριο 1 στο 2.

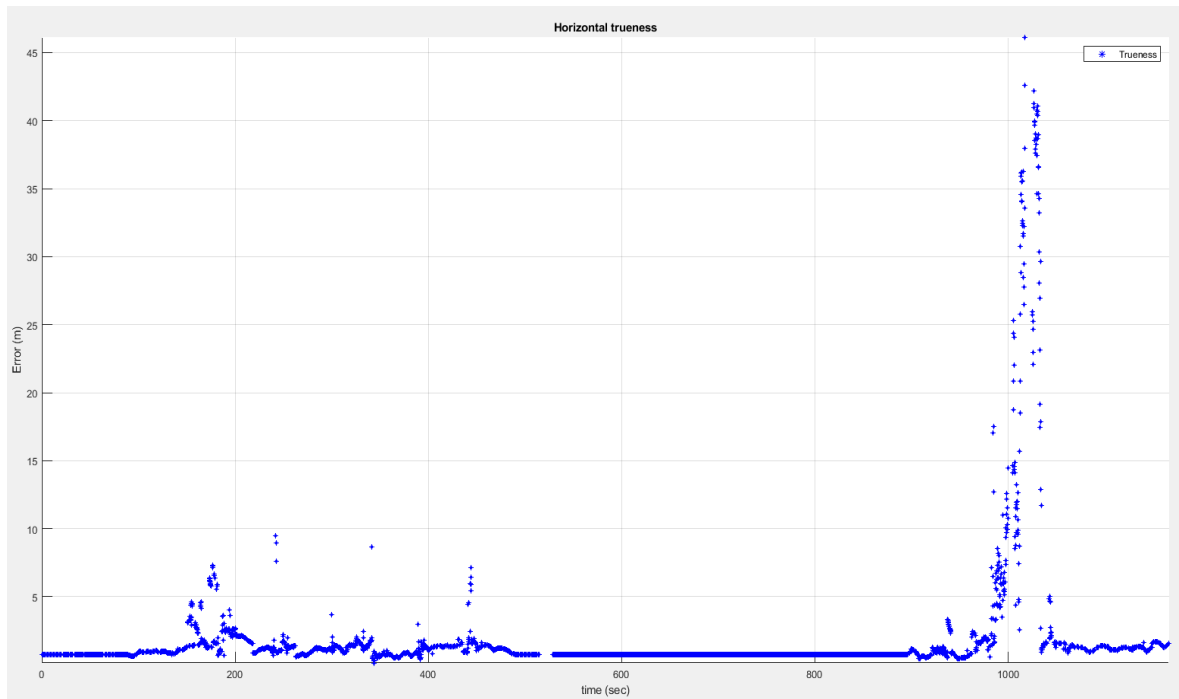


Σχήμα 7.26:Αθροιστική συνάρτηση κατανομής ορθότητας εγκάρσια της διεύθυνσης κίνησης της τροχιάς
 Figure 7.26: Cumulative distribution of positioning trueness of the off-track trueness of ubloxC94 trajectory



Σχήμα 7.27:Αθροιστική συνάρτηση κατανομής ορθότητας κατά μήκος της διεύθυνσης κίνησης της τροχιάς
 Figure 7.27: Cumulative distribution of positioning trueness of the along-track trueness of ubloxC94 trajectory

Φαίνεται στις αθροιστικές συναρτήσεις ότι στην κατα μήκος διεύθυνση παραπάνω από το 90% των τιμών έχει απόκλιση από την μηδενική τιμή της τροχιάς αναφοράς μικρότερη από 2 μέτρα.Οσό για την κατανομή ορθότητας στην εγκάρσια κίνηση φαίνεται το ποσοστό του 90% των τιμών να έχει απόκλιση μέχρι 2 μέτρα.



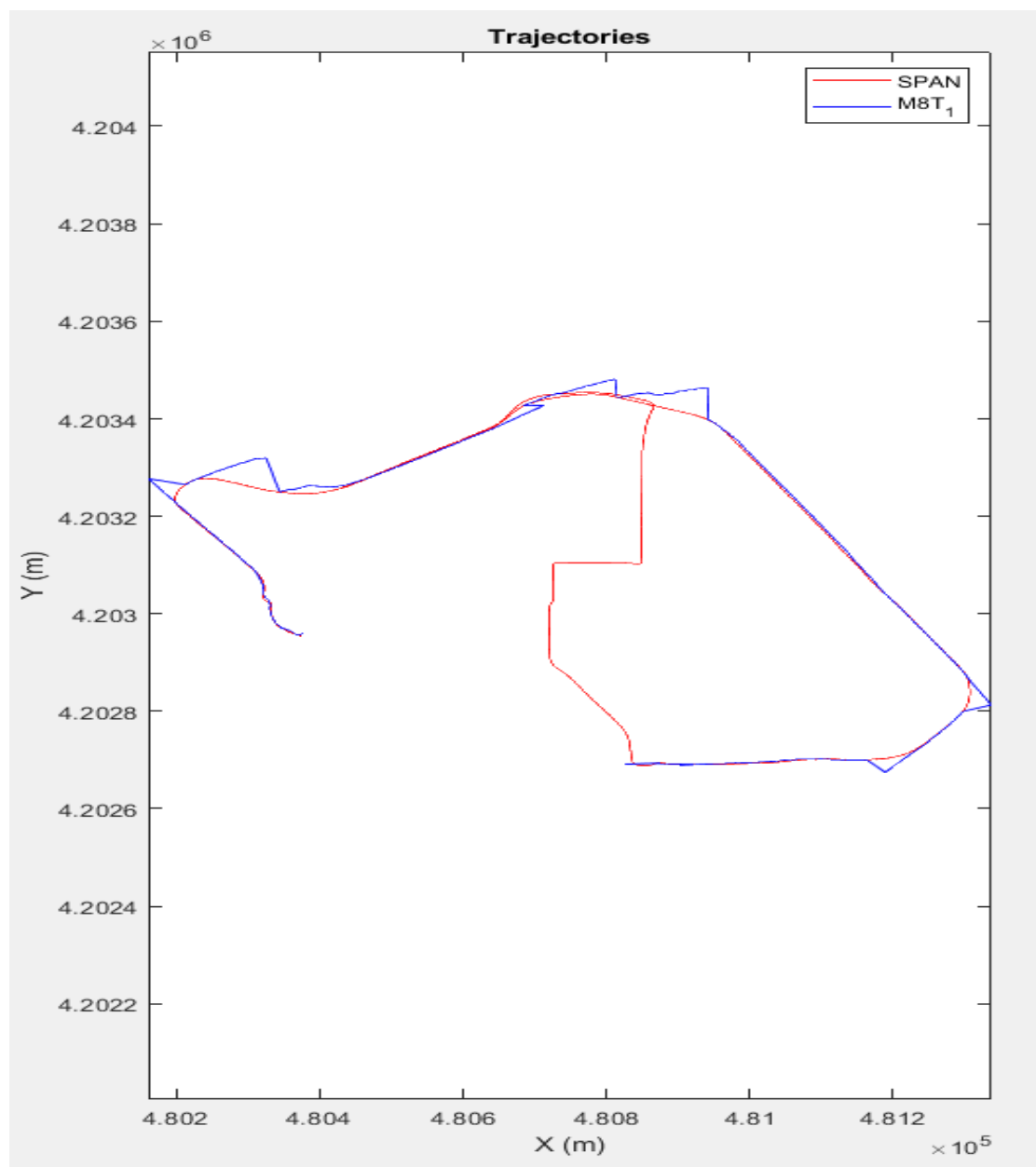
Σχήμα 7.28: : Η 2D απόκλιση μεταξύ τροχιάς αναφοράς και τροχιάς ελέγχου (ευκλείδια απόσταση)

Figure 7.28: Horizontal trueness time series of ublox C94 trajectory

Όσον αφορά την ευκλείδια απόσταση μεταξύ τροχιάς αναφοράς και τροχιάς C94 φαίνεται ότι ορισμένες τιμές έχουν απόκλιση από την ορθότητα καθώς πάλι χαρακτηριστικό είναι το πέρασμα από το υπόγειο parking. Αυτό οφείλεται στην αδυναμία του δέκτη να καλύψει ορθές τιμές την στιγμή που περνούσε από το parking καθώς το SPAN με τους αλγορίθμους και τα αδρανειακά που έχει κατάφερε να βγάλει μια καλύτερη λύση για την πορεία στο parking, η οποία χρησιμοποιήθηκε και ως τροχιά αναφοράς όπως αναφέρθηκε.

7.1.2.3 Σύγκριση τροχιάς M8T με SPAN (UCENTER).SPP ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

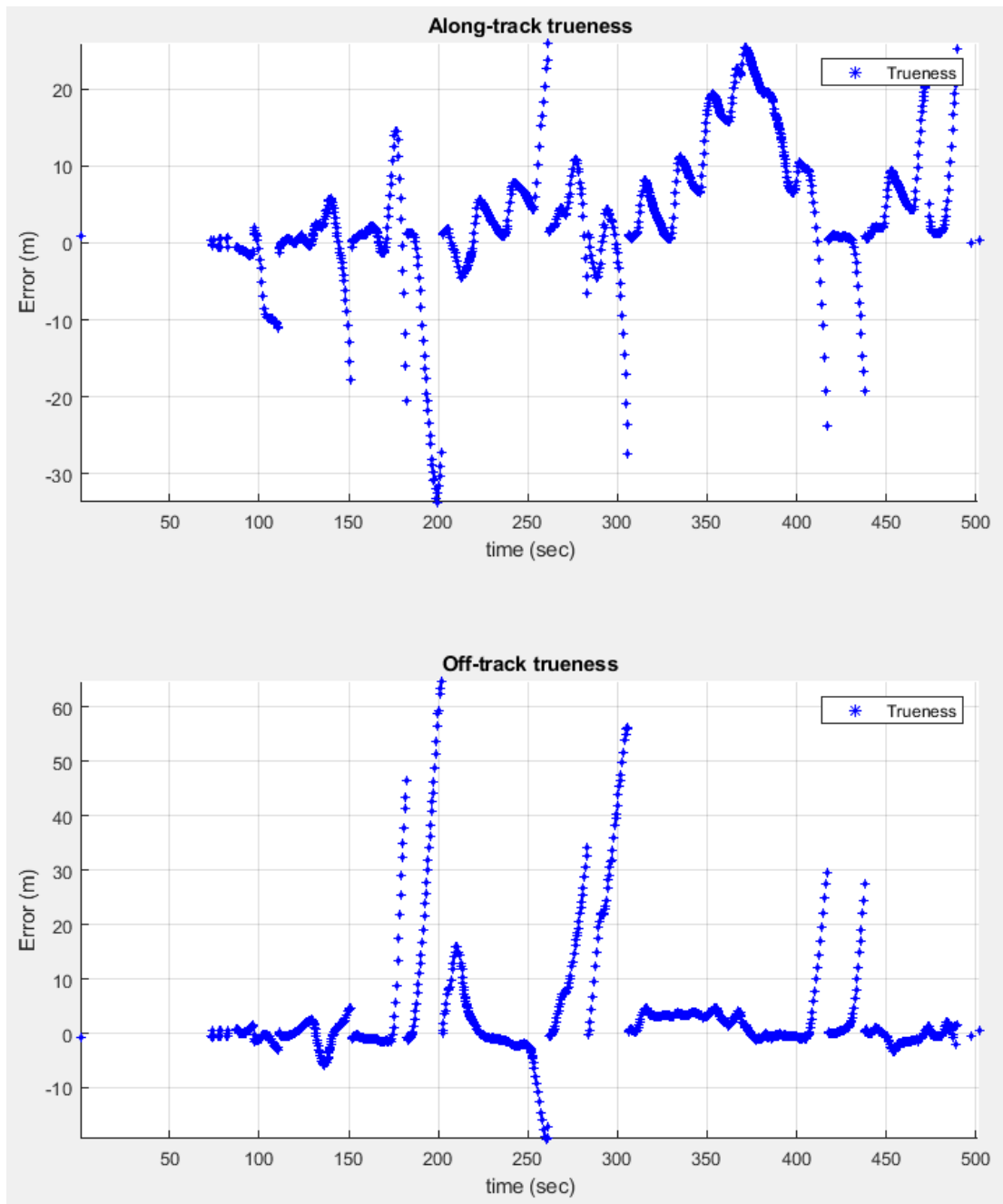
Η ίδια διαδικασία έγινε και για τον δέκτη M8T σε σύγκριση με την τροχιά αναφοράς που έδωσε το SPAN.



Σχήμα 7.29:Τροχιά οχήματος του δέκτη χαμηλού κόστους u-blox M8T (μπλε) και τροχιά αναφοράς (κόκκινο)

Figure 7.29: Vehicle trajectory using u-bloxM8T (blue) and reference trajectory (red)

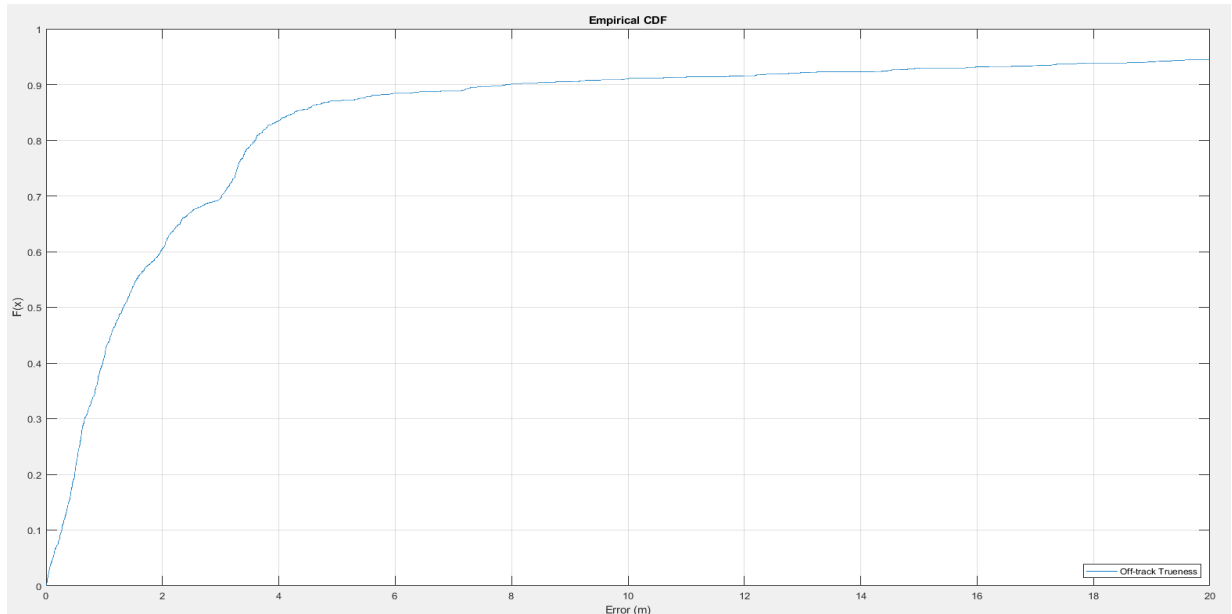
Φαίνεται και πριν βγουν τα υπόλοιπα διαγράμματα παρακάτω η διαφορά ανάμεσα στον δέκτη M8Tκαι C94.Για την πρώτη τροχιά του M8T φαίνεται ότι υπάρχουν διαφορές στην ορθότητα τιμών ως προς την τροχιά του SPAN (κόκκινη γραμμή).



Σχήμα 7.30:Εγκάρσια ορθότητα τροχιάς(Off-track) και κατα μήκος ορθότητα τροχιάς (Alongtrack)

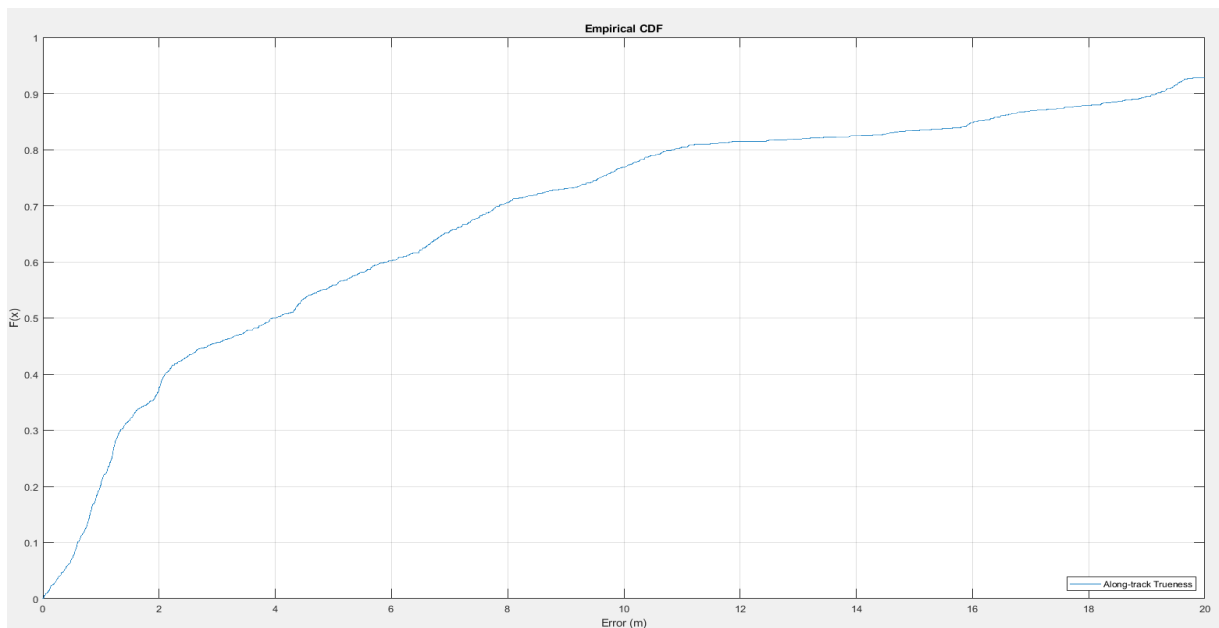
Figure 7.30:Along and off track truenesstime series of ublox M8T trajectory

Εμφανώς μεγαλύτερες αποκλίσεις στην ορθότητα των τιμών τόσο εγκάρσια όσο και τα μήκος της τροχιάς.Οι τιμές βρίσκονται γύρω από το μηδέν(0),αλλά αρκετές τιμές συναρτήσει του χρόνου φαίνονται να έχουν αρκετή απόκλιση από την τροχιά αναφοράς.



Σχήμα 7.31:Αθροιστική συνάρτηση κατανομής ορθότητας εγκάρσια της διεύθυνσης κίνησης της τροχιάς

Figure 7.31: Cumulative distribution of positioning trueness of the off-track trueness of ubloxM8T trajectory

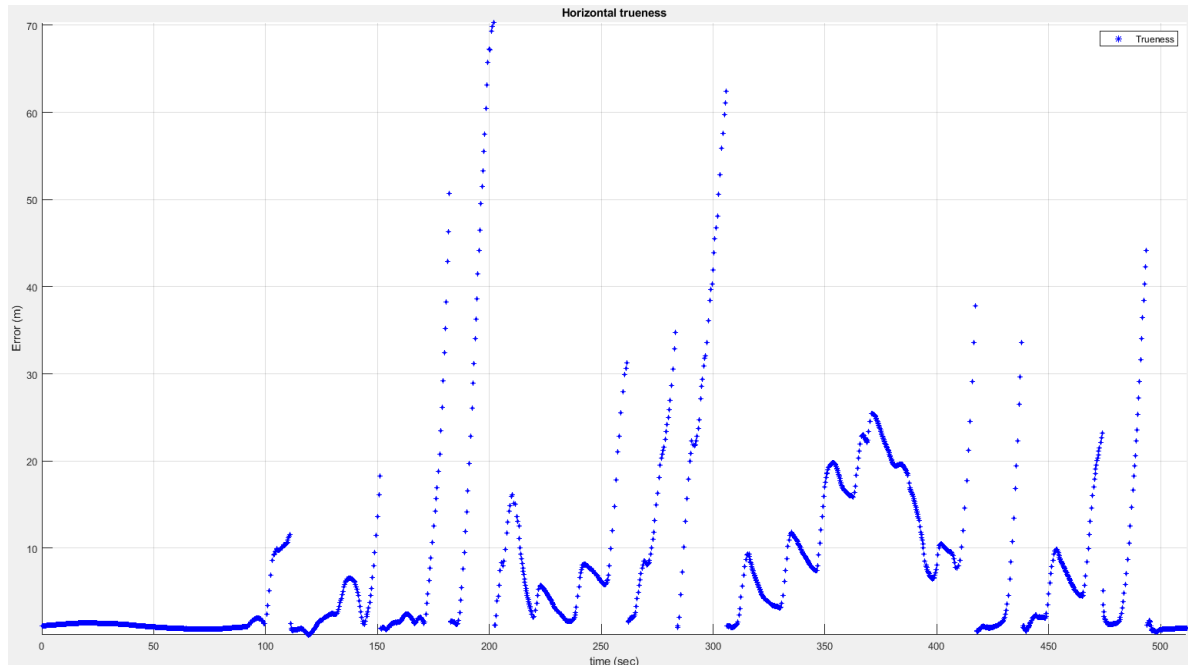


Σχήμα 7.32:Αθροιστική συνάρτηση κατανομής ορθότητας κατά μήκος της διεύθυνσης κίνησης της τροχιάς

Figure 7.32: Cumulative distribution of positioning trueness of the along-track trueness of ubloxC94 trajectory

Όσον αφορά τις αθροιστικές συναρτήσεις για την κατανομή ορθότητας των τιμών φαίνεται από τα διαγράμματα ότι κατά μήκος της διεύθυνσης κίνησης της τροχιάς περίπου το 50% των τιμών φτάνει μέχρι 4 μέτρα απόκλιση ,και από εκεί και έπειτα

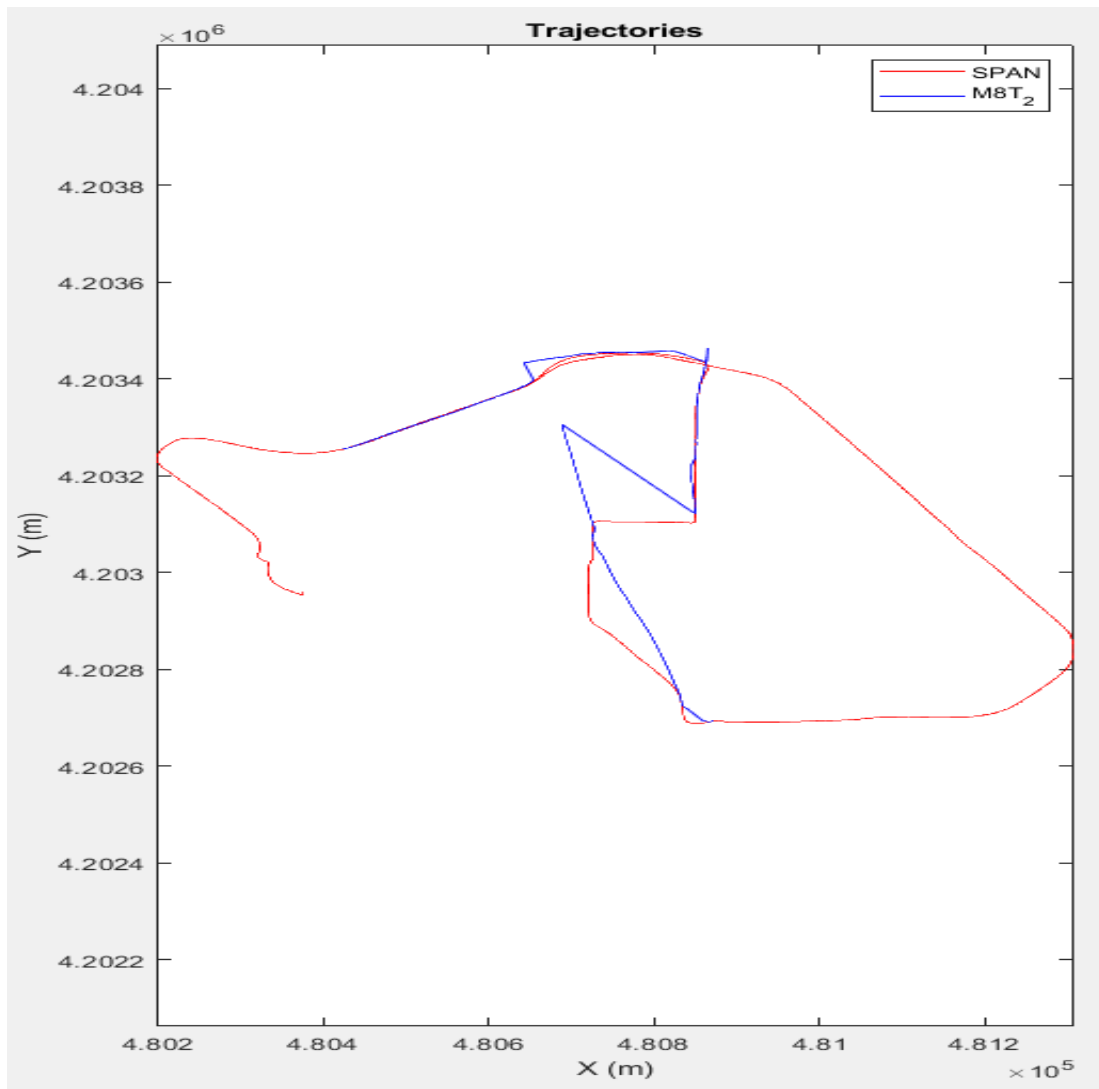
ανεβαίνει. Στην εγκάρσια διεύθυνση είναι καλύτερα τα αποτελέσματα καθώς για το ίδιο ποσοστό τιμών (50%), η απόκλιση δεν ξεπερνάει τα 2 μέτρα.



Σχήμα 7.33: : Η 2D απόκλιση μεταξύ τροχιάς αναφοράς και τροχιάς ελέγχου (ευκλείδεια απόσταση)

Figure 7.33: Horizontal trueness time series of ublox M8T trajectory

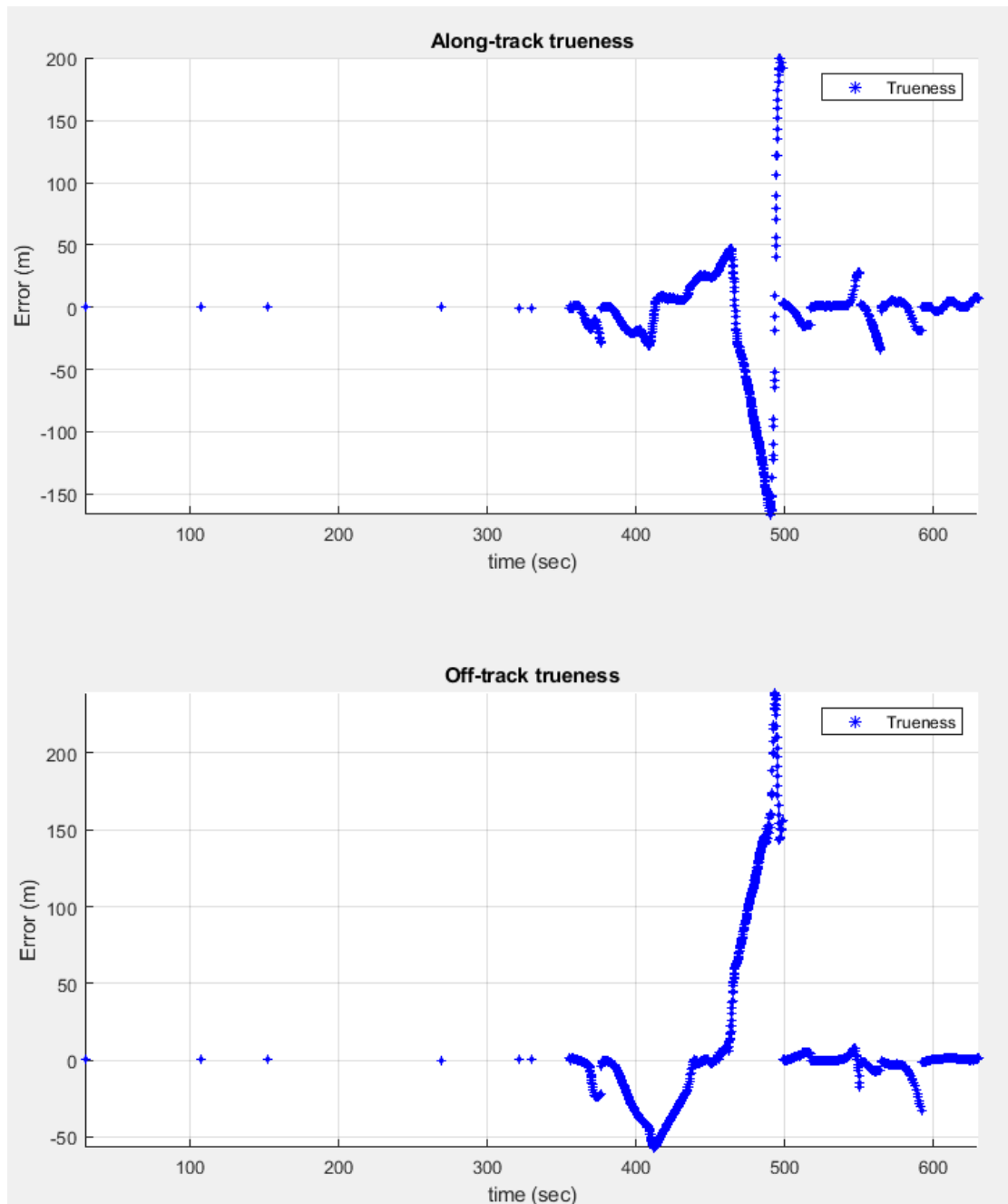
Φαίνεται από το διάγραμμα της ευκλείδεια απόστασης μεταξύ των δύο τροχιών ότι σαφώς υπάρχουν περισσότερες τιμές που αποκλίνουν από την τροχία από ότι ο δέκτης C94. Επομένως, δείχνει να υστερεί ο δέκτης M8T σε σχέση με τον C94 συγκριτικά με την τροχιά αναφοράς του οχήματος (τροχιά SPAN).



Σχήμα 7.34: Τροχιά οχήματος του δέκτη χαμηλού κόστους u-blox M8T (μπλε) και τροχιά αναφοράς (κόκκινο)

Figure 7.34: Vehicle trajectory using u-bloxM8T (blue) and reference trajectory (red)

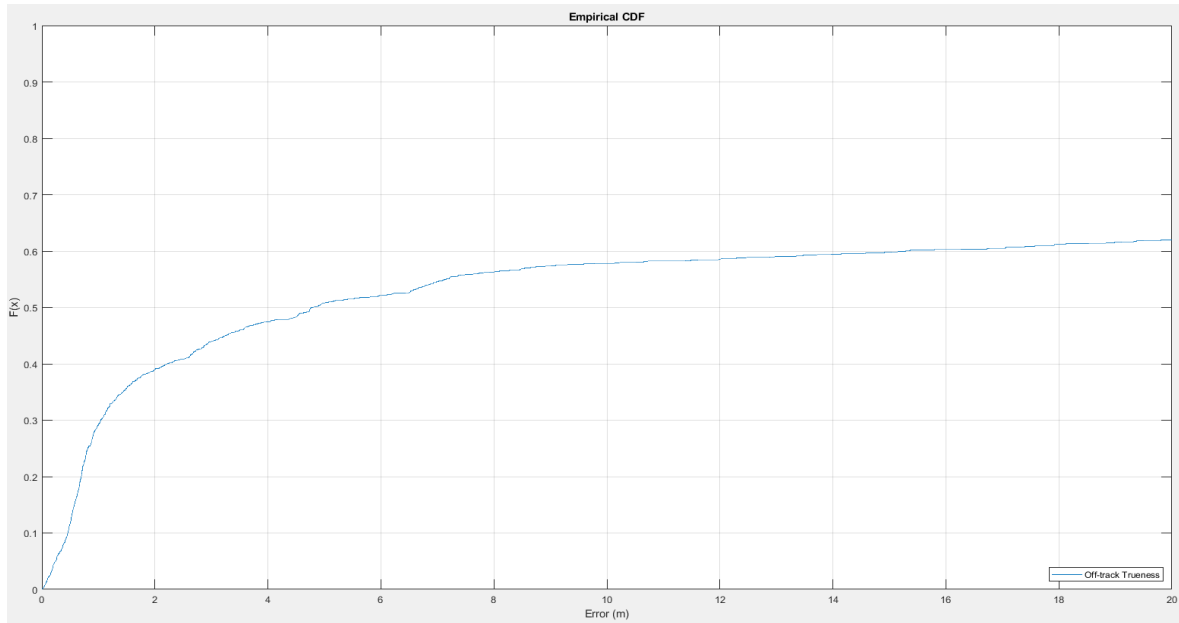
Φαίνεται ότι η τροχιά του M8T(Μπλε)συγκριτικά με την τροχιά του SPAN(κόκκινη)είναι σαφώς κατώτερη.Ειδικά στην περιοχή του parking οι τιμές ορθότητας όπως θα παρουσιαστούν παρακάτω θά εχουν αρκετή απόκλιση από την τροχιά αναφοράς.



Σχήμα 7.35:Εγκάρσια ορθότητα τροχιάς(Off-track) και κατα μήκος ορθότητα τροχιάς (Along-track)

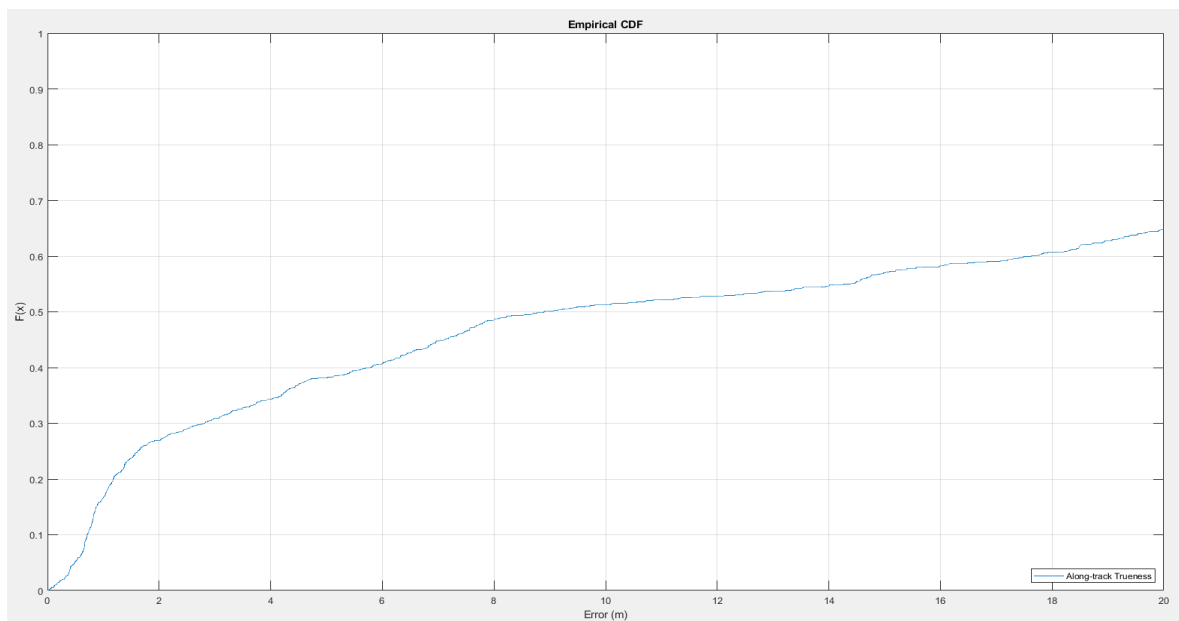
Figure 7.35:Along and off track trueness time series of ublox M8T trajectory

Από τα διαγράμματα εγκάρσιας ορθότητας και κατα μήκος ορθότητας φαίνεται ότι στην περιοχή του parking και λίγο πριν έχουν αποκλίνει οι τιμές.



Σχήμα 7.36:Αθροιστική συνάρτηση κατανομής ορθότητας εγκάρσια της διεύθυνσης κίνησης της τροχιάς

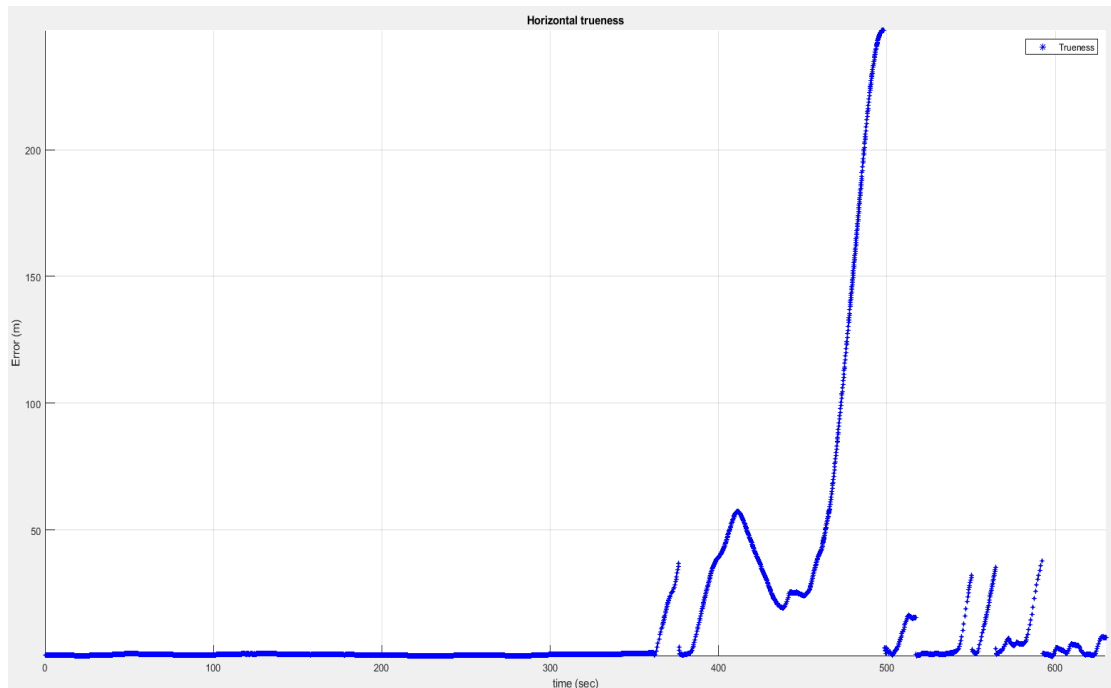
Figure 7.36: Cumulative distribution of positioning trueness of the off-track trueness of ubloxM8T trajectory



Σχήμα 7.37:Αθροιστική συνάρτηση κατανομής ορθότητας κατά μήκος της διεύθυνσης κίνησης της τροχιάς

Figure 7.37: Cumulative distribution of positioning trueness of the along-track trueness of ublox M8T trajectory

Για την αθροιστική συνάρτηση κατανομής ορθότητας κατά μήκος της διεύθυνσης κίνησης της τροχιάς φαίνεται ότι το 30% των τιμών έχει απόκλιση μέχρι 3 μέτρα και από εκεί και πέρα ανεβαίνει. Για την αθροιστική συνάρτηση κατανομής ορθότητας εγκάρσια της διεύθυνσης κίνησης της τροχιάς φαίνεται ότι απόκλιση μέχρι 3 μέτρα σφάλμα υπάρχει για το 45% των τιμών.

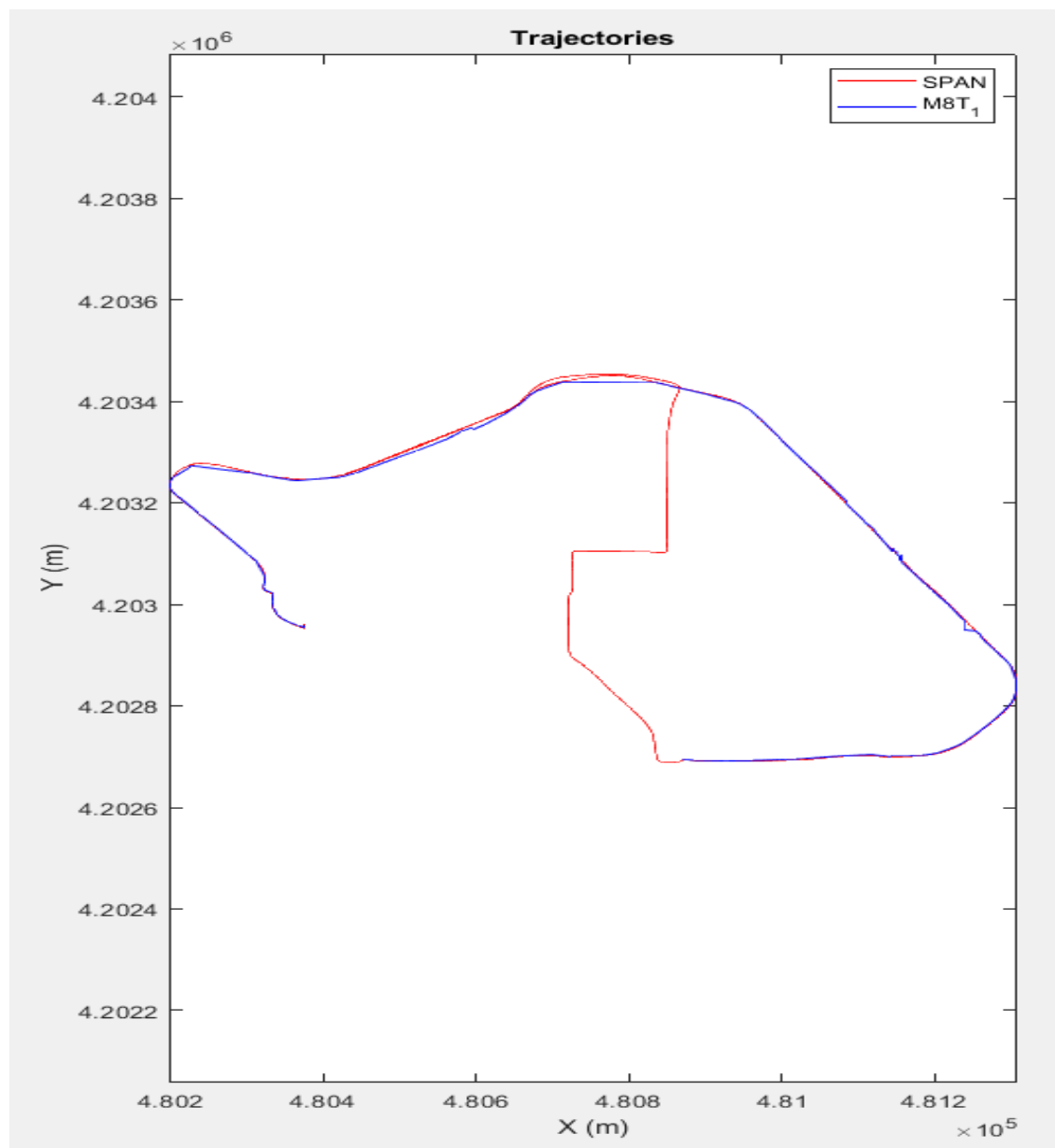


Σχήμα 7.38: : Η 2D απόκλιση μεταξύ τροχιάς αναφοράς και τροχιάς ελέγχου (ευκλείδια απόσταση)

Figure 7.38: Horizontal trueness time series of ublox M8T trajectory

Η ευκλείδια απόσταση μεταξύ τροχιάς αναφοράς(SPAN) και τροχιάς M8T στην αρχή φαίνεται να είναι σχετικά σε κοντινές τιμές, μέχρι την στιγμή βέβαια που μπαίνει στο parking το όχημα και λίγο αφού βγει που ο δέκτης M8T έχει σαφώς χειρότερη λύση θέσης. Αυτό φαίνεται και από το παραπάνω διάγραμμα.

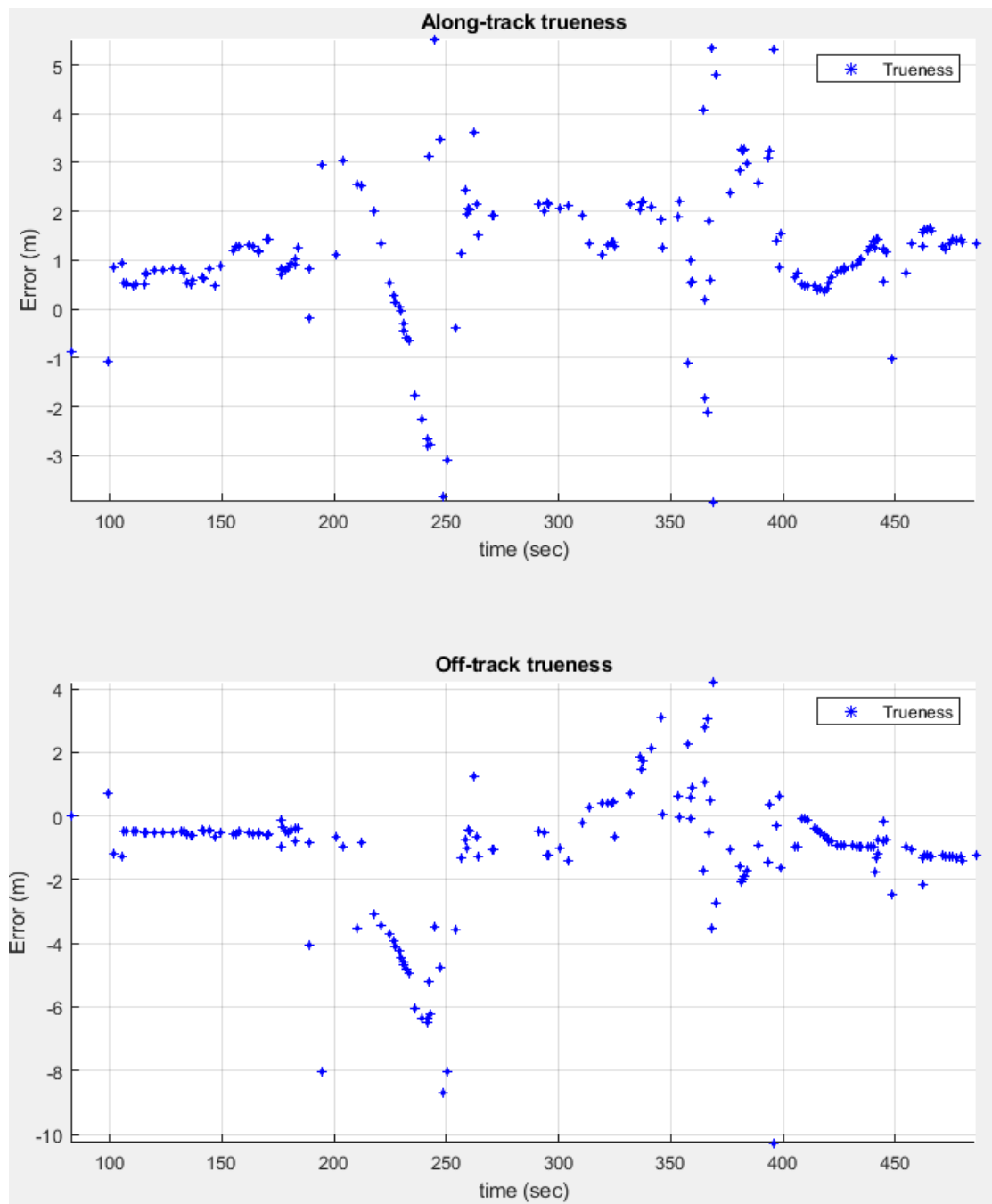
7.1.2.4 Σύγκριση τροχιάς M8T με SPAN (RTKLIB).POST PROCESS ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ



Σχήμα 7.39:Τροχιά οχήματος του δέκτη χαμηλού κόστους u-blox M8T (μπλε) και τροχιά αναφοράς (κόκκινο)

Figure 7.39: Vehicle trajectory using u-bloxM8T (blue) and reference trajectory (red)

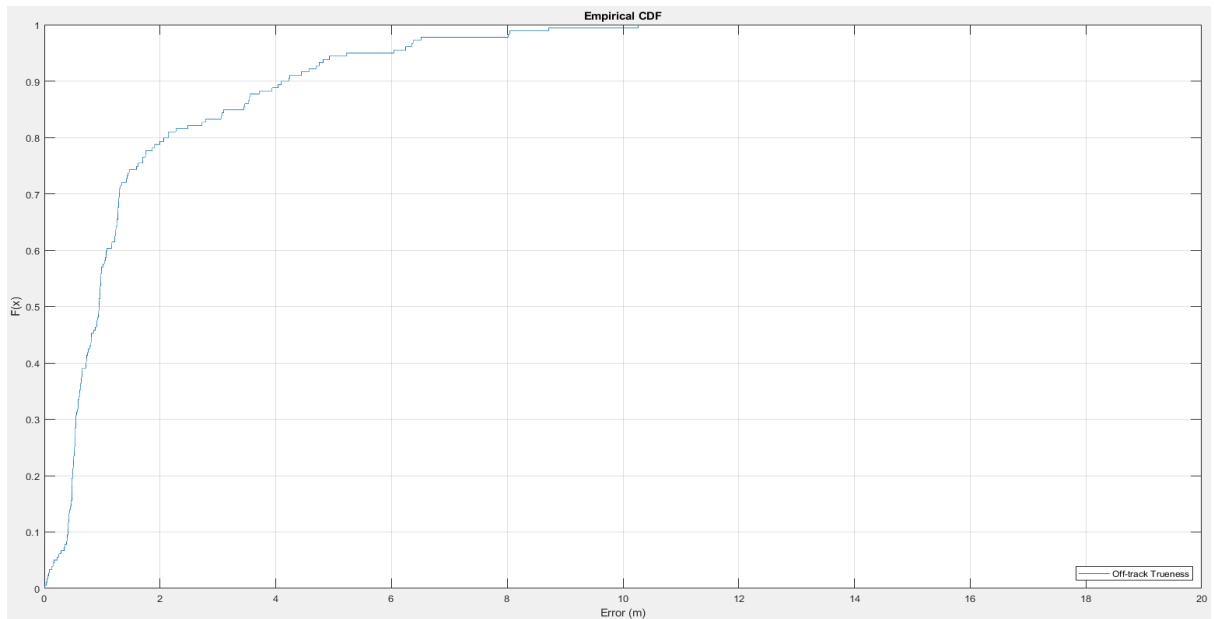
Σαφώς βελτιωμένη η τροχιά του αυτοκινητού με την επεξεργασία μέσω του λογισμικού RTKLIB.Εκτελώντας τον αλγόριθμο fix and hold για τις μετρήσεις του δέκτη M8T φαίνεται από την τροχιά(μπλε) να διορθώνεται αρκετά και να πλησιάζει σε αρκετά σημεία την τροχιά αναφοράς(κόκκινη).



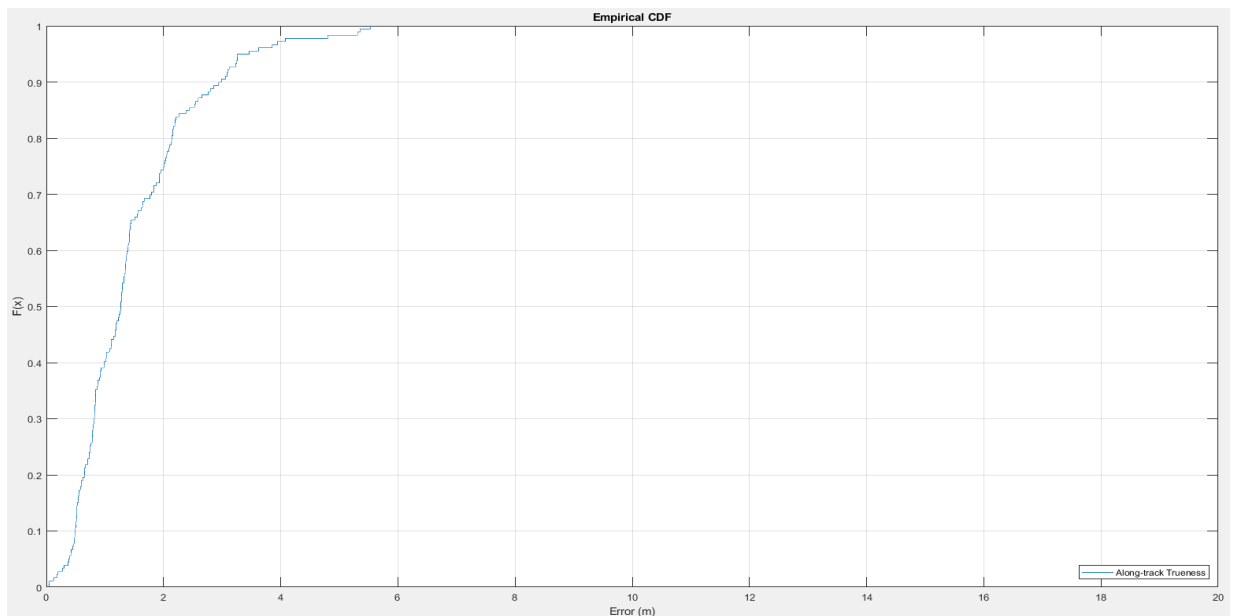
Σχήμα 7.40:Εγκάρσια ορθότητα τροχιάς(Off-track) και κατα μήκος ορθότητα τροχιάς (Along-track)

Figure 7.40:Along and off track trueness time series of ublox M8T trajectory

Για την εγκάρσια ορθότητα τροχιάς(Off-track)και κατα μήκος ορθότητα τροχιάς(Along-track) παρατηρείται ότι υπάρχουν τιμές οι οποίες είναι γύρω από το μηδέν(τροχιά αναφοράς) με σαφώς καλύτερη λύση από την λύση που δόθηκε από τις τιμές του M8T μέσω του ucenter(δηλαδή όπως μετρήθηκαν real-time στο πεδίο χωρίς καμία περαιτέρω επεξεργασία),single solution δηλαδή.



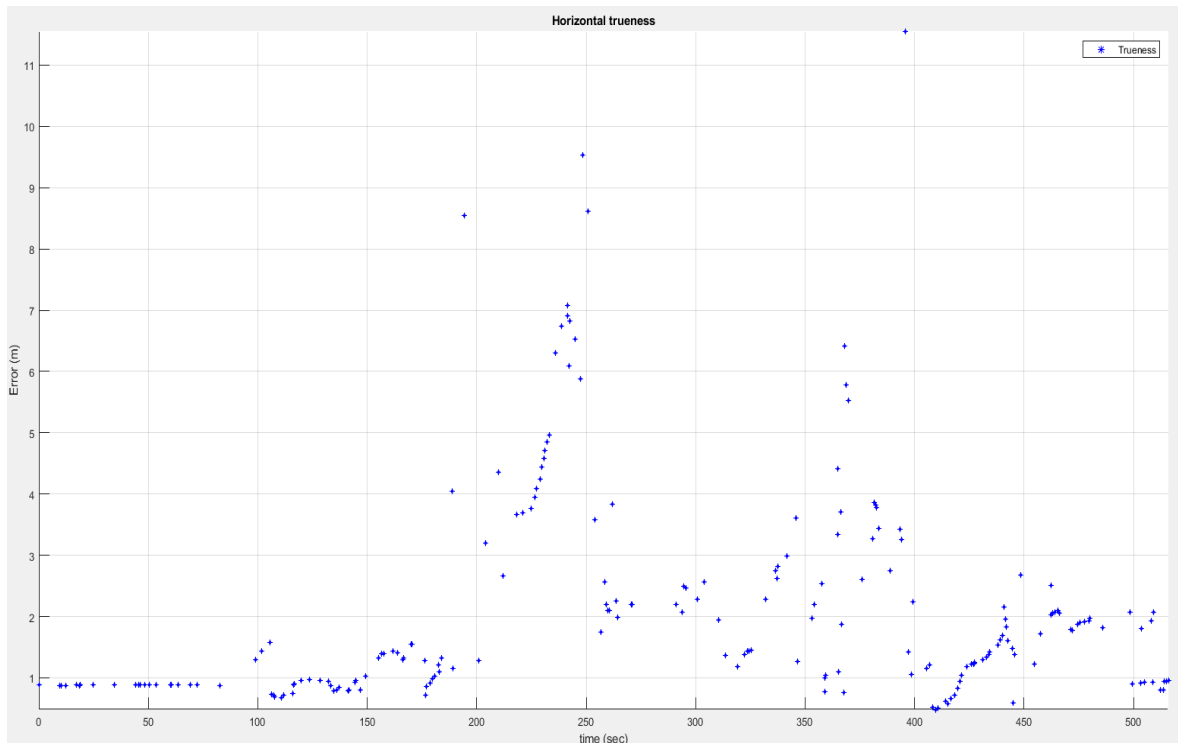
Σχήμα 7.41: Αθροιστική συνάρτηση κατανομής ορθότητας εγκάρσια της διεύθυνσης κίνησης της τροχιάς
 Figure 7.41: Cumulative distribution of positioning trueness of the off-track trueness of ubloxM8T trajectory



Σχήμα 7.42: Αθροιστική συνάρτηση κατανομής ορθότητας κατά μήκος της διεύθυνσης κίνησης της τροχιάς
 Figure 7.42: Cumulative distribution of positioning trueness of the along-track trueness of ublox M8T trajectory

Βελτιωμένα αποτελέσματα βλέπουμε και στην αθροιστική συνάρτηση κατανομής ορθότητας εγκάρσια της διεύθυνσης κίνησης της τροχιάς αλλά και στην αθροιστική

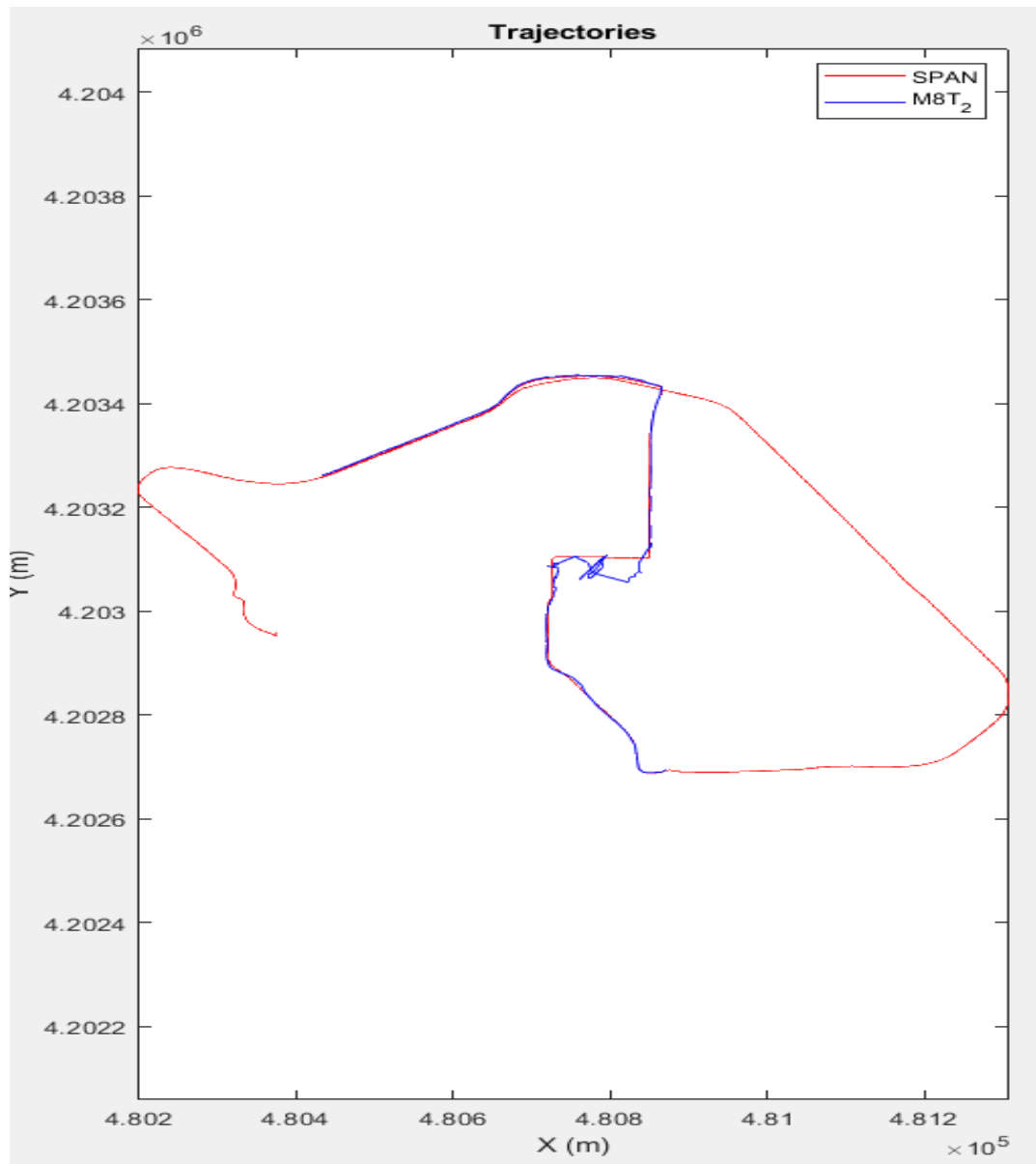
συνάρτηση κατανομής ορθότητας κατά μήκος της διεύθυνσης κίνησης της τροχιάς. Για την κατα μήκος διεύθυνση το 90% των μετρήσεων είναι μέχρι 3.5 μέτρα απόκλιση και για την εγκάρσια διεύθυνση το 90% των μετρήσεων είναι μέχρι 4.2 μέτρα περίπου.



Σχήμα 7.43: Η 2D απόκλιση μεταξύ τροχιάς αναφοράς και τροχιάς ελέγχου (ευκλείδεια απόσταση)

Figure 7.43: Horizontal trueness time series of ublox M8T trajectory

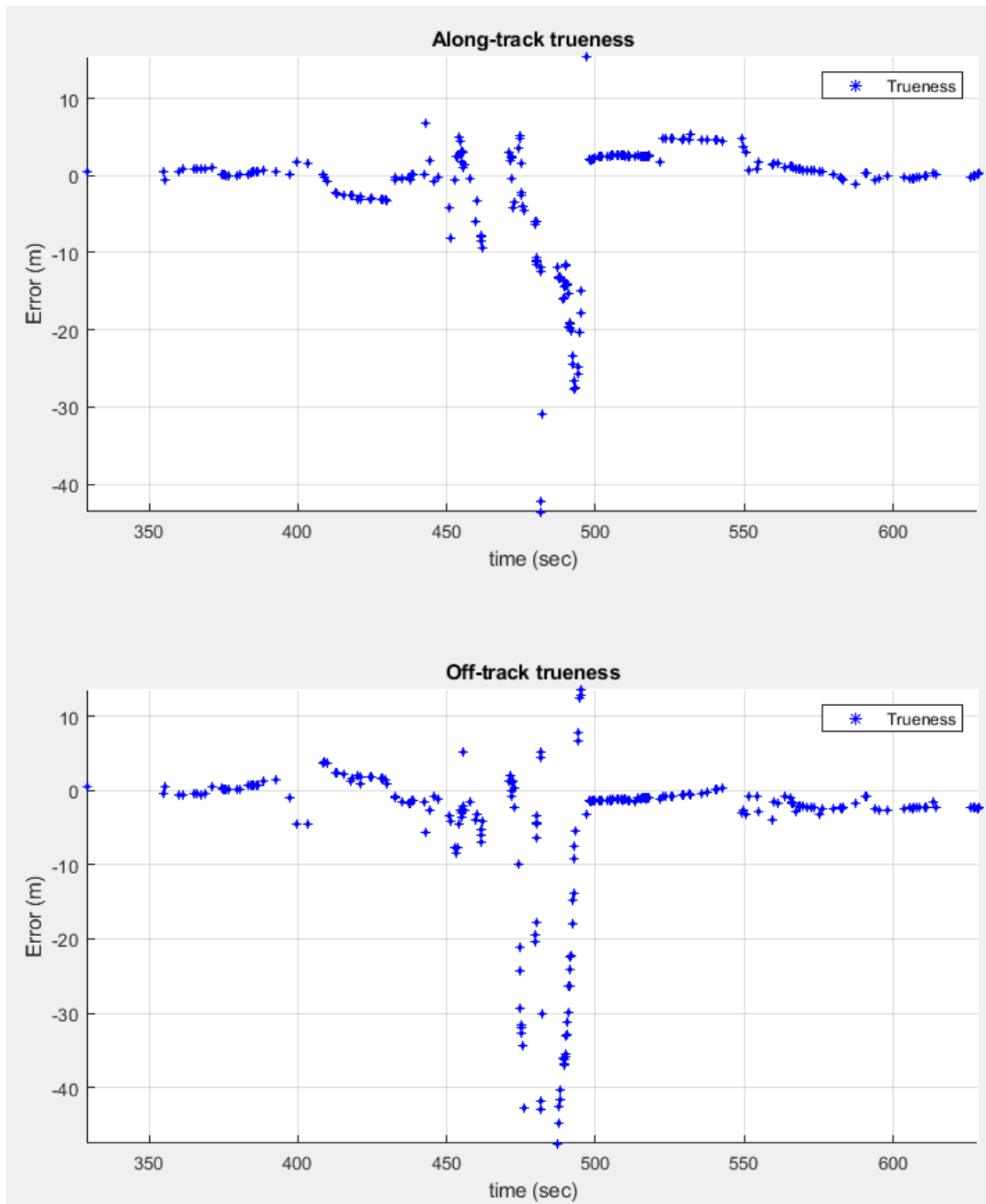
Για την ευκλείδεια απόσταση φαίνεται ότι υπάρχουν σφάλματα ορθότητας σε σχέση με την τροχιά αναφοράς καθώς σε μερικές περιπτώσεις μειώνεται η ευκλείδεια απόσταση και σε άλλες αυξάνεται η απόσταση αυτή.



Σχήμα 7.44: Τροχιά οχήματος του δέκτη χαμηλού κόστους u-blox M8T (μπλε) και τροχιά αναφοράς (κόκκινο)

Figure 7.44: Vehicle trajectory using u-bloxM8T (blue) and reference trajectory (red)

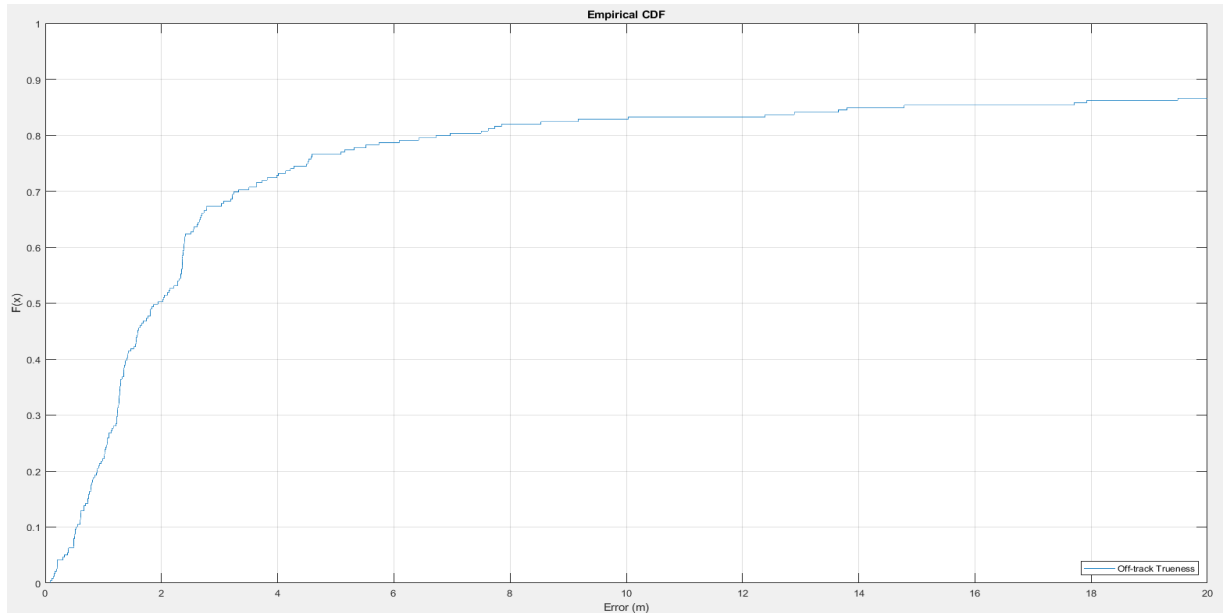
Όπως αναφέρθηκε φαίνεται διορθωμένη η τροχιά του M8T μέσω του λογισμικού RTKLIB ακόμη και στην θέση parkingπου δείχνει να προσεγγίζει καλύτερα την τροχιά αναφοράς (SPAN).



Σχήμα 7.45:Εγκάρσια ορθότητα τροχιάς(Off-track) και κατα μήκος ορθότητα τροχιάς (Along-track)

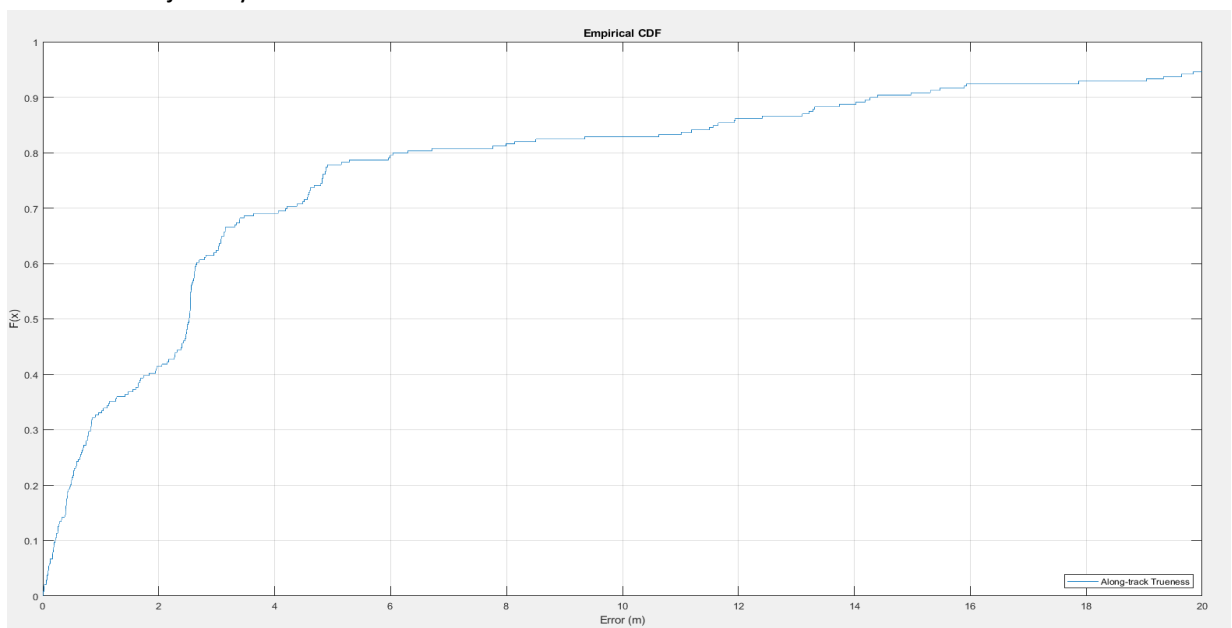
Figure 7.45:Along and off track trueness time series of ublox M8T trajectory

Για την εγκάρσια ορθότητα τροχιάς(Off-track)και κατα μήκος ορθότητα τροχιάς(Along-track) παρατηρείται ότι οι μεγάλες αποκλίσεις είναι στην περιοχή του parkingκαι γύρω από αυτή όπως και είναι λογικό να εμφανίζονται.



Σχήμα 7.46: Αθροιστική συνάρτηση κατανομής ορθότητας εγκάρσια της διεύθυνσης κίνησης της τροχιάς

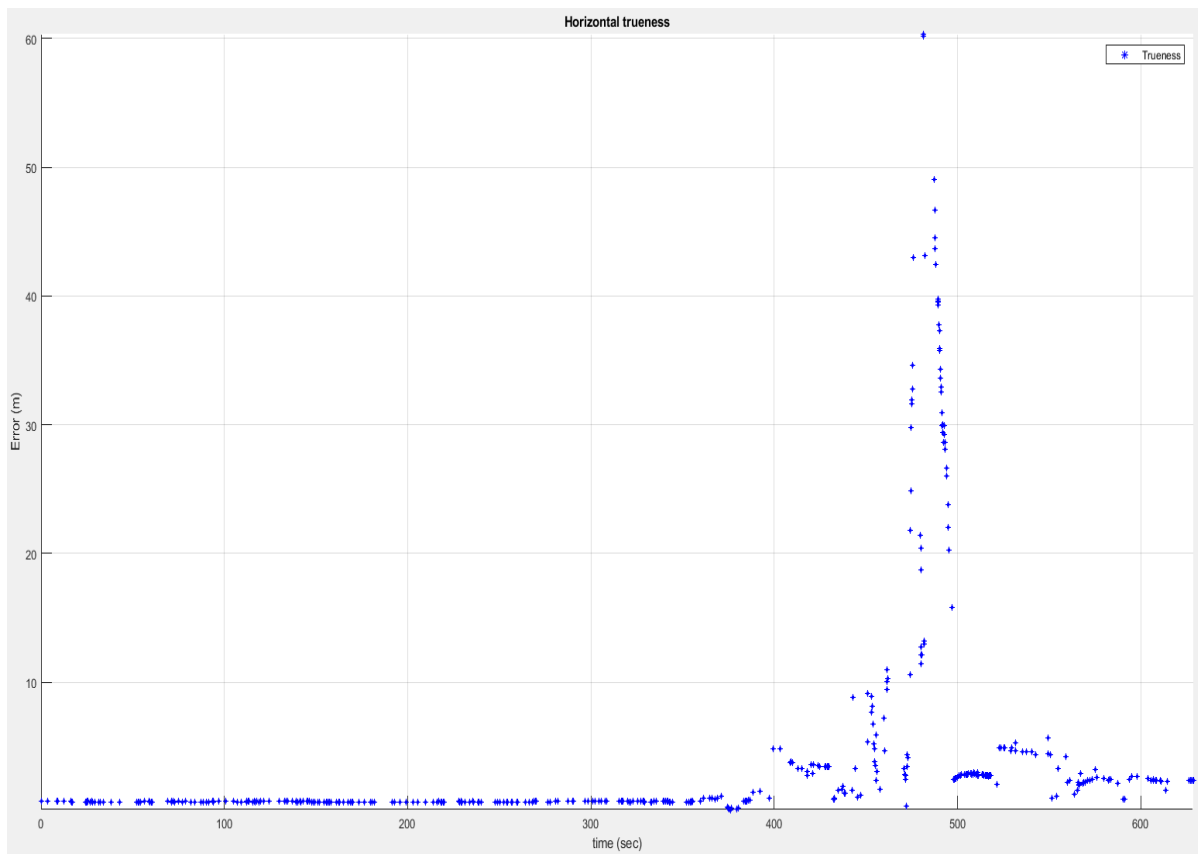
Figure 7.46: Cumulative distribution of positioning trueness of the off-track trueness of ubloxM8T trajectory



Σχήμα 7.47: Αθροιστική συνάρτηση κατανομής ορθότητας κατά μήκος της διεύθυνσης κίνησης της τροχιάς

Figure 7.47: Cumulative distribution of positioning trueness of the along-track trueness of ublox M8T trajectory

Για την αθροιστική συνάρτηση κατανομής ορθότητας εγκάρσια της διεύθυνσης κίνησης της τροχιάς το 80% των τιμών είναι περίπου στην απόκλιση των 6-7 μέτρων και για την αθροιστική συνάρτηση κατανομής ορθότητας κατά μήκος της διεύθυνσης κίνησης της τροχιάς το 80% των τιμών είναι στην απόκλιση των 6 μέτρων.



Σχήμα 7.48: : Η 2D απόκλιση μεταξύ τροχιάς αναφοράς και τροχιάς ελέγχου (ευκλείδια απόσταση)

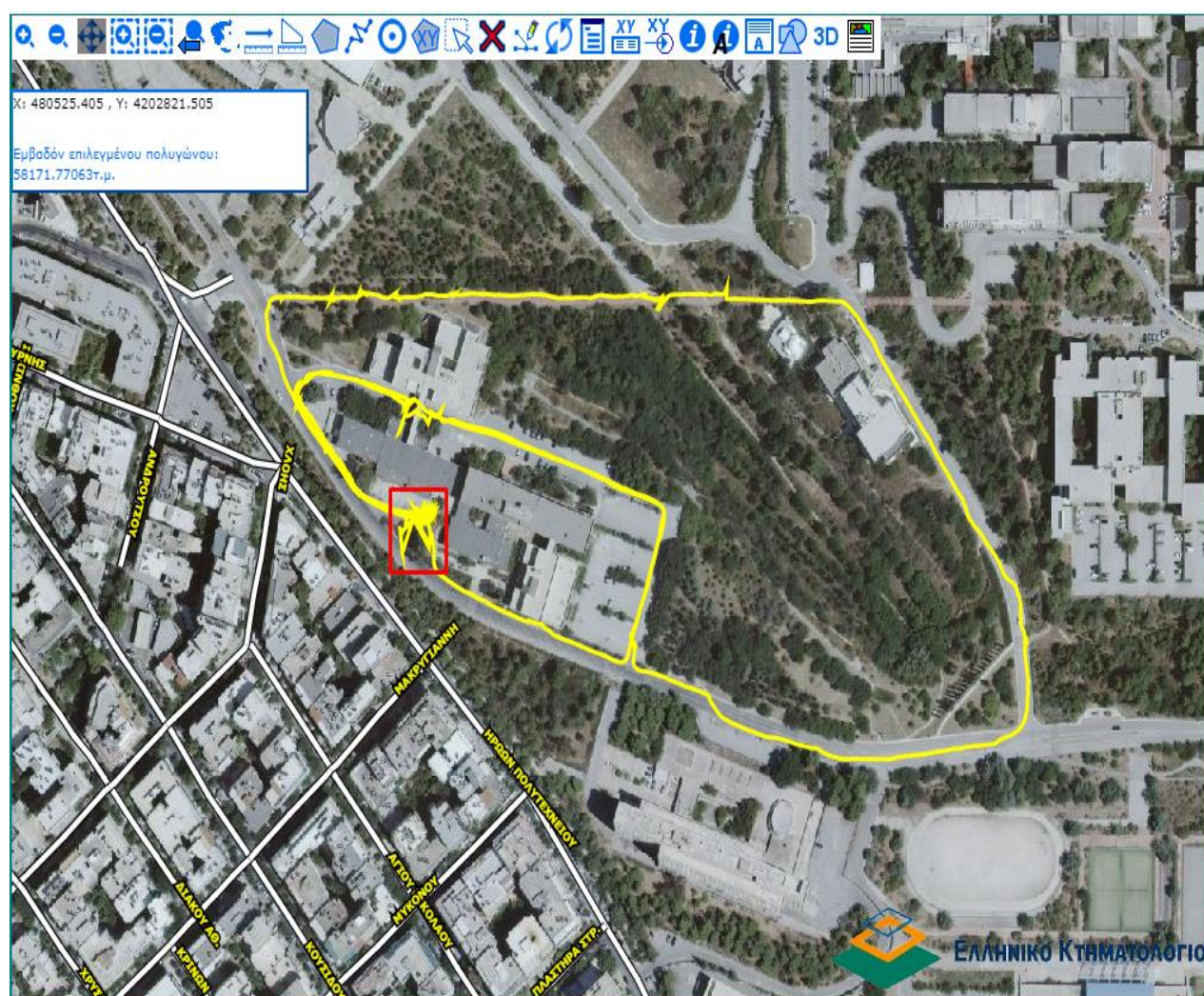
Figure 7.48: Horizontal trueness time series of ublox M8T trajectory

Για την ευκλείδια απόσταση μεταξύ τροχιάς αναφοράς και τροχιάς ελέγχου η μεγάλη τους διαφορά παρατηρείται στη γύρω περιοχή του parking και μέσα στο parking. Πριν διατηρείται σταθερή η ευκλείδια αυτή απόσταση.

7.2 Πείραμα 2(Τροχιά πεζού)

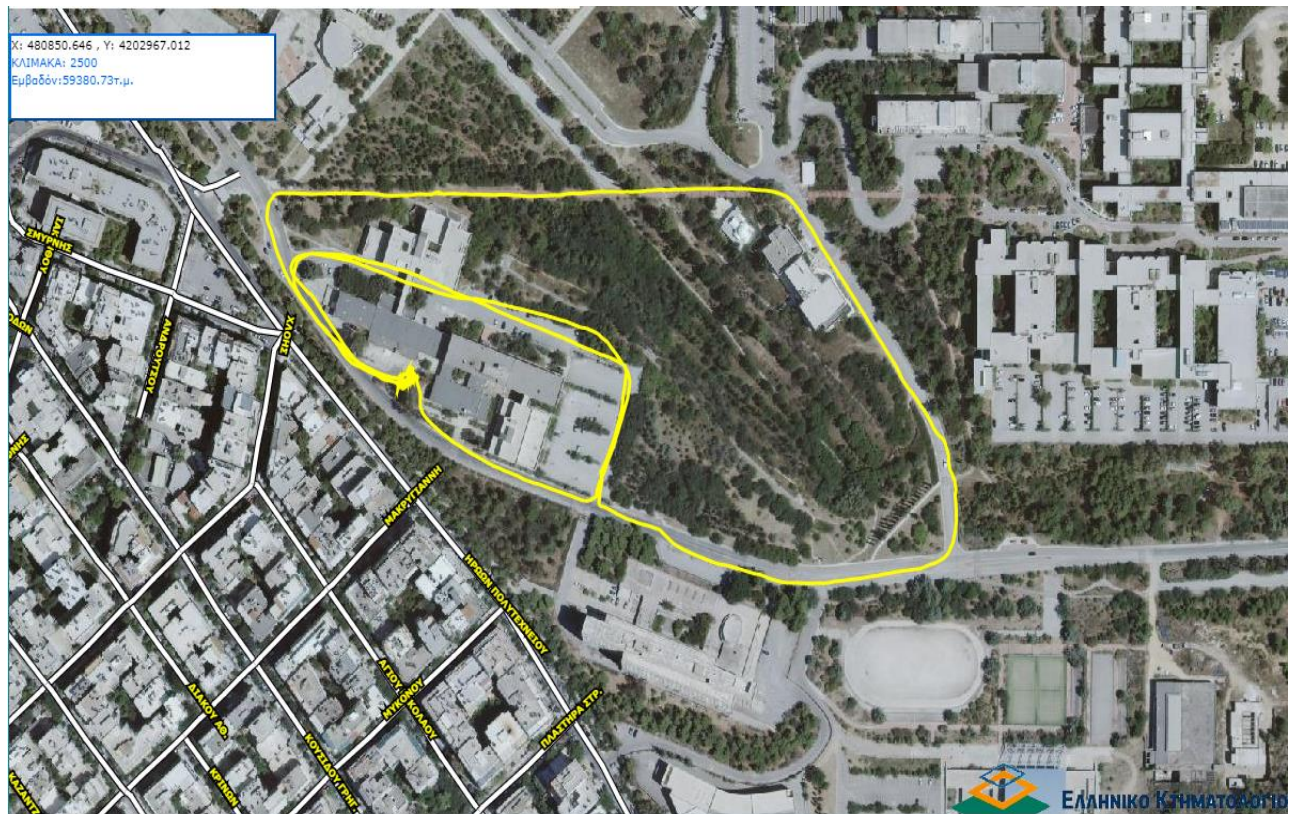
Η τροχιά του πεζού μελετήθηκε με ένα δέκτη χαμηλού κόστους M8T και με το SPATIAL.Η πορεία που ακολούθησε ο πεζός φαίνεται στο υπόβαθρο του κτηματολογίου στην παρακάτω εικόνα.

Στην συνέχεια αφού σχολιαστεί η απόδοση των δεκτών για την συγκεκριμένη τροχιά του πεζού με την χρήση των λογισμικών u-center και RTKLIB παρουσιάζεται και η moving-baseδιαδικασία μεταξύ M8T πέζου σαν roverκαι σαν base M8Tτου οχήματος και μεταξύ M8T-οχήματοςκαι SPATIAL.



Σχήμα 7.49:Τροχιά πεζού M8T με fix post process μεσω RTKLIB(Πηγή:ktimatologio.gr)
Figure7.49:Pedestrian M8T trajectory with fix post process via RTKLIB(Source: ktimatologio.gr)
Η επισήμανση με κόκκινο χρώμα είναι η αναμονή του πεζού πριν ξεκινήσει για την πορεία του προκειμένου να βρει σωστά την θέση και έπειτα να ξεκινήσει την διαδικασία.Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο για το SPATIAL που πριν ξεκινήσει ο πεζός είχε κάποιες τιμές θέσεις που δεν ήταν ορθές επομένως έπρεπε να περιμένει προκειμένου να υπάρξει μια πιο σωστή τροχιά.

Στην συνέχεια φαίνεται πάλι η τροχιά του πεζού βγάζοντας βέβαια τα real-time δεδομένα από την εξαγωγή αποτελεσμάτων που έγινε μέσω του λογισμικού u-center της ublox.Την SPP διαδικασία δηλαδή.



Σχήμα 7.50:Τροχιά πεζού M8T με singles solution(Πηγή:ktimatologio.gr)
Figure 7.50:Pedestrian M8T trajectory with SPP (Source:ktimatologio.gr)

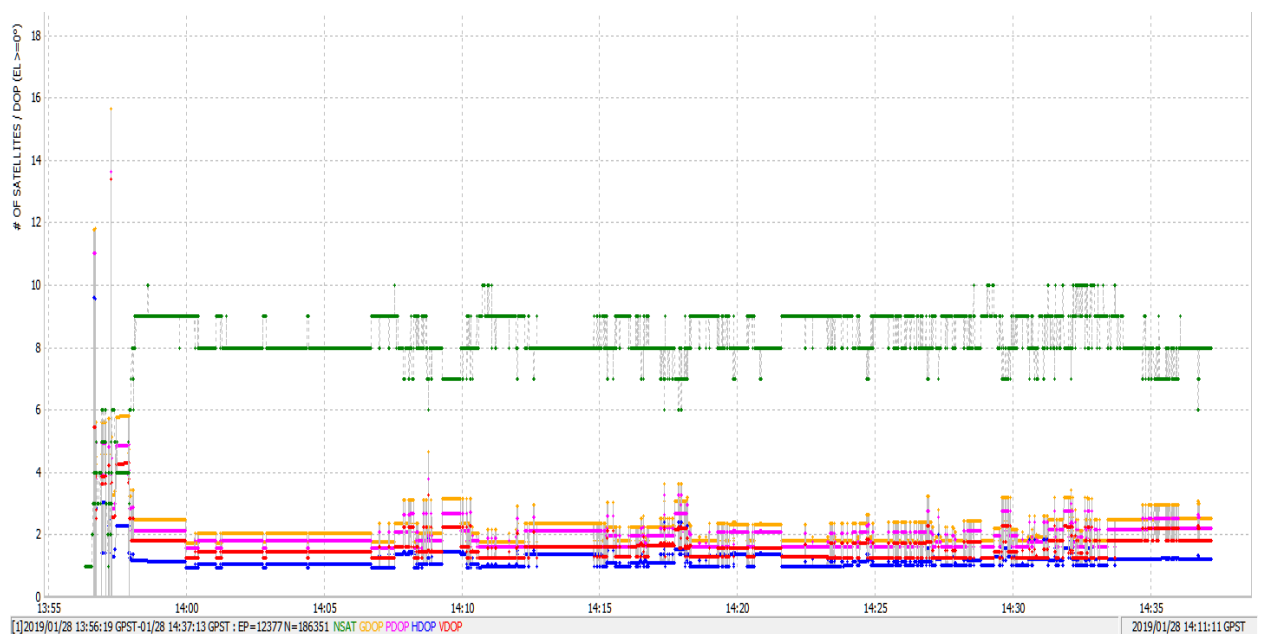
7.2.1 Τροχιά πεζού με την χρήση του λογισμικού RTKLIB

Η τροχιά του πεζού λύθηκε και με το λογισμικό RTKLIB postprocessμε τον αλγόριθμο fix and holdόπως του οχήματος.

Όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα σε κάποια σημεία υπάρχει η fixedλύση και σε κάποια άλλα (στα περισσότερα) η float λύση.Ποσοστό Fixed=43.7%,ποσοστό Float=56.3%.



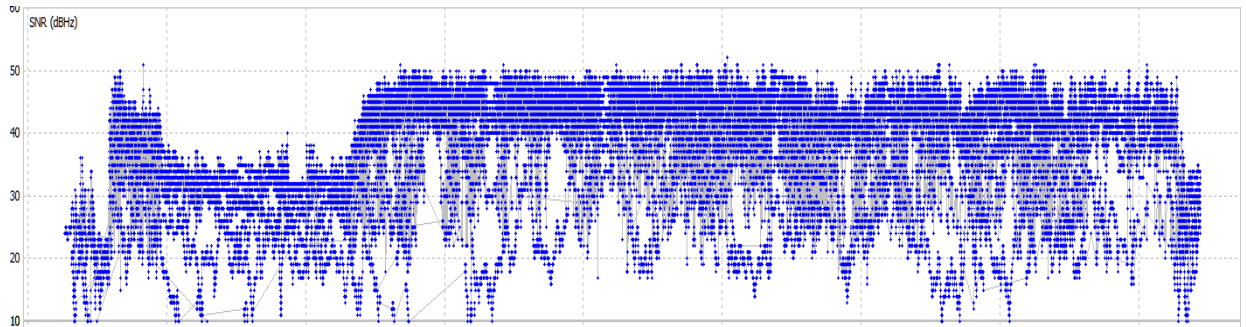
Σχήμα 7.51:Τροχια πεζού(Αλγόριθμος fix and hold combined)
 Figure 7.51:Pedestrian trajectory(fix and hold combined algorithm)



Σχήμα 7.52: Άξονας Χ(ωρα), Αξονας Υ(αριθμός δορυφόρων και γεωμετρία).
 Figure 7.52:X(time),Y(number of SAT and DOP)

Στην αρχή του διαγράμματος φαίνεται ότι μέχρι να βρεί αρκετούς δορυφόρους ο δέκτης οι τιμές των HDOP,PDOP ήταν αρκετά υψηλές με αποτέλεσμα να υπάρχει

χαμηλότερη ακρίβεια σε σχέση με την συνέχεια του πειράματος που οι δείκτες DOP βρισκόντουσαν ως επι το πλείστον σε ικανοποιητικά νούμερα. Αυτό βέβαια είναι συναρτήσει του πλήθους των δορυφόρων. Όπου οι δορυφόροι είναι αρκετοί σε πλήθος συνήθως και το DOP έχει χαμηλές τιμές.

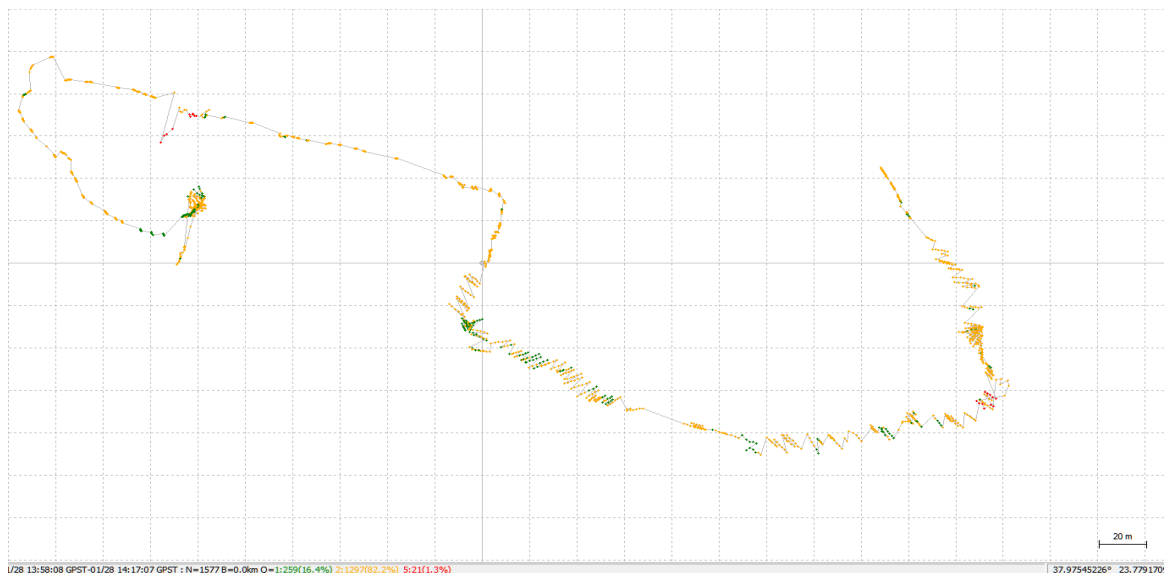


Σχήμα 7.53: Δείκτης SNR κατά την διάρκεια της τροχιάς.

Figure 7.53: SNR during experiment

Όπως ήταν λογικό στην αρχή η τιμή του δείκτη SNR είναι χαμηλή προκειμένου να γίνει σωστά ο εντοπισμός της θέσης του πεζού. Στην συνέχεια παρατηρείται μια σταθερότητα στον δείκτη με λίγες τιμές βέβαια να σημειώνουν κατά περιόδους μείωση.

7.2.1.1 Τροχιά Πεζού με Moving Base διαδικασία M8T Οχήματος-M8T Πεζού(RTKLIB)



Σχήμα 7.54: Τροχιά πεζού (Αλγόριθμος moving_Base)

Figure 7.54: Pedestrian trajectory (moving_base algorithm)

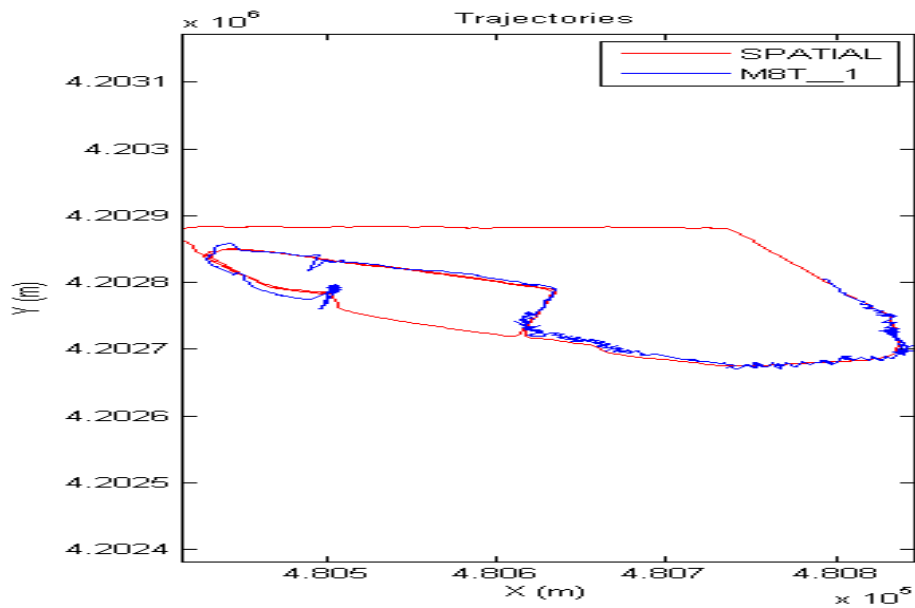


Σχήμα 7.55:Τροχια πεζού(Αλγόριθμος moving_Base)
 Figure 7.55:Pedestrian trajectory(moving_base algorithm)

Στα παραπάνω διαγράμματα χρησιμοποιήθηκε ως rover ο πεζός και ως base ο δέιτης M8T του αυτοκινητού. Προφανώς και τα αποτελέσματα είναι κατώτερης ποιότητας από τους πιο πάνω εντοπισμούς των υπολοίπων τροχιών κάτι μου ήταν αναμενόμενο για την moving –base λύση. Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιήθηκε είναι ο fix and hold με κύρια ποσοστά την float λύση γύρω στο 60%.

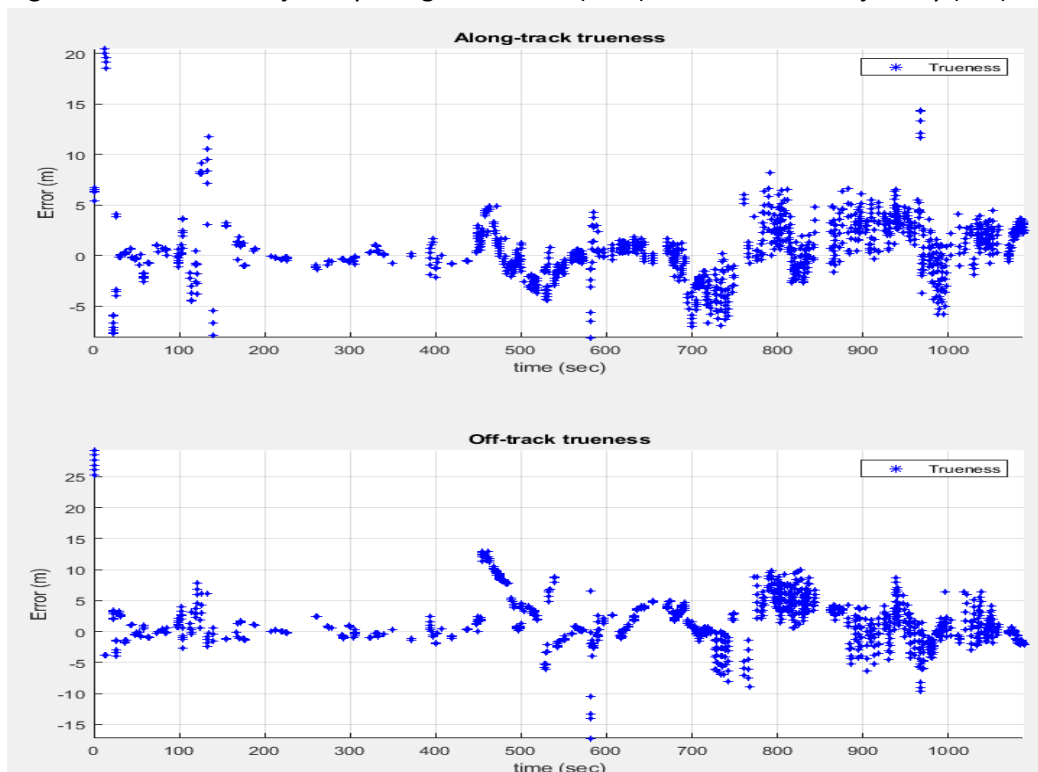
Στην συνέχεια παρουσιάζονται οι τροχιές αυτές σε περιβάλλον MATLAB προκειμένου να σχολιαστούν περαιτέρω οι ακρίβειες των τιμών της moving base διαδικασίας.

7.2.2 Σύγκριση τροχιάς πεζού από το moving base διαδικασία



Σχήμα 7.56: Τροχιά πεζού του δέκτη χαμηλού κόστους u-blox M8T (μπλε) και τροχιά αναφοράς (κόκκινο)

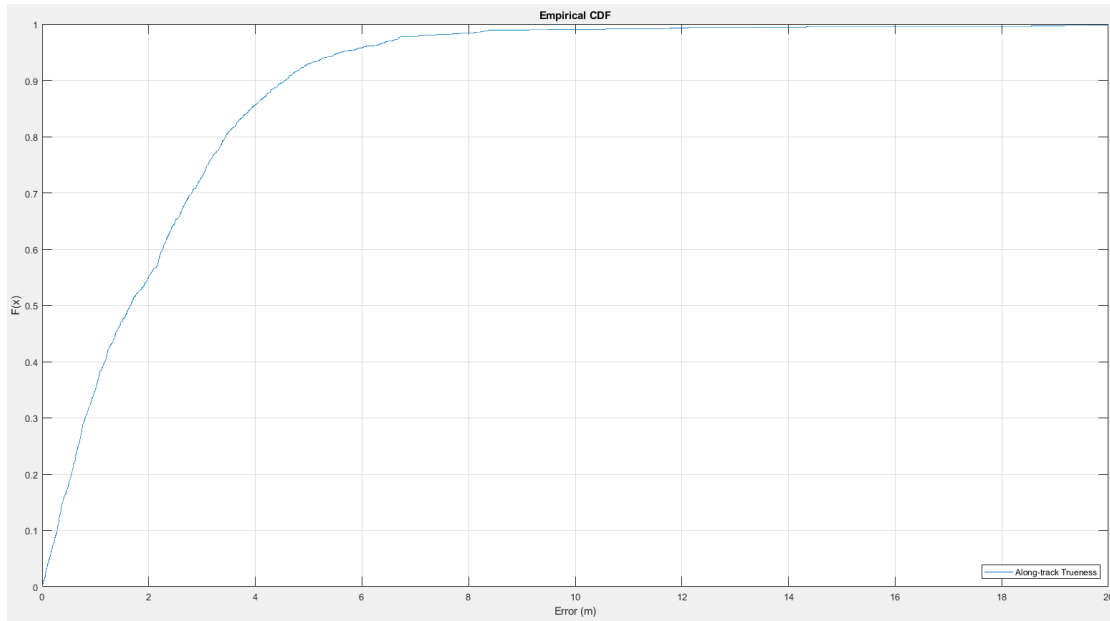
Figure 7.56: Vehicle trajectory using u-bloxM8T (blue) and reference trajectory (red)



Σχήμα 7.57: Εγκάρσια ορθότητα τροχιάς (Off-track) και κατα μήκος ορθότητα τροχιάς (Along-track)

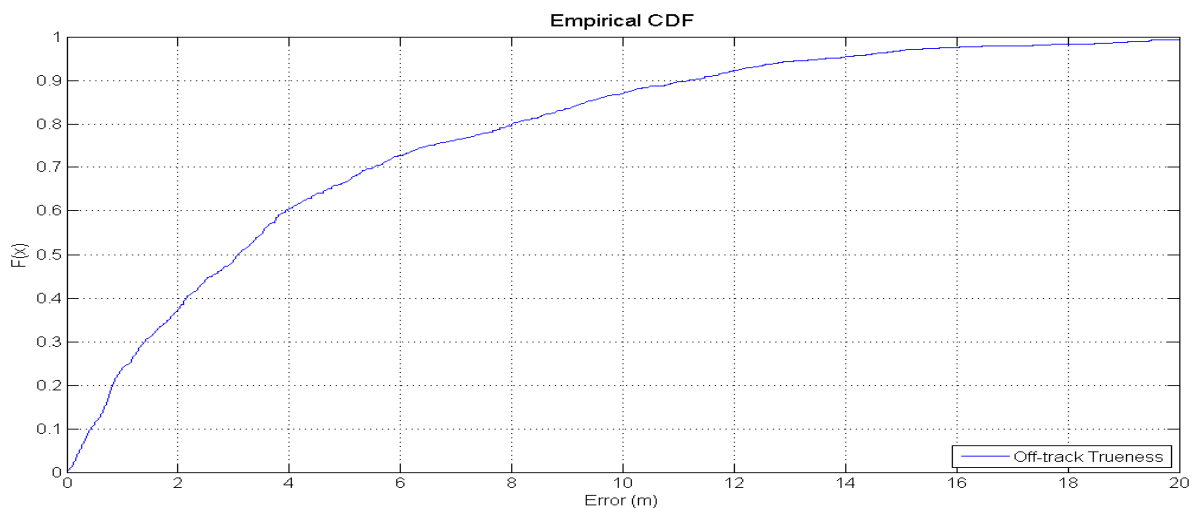
Figure 7.57: Along and off track trueness time series of ublox M8T trajectory

Σαφώς μικρότερης ορθότητας οι μετρήσεις σε σχέση με την τροχιά αναφοράς(SPATIAL).Στην εγκάρσια και κατα μήκος ορθότητα στην αρχή δείχνουν οι τιμές να πηγαίνουν ομαλά αλλά στην συνέχεια φαίνεται να χάνεται η ορθότητα και να αυξάνεται το σφάλμα απόκλισης.



Σχήμα 7.58:Αθροιστική συνάρτηση κατανομής ορθότητας κατα μήκος της διεύθυνσης κίνησης της τροχιάς

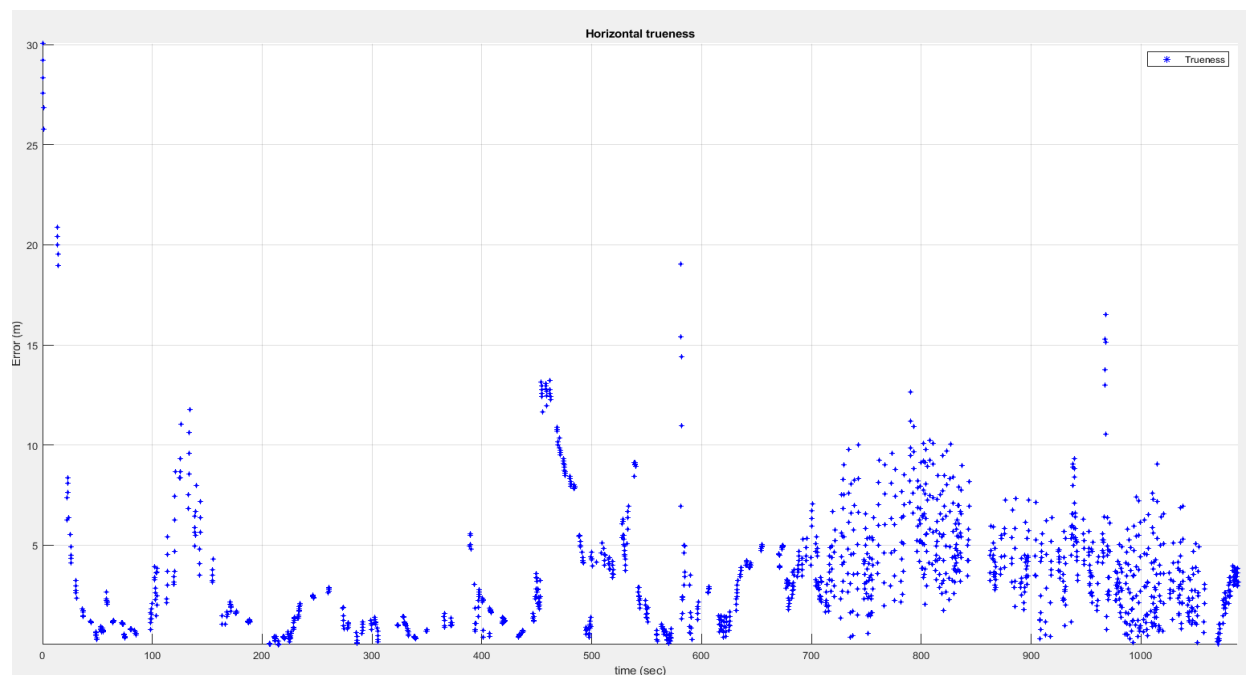
Figure 7.58: Cumulative distribution of positioning trueness of the along track trueness of ubloxM8T trajectory



Σχήμα 7.59:Αθροιστική συνάρτηση κατανομής ορθότητας εγκάρσια της διεύθυνσης κίνησης της τροχιάς

Figure 7.59: Cumulative distribution of positioning trueness of the off-track trueness of ubloxM8T trajectory

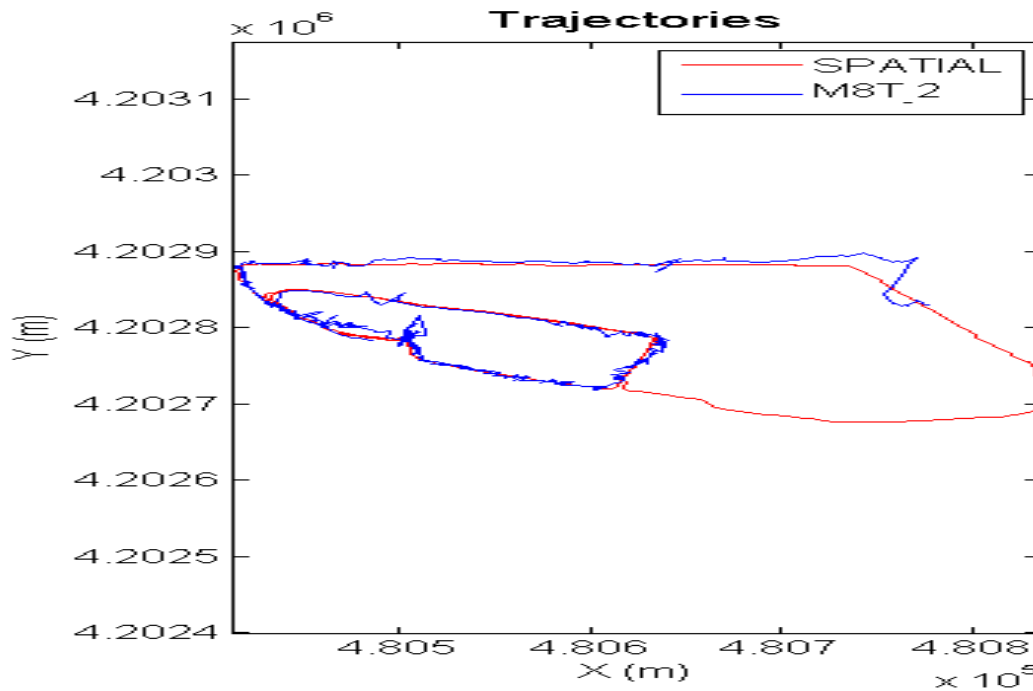
Για την αθροιστική συνάρτηση κατανομής ορθότητας των τιμών στην εγκάρσια διεύθυνση της κίνησης το 50% των μετρήσεων έχει σφάλμα μέχρι 3 μέτρα. Για την αθροιστική συνάρτηση κατανομής ορθότητας των τιμών στην κατά μήκος διεύθυνση της κίνησης το 50% των μετρήσεων έχει απόκλιση από τροχιά ορθότητας 1,8 μέτρα.



Σχήμα 7.60 : Η 2D απόκλιση μεταξύ τροχιάς αναφοράς και τροχιάς ελέγχου (ευκλείδια απόσταση)

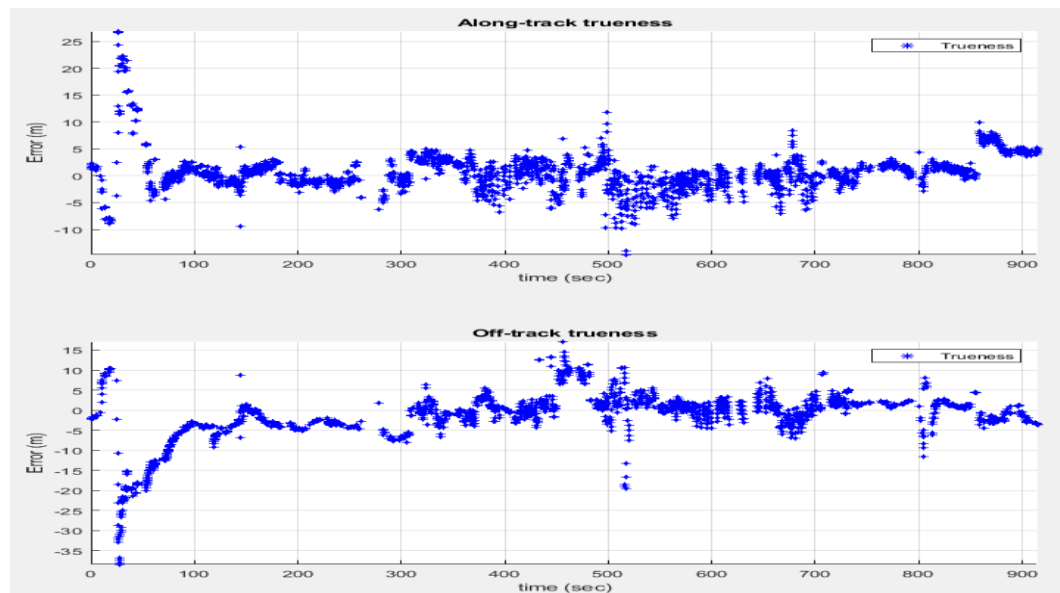
Figure 7.60: Horizontal trueness time series of ublox M8T trajectory

Η ευκλείδια απόσταση μεταξύ τροχιάς αναφοράς (SPATIAL πεζού) και τροχιάς αυτοκινήτου M8T από την moving base διαδικασία φαίνεται σε ορισμένα σημεία να είναι κάτω από 5 μέτρα σφάλμα στην αρχή αλλά στην συνέχεια η ακρίβεια μειώνεται.



Σχήμα 7.61: Τροχιά πεζού του δέκτη χαμηλού κόστους u-blox M8T (μπλε) και τροχιά αναφοράς (κόκκινο)

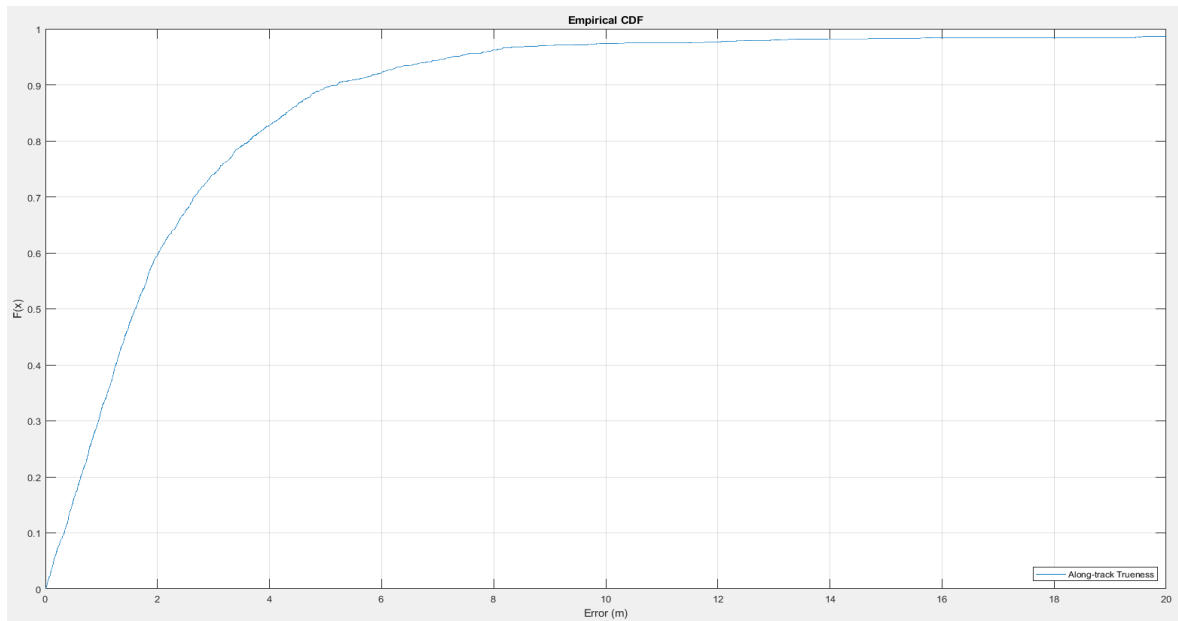
Figure 7.61: Vehicle trajectory using u-bloxM8T (blue) and reference trajectory (red)



Σχήμα 7.62: Εγκάρσια ορθότητα τροχιάς (Off-track) και κατα μήκος ορθότητα τροχιάς (Along-track)

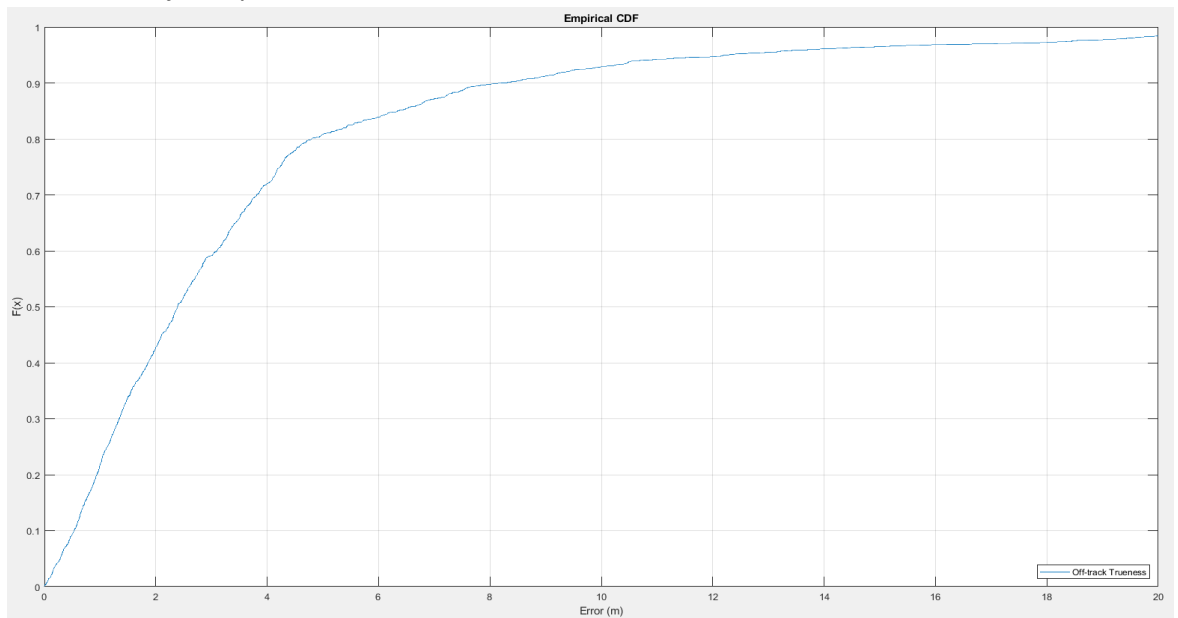
Figure 7.62: Along and off track trueness time series of ublox M8T trajectory

Και από το διάγραμμα τροχιάς αλλά και από τα Off-track και Along-track φαίνεται ότι σε αρκετά σημεία υπάρχουν αποκλίσεις στις τιμές ορθότητας συναρτήσει της τροχιάς αναφοράς.



Σχήμα 7.63: Αθροιστική συνάρτηση κατανομής ορθότητας κατα μήκος της διεύθυνσης κίνησης της τροχιάς

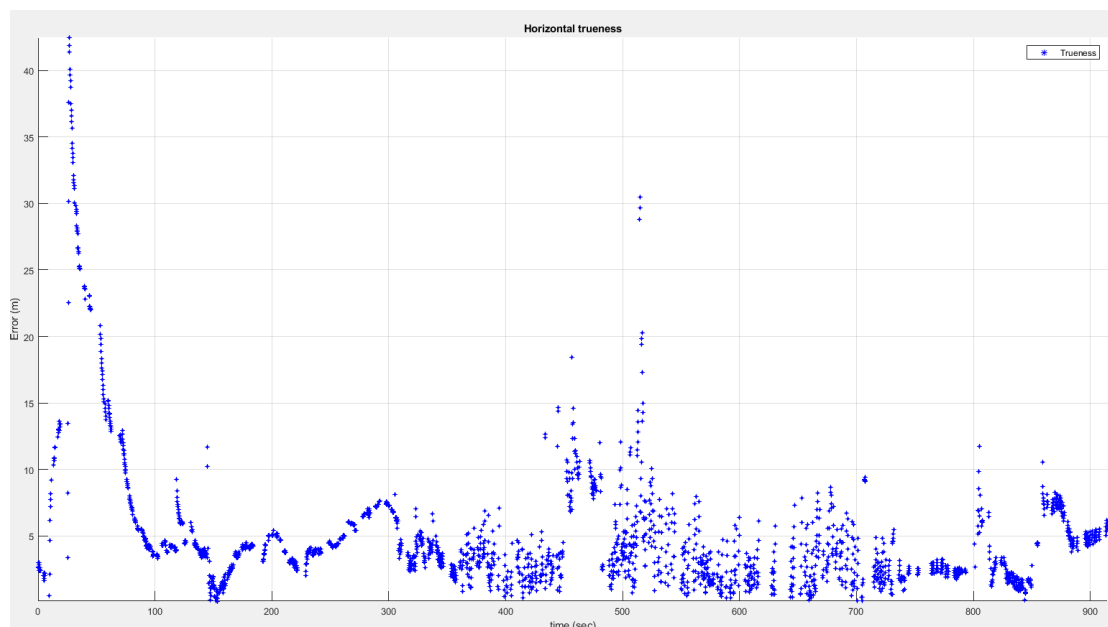
Figure 7.63: Cumulative distribution of positioning trueness of the along track trueness of ubloxM8T trajectory



Σχήμα 7.64: Αθροιστική συνάρτηση κατανομής ορθότητας εγκάρσια της διεύθυνσης κίνησης της τροχιάς

Figure 7.64: Cumulative distribution of positioning trueness of the off-track trueness of ubloxM8T trajectory

Η κατανομή ορθότητας στην εγκάρσια διεύθυνση της κίνησης σαφώς καλύτερη αφού μόλις το 50% των μετρήσεων έχει σφάλμα μέχρι 4 μέτρα, ενώ για το ίδιο ποσοστό στην κατα μήκος διεύθυνση το 50% των μετρήσεων βρίσκεται πάλι στα 1,8 μέτρα.

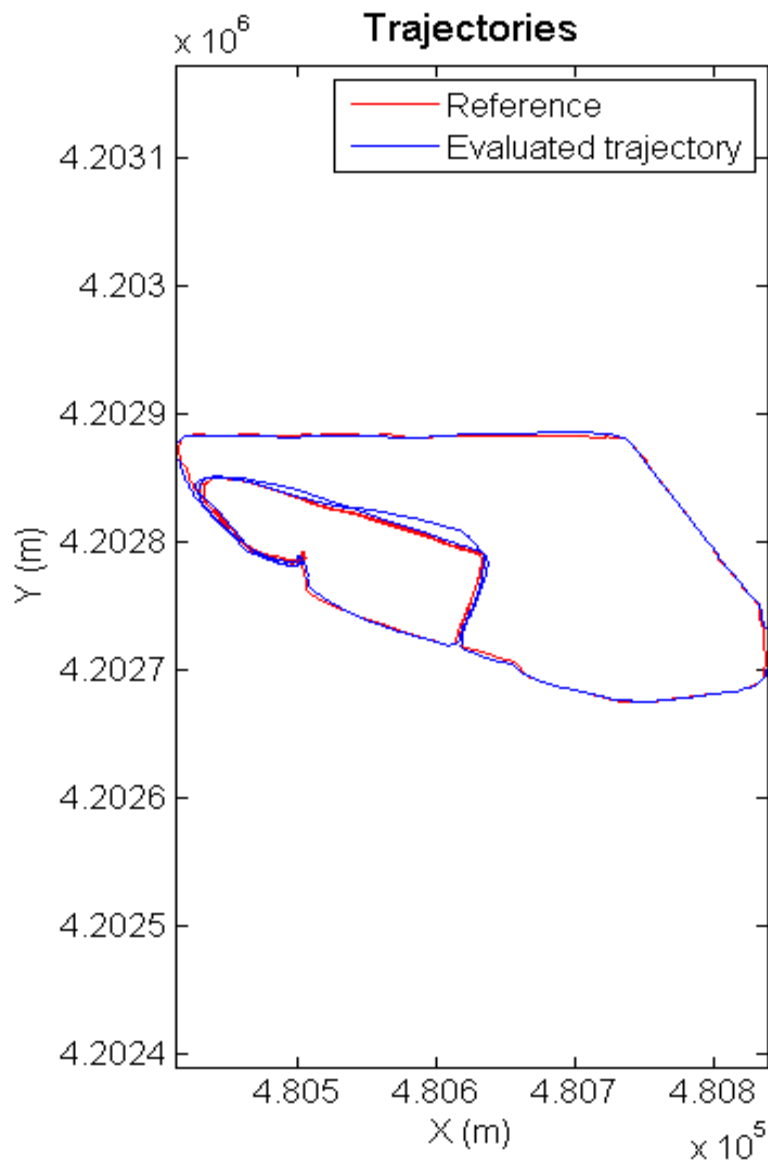


Σχήμα 7.65 : Η 2D απόκλιση μεταξύ τροχιάς αναφοράς και τροχιάς ελέγχου (ευκλείδια απόσταση)

Figure 7.65: Horizontal trueness time series of ublox M8T trajectory

Οι τιμές της ευκλείδιας απόστασης μεταξύ τροχιάς αναφοράς και τροχιάς ελέγχου φαίνεται να απέχουν και σε ορισμένα σημεία και αρκετά μάλιστα. Ήταν αναμενόμενο ότι με την διαδικασία moving base οι τιμές ορθότητας δεν θα ήταν συγκριτικά ίδιες με αυτές που παρουσιάστηκαν στις τροχιές αυτοκινήτου.

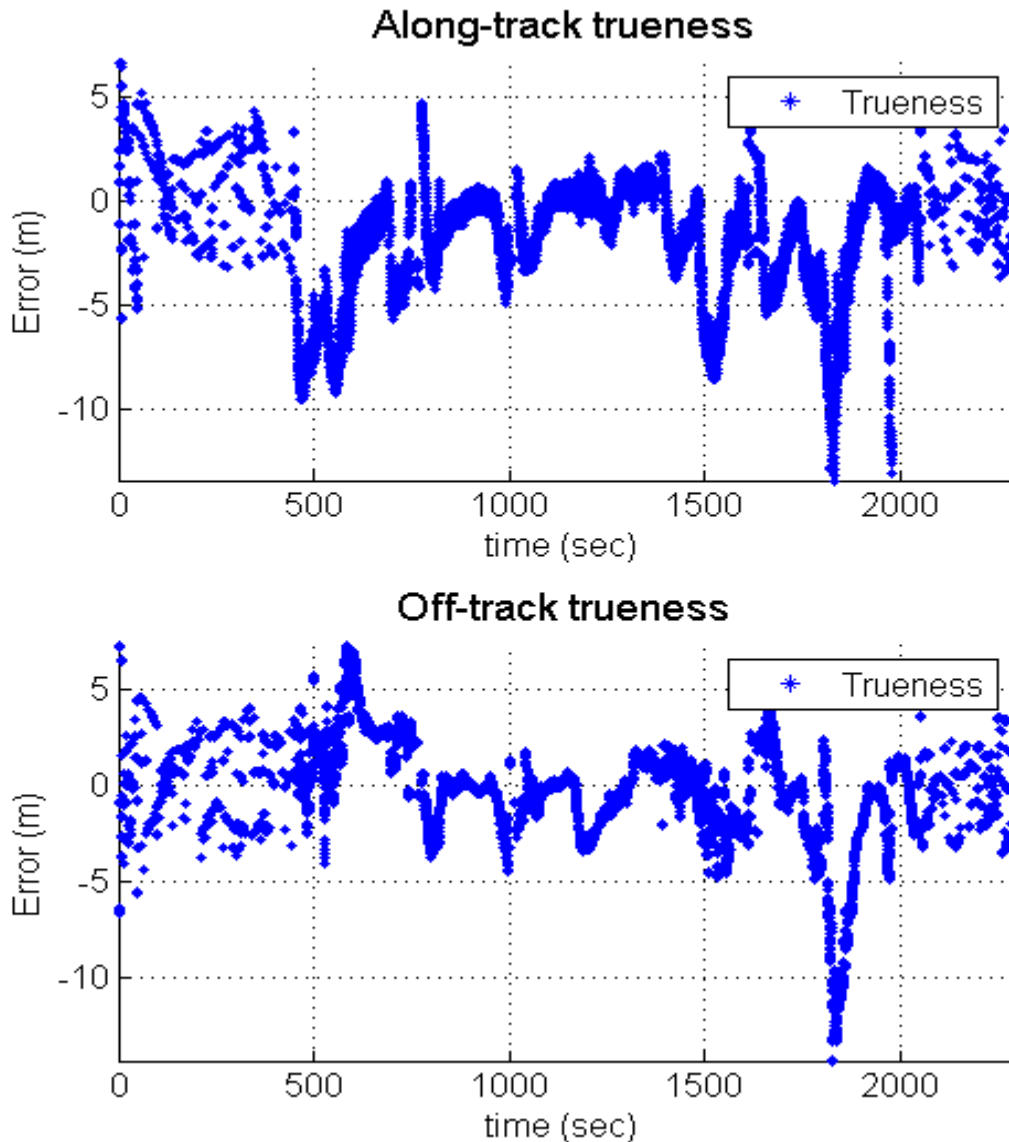
7.2.3 Τροχιά Πεζού με M8T πεζού-SPATIAL(UCENTER).SPP ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ



Σχήμα 7.66:Τροχιά πεζού του δέκτη χαμηλού κόστους u-blox M8T (μπλε) και τροχιά αναφοράς (κόκκινο)

Figure 7.66: Vehicle trajectory using u-bloxM8T (blue) and reference trajectory (red)

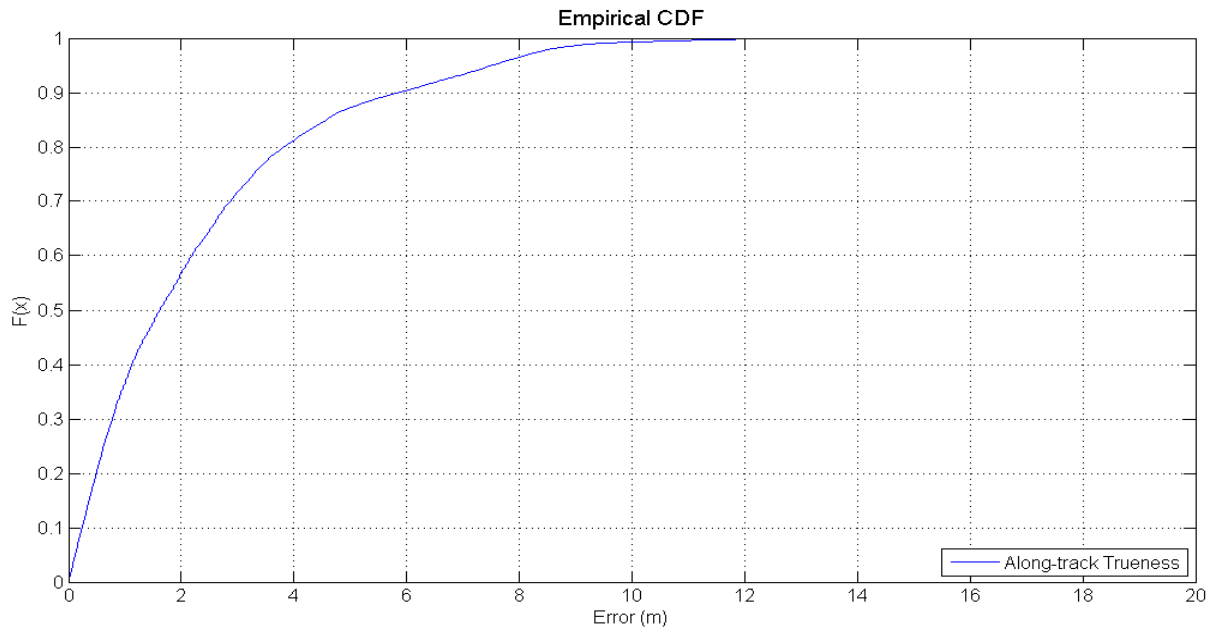
Στο διάγραμμα αυτό φαίνεται ότι η τροχιά του πεζού από τις μετρήσεις που πήρε με τον δέκτη M8T σε κάποια σημεία βρίσκονται κοντά με την τροχιά αναφοράς(κόκκινη) του SPATIAL.Το SPATIAL όπως φαίνεται από όλες τις επεξεργασίες σε περιβάλλον MATLAB έχει τον ρόλο του SPAN για την αντίστοιχη τροχιά του.Για αυτό το λόγο χρησιμοποιείται σαν τροχιά αναφοράς.



Σχήμα 7.67:Εγκάρσια ορθότητα τροχιάς(Off-track) και κατα μήκος ορθότητα τροχιάς (Along-track)

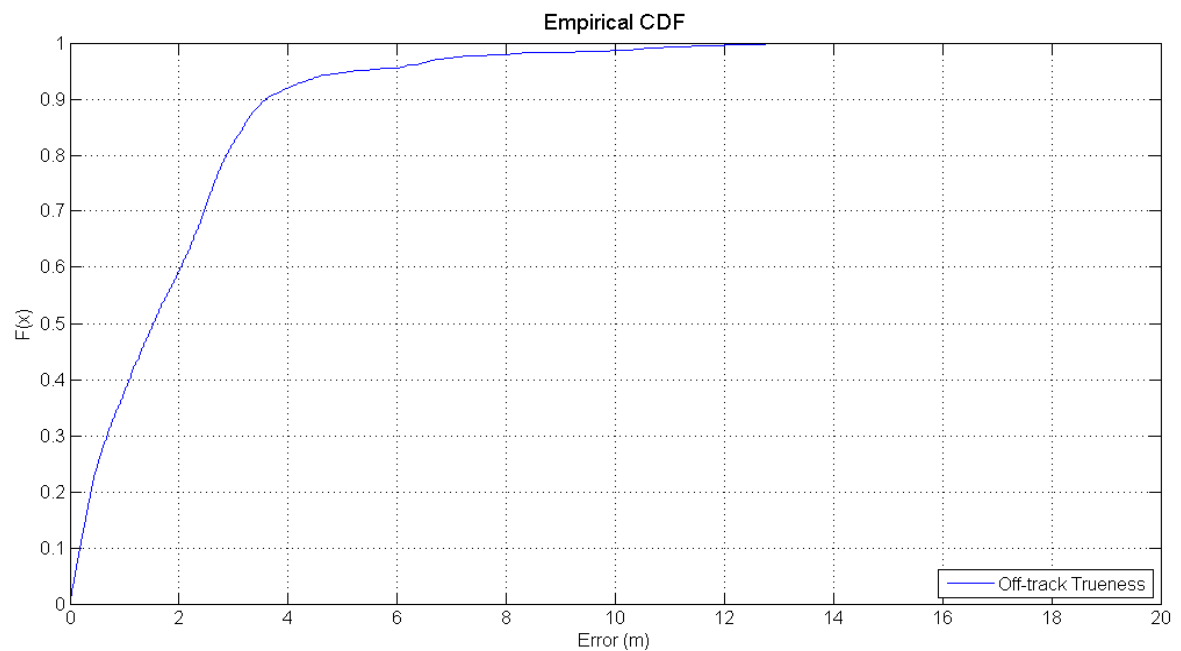
Figure 7.67:Along and off track trueness time series of ublox M8T trajectory

Από τα διαγράμματα εγκάρσιας ορθότητας και κατα μήκος ορθότητας φαίνεται να μην υπάρχει μια σχετικά καλή λύση του M8T με βάση την τροχιά αναφοράς του SPATIAL. Σε ορισμένα σημεία φαίνεται να υπάρχει μια σχετική απόκλιση από την ορθότητα κάτι που φαντάζει λογικό αφού και από το διάγραμμα της τροχιάς φαίνεται ότι σε κάποια σημεία όπως κάτω από την αερογέφυρα που ενώνει το κτήριο Λαμπαδάριο με το κτήριο βέη να υπάρχει αυτό το «τίναγμα» των σημείων όπως φαίνεται προς το τέλος της τροχιάς.



Σχήμα 7.68: Αθροιστική συνάρτηση κατανομής ορθότητας κατα μήκος της διεύθυνσης κίνησης της τροχιάς

Figure 7.68: Cumulative distribution of positioning trueness of the along track trueness of ubloxM8T trajectory

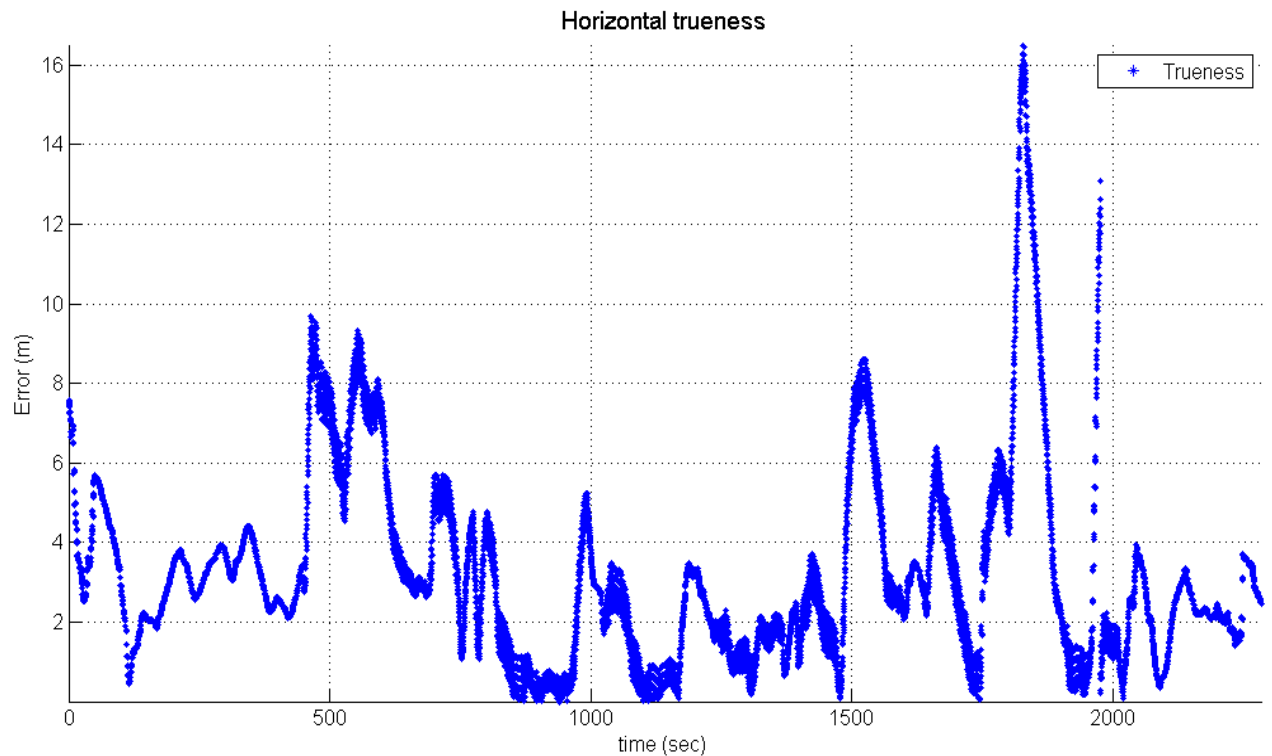


Σχήμα 7.69: Αθροιστική συνάρτηση κατανομής ορθότητας εγκάρσια της διεύθυνσης κίνησης της τροχιάς

Figure 7.69: Cumulative distribution of positioning trueness of the off-track trueness of ubloxM8T trajectory

Όσον αφορά τα ποσοστά των τιμών στις αθροιστικές συναρτήσεις κατανομής ορθότητας στην εγκάρσια διεύθυνση το σχεδόν 90% των τιμών έχει απόκλιση από

την τροχιά αναφοράς μέχρι σχεδόν 4 μέτρα, και για την κατά μήκος διεύθυνση το 90% των τιμών βρίσκεται μέχρι τα 6 μέτρα.



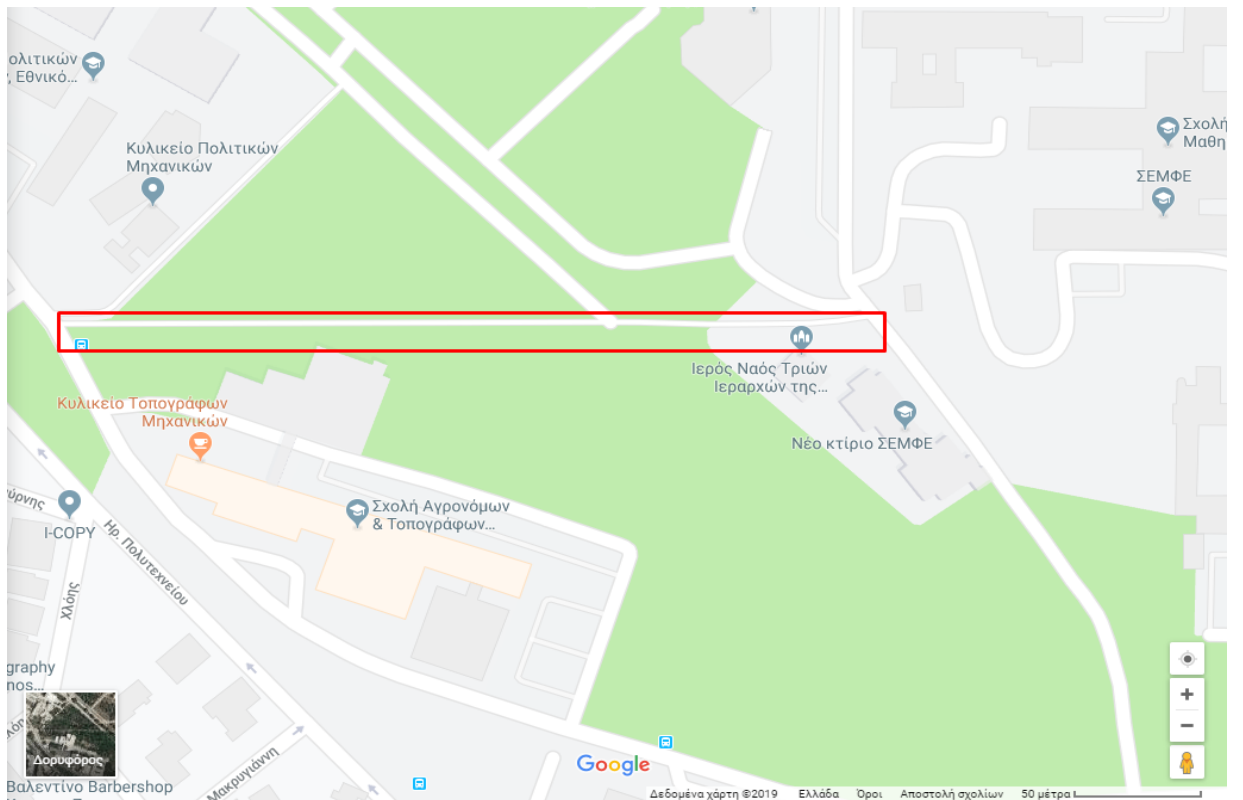
Σχήμα 7.70 : Η 2D απόκλιση μεταξύ τροχιάς αναφοράς και τροχιάς ελέγχου (ευκλείδια απόσταση)

Figure 7.70: Horizontal trueness time series of ublox M8T trajectory

Οι τιμές της ευκλείδιας απόστασης των δυο τροχιών όπως ήταν αναμενόμενο στην αερογέφυρα που το σήμα M8T δυσχέρανε τον καλύτερο εντοπισμό του πεζού, να υπάρχουν υψηλές τιμες απόκλισης της ορθότητας από την τροχιά αναφοράς. Από εκεί και πέρα στα μέσα της τροχιάς φαίνεται να μην ξεπερνάει αυτή η ευκλείδια απόσταση τα 3 μέτρα σφάλμα, έχοντας βέβαια σημεία που φτάνει μέχρι και τα 8, καθώς ο πεζός πέρασε (εκτός από την αερογεφυρα) και κάτω από δέντρα όπως στο κόκκινο διαδρομή της Πολυτεχνειούπολης. Επομένως είναι λογικό σε κάποια σημεία να μην υπάρχει καλός εντοπισμός θέσης εφόσον δέντρα και κτήρια παρεμβάλονται στην διαδρομή του πεζού.



Σχήμα 7.71: Διαδρομή πεζού στον κόκκινο διάδρομο(Πηγή:GoogleEarth)
 Figure 7.71:Pedestrian trajectory(Source:Google Earth)



Σχήμα 7.72: Διαδρομή πεζού στον κόκκινο διάδρομο(Πηγή:GoogleEarth)
 Figure 7.72:Pedestrian trajectory(Source:Google Earth)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συγκριτικά όλες τις τροχιές που έγιναν τόσο στην τροχιά του αυτοκινήτου όσο και στην τροχιά του πεζού οδηγούν σε κάποια συμπεράσματα. Φαίνεται ότι ο δέκτης u-blox M8T έχει τα χειρότερα αποτελέσματα σε σχέση με τον δέκτη χαμηλού κόστους GNSS ublox-C94. Η τροχιά αναφοράς είναι η τροχιά του SPAN καθώς περιέχει την κοντινότερη καλύτερη λύση της τροχιάς του αυτοκινήτου καθώς περιέχει και καλύτερη κεραία (γεωδαιτικού τύπου) και έχει και αδρανειακό σύστημα όπως αναλύθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο. Παρακάτω παρουσιάζονται οι πίνακες που δείχνουν συγκεντρωμένα τις τιμές ορθότητας στις αθροιστικές συναρτήσεις, τις μέσες τιμές και τις τυπικές αποκλίσεις για κάθε δέκτη και μέθοδο επίλυσης.

Συμπερασματικά, ο δέκτης χαμηλού κόστους GNSS M8T είναι σαφώς χειρότερης ποιότητας μετρήσεων από τον ublox C94-M8P ο οποίος παρέχει RTK λειτουργία με αποτέλεσμα να έχει πολύ καλύτερα αποτελέσματα στην τροχιά του σε σχέση με τον M8T. Συγκρίνοντας επομένως τους δύο αυτούς δέκτες σε σχέση με το σύστημα SPAN, βγαίνει το συμπέρασμα ότι ο δέκτης C94-M8P δίνει πολύ καλή λύση τόσο μέσω του λογισμικού του UCENTER όσο και μέσω του RTKLIB λογισμικού. Ίδια δηλαδή σφάλματα επομένως είναι μια καλή λύση για χαμηλού κόστους δέκτη για παρατηρήσεις τροχιών.

Ο δέκτης της ublox M8T δεν είχε τόσο καλά αποτελέσματα και σαφώς χαμηλότερης ακρίβειας από τον C94-M8P κάτι που αναμενόταν καθώς ο τελευταίος δέκτης είναι και πιο καινούριος με αποτέλεσμα καλύτερης λειτουργίας.

Όσον αφορά την τροχιά πεζού χρησιμοποιήθηκε το SPATIAL ως τροχιά αναφοράς (όπως το αντίστοιχο SPAN για το όχημα). Η πρώτη σύγκριση ήταν το M8T του πεζού με το SPATIAL σε SPP (stand-alone) διαδικασία με αποτέλεσμα το 90 % των σημείων να έχουν έως 4 μέτρα σφάλμα ορθότητας εγκάρσια και 6 μέτρα κατά μήκος της διεύθυνσης. Η δεύτερη σύγκριση ήταν μεταξύ M8T οχήματος και M8T του οχήματος σε moving base διαδικασία που τα αποτελέσματα κινήθηκαν πάνω κάτω σε καλές σχετικές τιμές ως προς την τιμές ορθότητας, παρόλο την εισαγωγή σε base και rover δεδομένων που προήλθαν από SPP διαδικασία.

ΔΕΚΤΕΣ	CDF_ΕΓΚΑΡΣΙΑ	CDF_ΚΑΤΑ_ΜΗΚΟΣ
C94 RTK-SPAN	90%-εως 2 μέτρα	90%-εως 2 μέτρα
C94 POST-SPAN	90%>-εως 2 μέτρα	90%-εως 2 μέτρα
M8T 1 SPP-SPAN	60%-εως 2 μέτρα	40%-εως 2 μέτρα
M8T 1 POST-SPAN	80%-εως 2 μέτρα	75%-εως 2 μέτρα
M8T 2 SPP-SPAN	40%-εως 2 μέτρα	30%-εως 2 μέτρα
M8T 2 POST-SPAN	50%-εως 2 μέτρα	40%-εως 2 μέτρα
M8T ΠΕΖΟΥ SPP SPATIAL	90%>-εως 2 μέτρα	60%-εως 2 μέτρα
M8T ΠΕΖΟΥ- M8T 1 ΟΧΗΜΑΤΟΣ	50%-εως 2 μέτρα	55%-εως 2 μέτρα
M8T ΠΕΖΟΥ-M8T 2 ΟΧΗΜΑΤΟΣ	40%-εως 2 μέτρα	60%-εως 2 μέτρα

Πίνακας 8.1:Τελικά αποτελέσματα

Table 8.1:Final Results

ΔΕΚΤΕΣ	ΕΓΚΑΡΣΙΑ(Off)	ΚΑΤΑ_ΜΗΚΟΣ(Along)
C94 RTK-SPAN	0,18	0,89
C94 POST-SPAN	0,69	0,44
M8T 1 SPP-SPAN	2,78	4,43
M8T 1 POST-SPAN	1,21	1,01
M8T 2 SPP-SPAN	17	9
M8T 2 POST-SPAN	5,7	2,6
M8T ΠΕΖΟΥ SPP SPATIAL	0,26	1,51
M8T ΠΕΖΟΥ-M8T 1 ΟΧΗΜΑΤΟΣ	1,54	0,61
M8T ΠΕΖΟΥ-M8T 2 ΟΧΗΜΑΤΟΣ	1,3	0,75

Πίνακας 8.2:Μέση τιμή για κάθε διαδικασία

Table 8.2:Mean for each process

ΔΕΚΤΕΣ	ΕΓΚΑΡΣΙΑ(Off)	ΚΑΤΑ_ΜΗΚΟΣ(Along)
C94 RTK-SPAN	4,86	7,93
C94 POST-SPAN	3,76	4,36
M8T 1 SPP-SPAN	9,29	8,67
M8T 1 POST-SPAN	2,05	1,43
M8T 2 SPP-SPAN	59,6	49,58
M8T 2 POST-SPAN	11,7	8,4
M8T ΠΕΖΟΥ SPP SPATIAL	2,69	2,92
M8T ΠΕΖΟΥ-M8T 1 ΟΧΗΜΑΤΟΣ	3,01	3,97
M8T ΠΕΖΟΥ-M8T 2 ΟΧΗΜΑΤΟΣ	5,7	4

Πίνακας 8.3:Τυπική απόκλιση για κάθε διαδικασία

Table 8.3:SD for each process

Εν κατακλείδι, πριν από κάθε εργασία θα πρέπει να γνωρίζει ο καθένας ακριβώς την δουλειά που θέλει να κάνει και τι ακρίβειες πρέπει να περιμένει και με πάντα όσο το δυνατόν χαμηλότερο κόστος. Ενθαρρυντικό είναι ότι ο δέκτης χαμηλού κόστους GNSStης ublox C94-M8T RTK έχει πολύ καλά αποτελέσματα στις διάφορες τροχιές που ελέγχθηκαν με αποτέλεσμα να «φέρνει εις πέρας» τέτοιου είδους τροχιές με ακρίβειες που αναφέρθηκαν παραπάνω. Ο δέκτης M8T χρειάζεται αρκετή υποβοήθηση από λογισμικά (όχι της ublox) όπως το RTKLIB σε μια post process διαδικασία προκειμένου να υπάρξει μια πιο αξιοπρεπής λύση.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Gikas V., Perakis H. (2016), "Rigorous performance evaluation of smartphone GNSS/IMU sensors for ITS applications", MDPI Sensors
- Kennedy S., Hamilton J., Martell H. (2006), "GPS/INS Integration with the iMAR-FSAS IMU", NovAtel Inc.
- Παραδείσης Δ. (2000), "Σημειώσεις Δορυφορικής Γεωδαισίας
- Schmidt G., Phillips R. (2010), "INS/GPS Integration Architectures", RTO Lecture series
- Gikas V. (1996), "Least Squares Filtering and Testing for Positioning and Quality Control during 3D Marine Seismic Surveys", PhD thesis, University of Newcastle upon Tyne
- C.Kittel, W.D.Knight, M. A. Ruderman, A.C.Helmolz και B.J Moyer, Μηχανική, Πανπιστημιακές εκδόσεις ΕΜΠ, 1998.
- Αθανάσιος Γκέγκας, Δοκιμές Ολοκληρωμένου Δορυφορικού και Αδρανειακού συστήματος πλοήγησης, Κέντρο Δορυφόρων Διονύσου, ΕΜΠ
- Διερευνώντας τις δυνατότητες των συστημάτων GNSS του αύριο...σήμερα. Δορυφορική Γεωδαισία: Δ.Δεληκαράογλου και Γ.Κατσιγιάννη, ΣΑΤΜ ΕΜΠ
- Τεχνολογία GPS και οι εφαρμογές του, Όλγα Παύλου, Τ.Ε.Ι ΗΠΕΙΡΟΥ
- Αξιολόγηση ακρίβειας εντοπισμού της τεχνικής RTK με χρήση GNSS μόνιμων σταθμών αναφοράς, Λαϊνάς Ιωάννης, Εργαστήριο Γεωδαισίας, ΕΜΠ
- Implementation and Analysis of Tightly Coupled Global Navigation Satellite System Precise Point Positioning/Inertial Navigation System (GNSS PPP/INS) with Insufficient Satellites for Land Vehicle Navigation, Yue Liu, Fei Liu, Yang Gao and Lin Zhao
- Πειραματική αξιολόγηση δεκτών GNSS χαμηλού κόστους σε εφαρμογές ευφυών συστημάτων μεταφορών, Σωτηρίου Παναγιώτης, ΕΜΠ
- Μεταβολές του Κέντρου Φάσης των Κεραιών GPS και Επιδράσεις στην Ακρίβεια των Μετρήσεων, Μιχάλης Γιαννίου, Τεχν. Χρον. Επιστ. Έκδ. ΤΕΕ, Ι, τεύχ. 2-3 2005
- Εφαρμογές Παγκόσμιου Δορυφορικού Συστήματος Εντοπισμού θέσης. Κεφάλαιο 4 Μετρήσεις GPS, Τ.Ε.Ι Κρήτης
- Wells D. et al. (1986), "GUIDE TO GPS POSITIONING", CANADIAN GPS ASSOCIATES
- Kennedy S., Hamilton J., Martell H., "Architecture and System Performance of SPAN NovAtel's GPS/INS Solution", NovAtel Inc.
- Χρήση τεχνικών RTK σε αστική αποτύπωση-εφαρμογή στην πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου, Αναγνού Κωνσταντίνια, ΕΜΠ
- Single- versus Dual-Frequency Precise Point Positioning, Article from Inside GNSS

- Συστήματα Συστήματα GNSS GNSS Τρέχουσα Τρέχουσα κατάσταση κατάσταση Τεχνολογικές Τεχνολογικές Τάσεις Τάσεις – Εξελίξεις,Δ.Δεληκαράογλου,ΣΑΤΜ ΕΜΠ
- FIG Commission 5 Publication (2010), “Cost Effective GNSS Positioning Techniques”, FIG PUBLICATION NO 49
- Υλοποίηση και Διερεύνηση Τεχνικών Διαφορικού Wi-Fi για Εντοπισμό σε εσωτερικούς χώρους,Παναγιώτης Χατζής,ΕΜΠ
- Δεληκαράογλου Δ,Ειδικά Θέματα Δορυφορικής Γεωδαισίας,Εκδόσεις ΕΜΠ,2005

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.1:Διάφορες εφαρμογές των GPS.(Πηγή: Το Παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα εντοπισμού θέσης Global Positioning System, GPS.Κωνσταντίνος Λακάκης.).....	8
Σχήμα 1.2:Δέκτες GNSS low cost κατα την διάρκεια των μετρήσεων.....	10
Σχήμα 1.3:Κεραίαδείκτη GNSS low cost.....	11
Σχήμα 2.1:Ψευδοαπόσταση.(Πηγή:Το Παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα εντοπισμού θέσης Global Positioning System, GPS.Κωνσταντίνος Λακάκης).....	16
Σχήμα 2.2:Ατμοσφαιρικές επιδράσης. Συστήματα GNSS Τρέχουσα κατάσταση - Τεχνολογικές Τάσεις – Εξελίξεις.(Πηγή: Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΟΓΛΟΥ, ΣΑΤΜ- ΕΜΠ, ΤΕΠΑΚ).....	20
Σχήμα 2.3:Ατμοσφαιρικές επιδράσης. Συστήματα GNSS Τρέχουσα κατάσταση - Τεχνολογικές Τάσεις – Εξελίξεις. (Πηγή:Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΟΓΛΟΥ, ΣΑΤΜ- ΕΜΠ, ΤΕΠΑΚ).....	21
Σχήμα 2.4:HDOP/VDOP.(Πηγή: Το Παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα εντοπισμού θέσης Global Positioning System, GPS.Κωνσταντίνος Λακάκης).....	22
Σχήμα 2.5:Απόλυτος Εντοπισμός.(Πηγή: Το Παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα εντοπισμού θέσης Global Positioning System, GPS.Κωνσταντίνος Λακάκης).....	24
Σχήμα 2.6:Σχετικός εντοπισμός.(Πηγή: Το Παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα εντοπισμού θέσης Global Positioning System, GPS.Κωνσταντίνος Λακάκης).....	25
Σχήμα 2.7:Απλές διαφορές. (Πηγή:eclass.teicrete.gr/πρόσθετα βοηθήματα).....	26
Σχήμα 2.8:Απλές διαφορές. (Πηγή:eclass.teicrete.gr/πρόσθετα βοηθήματα).....	26
Σχήμα 2.9:Απλές διαφορές μεταξύ εποχών. (Πηγή:eclass.teicrete.gr/πρόσθετα βοηθήματα).....	27
Σχήμα 2.10:Διπλές διαφορές. (Πηγή:eclass.teicrete.gr/πρόσθετα βοηθήματα).....	27
Σχήμα 2.11:Τριπλές διαφορές. (Πηγή:eclass.teicrete.gr/πρόσθετα βοηθήματα).....	28
Σχήμα 2.12:Στατικός εντοπισμός (Πηγή:eclass.teicrete.gr/πρόσθετα βοηθήματα).....	29
Σχήμα 2.13:Γρήγορος Στατικός εντοπισμός (Πηγή:eclass.teicrete.gr/πρόσθετα βοηθήματα).....	29
Σχήμα 2.14:Ψευδοκινηματικός εντοπισμός (Πηγή:eclass.teicrete.gr/πρόσθετα βοηθήματα).....	30
Σχήμα 2.15:Stop and go (Πηγή:eclass.teicrete.gr/πρόσθετα βοηθήματα).....	31
Σχήμα 2.16:Κινηματικός εντοπισμός (Πηγή:eclass.teicrete.gr/πρόσθετα βοηθήματα).....	31
Σχήμα 2.17:RTK εντοπισμός (Πηγή:GPS for Land Surveyors).....	32
Σχήμα 2.18 :RTK εφαρμογή με κινούμενο δέκτη το αυτοκίνητο.(Πηγή:Inertialsense.com)...	33
Σχήμα 2.19:ΔίκτυοCORS.(Πηγή:gnss.curtin.edu.au).....	34
Σχήμα 2.20:ΔίκτυοVRS.(Πηγή:GISResources).....	35
Σχήμα 2.21:DGPS. Συστήματα GNSS Τρέχουσα κατάσταση - Τεχνολογικές Τάσεις – Εξελίξεις (Πηγή:Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΟΓΛΟΥ, ΣΑΤΜ- ΕΜΠ, ΤΕΠΑΚ).....	36
Σχήμα 3.1: Αδρανειακή μονάδα (IMU) (Πηγή: Noureldinetal 2013).....	38
Σχήμα 3.2: Γωνίες στροφής κατά τους άξονες Z,X,Y (Πηγή: Noureldin et al 2013).....	40
Σχήμα 4.1:Αδρανειακή Μονάδα (Πηγή: Φωτογραφία πεδίου).....	44
Σχήμα 4.2 Δορυφορικός δέκτης ProPak-V3 (Πηγή: Φωτογραφία από πεδίο)	45
Σχήμα 4.3 Δορυφορικός δέκτης ProPak-V3 .(Πηγή:NovAtel).....	46
Σχήμα 4.4:Κεραία SPAN (Πηγή: Φωτογραφία από πεδίο)	47
Σχήμα 4.5:Κεραία NovAtel Pinwhell Antenna 702-GG (Πηγή: Φωτογραφία από πεδίο).....	47
Σχήμα 4.6:Δέκτης u-blox C94-M8P(κόκκινο), δέκτης u-blox EVK M8T(μπλε) (Πηγή: Φωτογραφία από πεδίο).....	48
Σχήμα 4.7:Δέκτηςu-blox C94-M8P (Πηγή: ublox).....	48
Σχήμα 4.8: RTK διαδικασία μεταξύ low cost GNSS receivers(Πηγή:u-blox).....	50
Σχήμα 4.9:Κεραία ANN-MS με τις διαστάσεις(Πηγή:u-blox).....	50
Σχήμα 4.10:Όλες οι κεραίες(Πηγή:Φωτογραφία από πεδίο).....	51
Σχήμα 4.11: Advanced Navigation SPATIAL(Πηγή:Advanced Navigation).....	52

Σχήμα 4.12: Σύστημα SPATIAL(Πηγή:Advanced Navigation).....	53
Σχήμα 4.13: Σύστημα SPATIAL(Πηγή:Advanced Navigation).....	53
Σχήμα 4.14: Σύστημα SPATIAL,πρόγραμμα(Πηγή:Advanced Navigation).....	56
Σχήμα 4.15:SPATIAL INS vs ublox GPS (Πηγή:Advanced Navigation).....	57
Σχήμα 4.16: Λειτουργία εφαρμογών RTKLIB(Πηγή:RTKLIB manual).....	58
Σχήμα 4.17:Table View τηςεφαρμογής u-center(Πηγή:ucenter).....	59
Σχήμα 4.18:Chart View.Απεικόνιση της τροχιάς του αυτοκινήτου(Πηγή:ucenter).....	60
Σχήμα 4.19:Λογισμικό (Πηγή:ucenter).....	60
Σχήμα 4.20:Καταγραφή μετρήσεων με λάπτοπ(Πηγή:Φωτογραφία στο πεδίο).....	61
Σχήμα 4.21:Καταγραφή μετρήσεων με κινητό(Πηγή:Φωτογραφία στο πεδίο).....	61
Σχήμα 4.22:Περιβάλλον Inertial Explorer(Πηγή:Inertial Explorer).....	62
Σχήμα 5.1:Σενάριο 1,Πολυτεχνειούπολη,Ζωγράφου(Πηγή:Googlemaps).....	64
Σχήμα 5.2:Σενάριο 2,Πολυτεχνειούπολη,Ζωγράφου(Πηγή:Googlemaps).....	64
Σχήμα 5.3:Εγκατάσταση Base σε σημείο με γνωστές συντεταγμένες(Πηγή:Φωτογραφία από πεδίο).....	69
Σχήμα 5.4:Εγκατάσταση Base με γνωστές συντεταγμένες για την αποστολή διορθώσεων στον δέκτη (rover). (Πηγή:Φωτογραφία από πεδίο).....	70
Σχήμα 5.5:Αδρανειακό σύστημα(Πηγή:Φωτογραφία από πεδίο).....	71
Σχήμα 5.6:Λειτουργία SPAN και ublox(Πηγή:Φωτογραφία από πεδίο).....	72
Σχήμα 5.7: Κάπελο με το SPATIAL(κόκκινο περίγραμμα) και με την κεραία του u-blox(πράσινο περίγραμμα) (Πηγή:Φωτογραφία από πεδίο).....	73
Σχήμα 6.1:Επιλογή παραμέτρων(Πηγή:RTKLIB).....	74
Σχήμα 6.2:Επιλογή παραμέτρων(Πηγή:RTKLIB).....	75
Σχήμα 6.3:Επιλογή παραμέτρων(Πηγή:RTKLIB).....	75
Σχήμα 6.4:Επιλογή παραμέτρων(Πηγή:RTKLIB).....	76
Σχήμα 6.5:Επιλογή παραμέτρων(Πηγή:RTKLIB).....	77
Σχήμα 6.6:Επιλογή παραμέτρων.Εισαγωγή Base(Πηγή:RTKLIB).....	77
Σχήμα 6.7:Τροχιά αυτοκινήτου(Πηγή:RTKLIB).....	78
Σχήμα 6.8:Επιλογή παραμέτρων(Πηγή:RTKLIB).....	78
Σχήμα 6.9:Skyplot (Πηγή:RTKLIB).....	79
Σχήμα 6.10: SNR/Elevation (Πηγή:RTKLIB).....	80
Σχήμα 6.11: Διαγράμματα ταχυτήτων του οχήματος σε διάφορες κατευθύνσεις(Πηγή:RTKLIB).....	81
Σχήμα 6.12: Αριθμός δορυφόρων και γεωμετρία (Πηγή:RTKLIB).....	81
Σχήμα 6.13: Διαγράμματα επιταχύνσεων του οχήματος σε διάφορες κατευθύνσεις (Πηγή:RTKLIB).....	82
Σχήμα 6.14: Εισαγωγή εφημερίδων δορυφόρων(Πηγή: Inertia Explorer).....	82
Σχήμα 6.15: Τροχιά οχήματος(Πηγή: Inertial Explorer).....	83
Σχήμα 6.16:Εντολή LC Solution(Πηγή: Inertial Explorer).....	83
Σχήμα 6.17: Διάγραμμα ταχύτητας προς χρόνο (Πηγή: Inertial Explorer).....	84
Σχήμα 6.18: Διάγραμμα επιτάχυνσης προς χρόνο (Πηγή: Inertial Explorer).....	84
Σχήμα 6.19: Διάγραμμα κατάστασης δορυφόρων προς χρόνο (Πηγή: Inertial Explorer).....	85
Σχήμα 6.20: Διάγραμμα αριθμού δορυφόρων προς χρόνο (Πηγή: Inertial Explorer).....	85
Σχήμα 6.21: Skyplot των δορυφόρων (Πηγή: Inertial Explorer).....	86
Σχήμα 6.22: Επιλογή format για την εξαγωγή των συντεταγμένων (Πηγή: Inertial Explorer).....	86
Σχήμα 6.23: Επιλογήlever arms (Πηγή: Inertial Explorer).....	87
Σχήμα 6.24: Λογισμικό (Πηγή:ucenter).....	88
Σχήμα 6.25: Τροχια αυτοκινητου στη βάση κτηματολογίου(GNSS:C94) (Πηγή: ktimatologio.gr).....	89

Σχήμα 6.26: Τροχιά πεζού στη βάση κτηματολογίου(SPATIAL) (Πηγή: ktimatologio.gr).....	89
Σχήμα 6.27: Τροχιά πεζού στη βάση κτηματολογίου(SPATIAL) (Πηγή: ktimatologio.gr).....	90
Σχήμα 7.1:Τροχια αυτοκινήτου(Αλγόριθμος Continuous).....	91
Σχήμα 7.2:Τροχια αυτοκινήτου(Αλγόριθμος Instantinuous).....	92
Σχήμα 7.3:Τροχια αυτοκινήτου(Αλγόριθμος Single).....	93
Σχήμα 7.4:Τροχια αυτοκινήτου(Αλγόριθμος fixand hold combined).....	94
Σχήμα 7.5: Άξονας Χ(ώρα), Άξονας Υ(αριθμός δορυφόρων και γεωμετρία).....	95
Σχήμα 7.6: Δείκτης SNR κατά την διάρκεια της τροχιάς.....	95
Σχήμα 7.7: Συσχέτιση δορυφόρων και λύση (ratioFactor) συναρτήσει ώρας.....	96
Σχήμα 7.8: Διάγραμμα ταχύτητας συναρτήσει ώρας.....	97
Σχήμα 7.9: Διάγραμμα επιτάχυνσης συναρτήσει ώρας.....	97
Σχήμα 7.10:Τροχια αυτοκινήτου(Αλγόριθμος fix and hold combined).....	98
Σχήμα 7.11: Άξονας Χ(ώρα), Άξονας Υ(αριθμός δορυφόρων και γεωμετρία).....	99
Σχήμα 7.12: Συσχέτιση δορυφόρων και λύση (ratioFactor) συναρτήσει ώρας.....	100
Σχήμα 7.13: Δείκτης SNR κατά την διάρκεια της τροχιάς.....	100
Σχήμα 7.14:Τροχιααυτοκινήτου(Αλγόριθμοςfix and hold combined).....	101
Σχήμα 7.15: Διάγραμμα ταχύτητας συναρτήσει ώρας.....	102
Σχήμα 7.16: Διάγραμμα επιτάχυνσης συναρτήσει ώρας.....	102
Σχήμα 7.17: Συσχέτιση δορυφόρων και λύση (ratioFactor) συναρτήσει ώρας.....	103
Σχήμα 7.18: Δείκτης SNR κατά την διάρκεια της τροχιάς.....	103
Σχήμα 7.19:Τροχιά οχήματος του δέκτη χαμηλού κόστους u-blox C94 (μπλε) και τροχιά αναφοράς (κόκκινο).....	104
Σχήμα 7.20:Εγκάρσια ορθότητα τροχιάς(Off-track) και κατα μήκος ορθότητα τροχιάς (Along-track).....	105
Σχήμα 7.21:Αθροιστική συνάρτηση κατανομής ορθότητας εγκάρσια της διεύθυνσης κίνησης της τροχιάς.....	106
Σχήμα 7.22:Αθροιστική συνάρτηση κατανομής ορθότητας κατά μήκος της διεύθυνσης κίνησης της τροχιάς.....	106
Σχήμα 7.23: : Η 2D απόκλιση μεταξύ τροχιάς αναφοράς και τροχιάς ελέγχου (ευκλείδια απόσταση).....	107
Σχήμα 7.24:Τροχιά οχήματος του δέκτη χαμηλού κόστους u-blox C94 (μπλε) και τροχιά αναφοράς (κόκκινο).....	108
Σχήμα 7.25:Εγκάρσια ορθότητα τροχιάς(Off-track) και κατα μήκος ορθότητα τροχιάς (Along-track).....	109
Σχήμα 7.26:Αθροιστική συνάρτηση κατανομής ορθότητας εγκάρσια της διεύθυνσης κίνησης της τροχιάς.....	110
Σχήμα 7.27:Αθροιστική συνάρτηση κατανομής ορθότητας κατά μήκος της διεύθυνσης κίνησης της τροχιάς.....	110
Σχήμα 7.28: : Η 2D απόκλιση μεταξύ τροχιάς αναφοράς και τροχιάς ελέγχου (ευκλείδια απόσταση).....	111
Σχήμα 7.29:Τροχιά οχήματος του δέκτη χαμηλού κόστους u-blox M8T (μπλε) και τροχιά αναφοράς (κόκκινο).....	112
Σχήμα 7.30:Εγκάρσια ορθότητα τροχιάς(Off-track) και κατα μήκος ορθότητα τροχιάς (Along-track).....	113
Σχήμα 7.31:Αθροιστική συνάρτηση κατανομής ορθότητας εγκάρσια της διεύθυνσης κίνησης της τροχιάς.....	114
Σχήμα 7.32:Αθροιστική συνάρτηση κατανομής ορθότητας κατά μήκος της διεύθυνσης κίνησης της τροχιάς.....	114
Σχήμα 7.33: : Η 2D απόκλιση μεταξύ τροχιάς αναφοράς και τροχιάς ελέγχου (ευκλείδια απόσταση).....	115

Σχήμα 7.34:Τροχιά οχήματος του δέκτη χαμηλού κόστους u-blox M8T (μπλε) και τροχιά αναφοράς (κόκκινο).....	116
Σχήμα 7.35:Εγκάρσια ορθότητα τροχιάς(Off-track) και κατα μήκος ορθότητα τροχιάς (Along-track).....	117
Σχήμα 7.36:Αθροιστική συνάρτηση κατανομής ορθότητας εγκάρσια της διεύθυνσης κίνησης της τροχιάς.....	118
Σχήμα 7.37:Αθροιστική συνάρτηση κατανομής ορθότητας κατά μήκος της διεύθυνσης κίνησης της τροχιάς.....	118
Σχήμα 7.38: : Η 2D απόκλιση μεταξύ τροχιάς αναφοράς και τροχιάς ελέγχου (ευκλείδια απόσταση).....	119
Σχήμα 7.39:Τροχιά οχήματος του δέκτη χαμηλού κόστους u-blox M8T (μπλε) και τροχιά αναφοράς (κόκκινο).....	120
Σχήμα 7.40:Εγκάρσια ορθότητα τροχιάς(Off-track) και κατα μήκος ορθότητα τροχιάς (Along-track).....	121
Σχήμα 7.41:Αθροιστική συνάρτηση κατανομής ορθότητας εγκάρσια της διεύθυνσης κίνησης της τροχιάς.....	122
Σχήμα 7.42:Αθροιστική συνάρτηση κατανομής ορθότητας κατά μήκος της διεύθυνσης κίνησης της τροχιάς.....	122
Σχήμα 7.43:Η 2D απόκλιση μεταξύ τροχιάς αναφοράς και τροχιάς ελέγχου (ευκλείδια απόσταση).....	123
Σχήμα 7.44:Τροχιά οχήματος του δέκτη χαμηλού κόστους u-blox M8T (μπλε) και τροχιά αναφοράς (κόκκινο).....	124
Σχήμα 7.45:Εγκάρσια ορθότητα τροχιάς(Off-track) και κατα μήκος ορθότητα τροχιάς (Along-track).....	125
Σχήμα 7.46:Αθροιστική συνάρτηση κατανομής ορθότητας εγκάρσια της διεύθυνσης κίνησης της τροχιάς.....	126
Σχήμα 7.47:Αθροιστική συνάρτηση κατανομής ορθότητας κατά μήκος της διεύθυνσης κίνησης της τροχιάς.....	126
Σχήμα 7.48: : Η 2D απόκλιση μεταξύ τροχιάς αναφοράς και τροχιάς ελέγχου (ευκλείδια απόσταση).....	127
Σχήμα 7.49:Τροχιά πεζού M8T με fix post process μέσω RTKLIB (Πηγή:ktimatologio.gr)....	128
Σχήμα 7.50:Τροχιά πεζού M8T με single solution(Πηγή:ktimatologio.gr).....	129
Σχήμα 7.51:Τροχιαπεζού(Αλγόριθμοςfix and hold combined).....	130
Σχήμα 7.52: Άξονας Χ(ωρα), Άξονας Υ(αριθμός δορυφόρων και γεωμετρία).....	130
Σχήμα 7.53: Δείκτης SNR κατά την διάρκεια της τροχιάς.....	131
Σχήμα 7.54:Τροχια πεζού(Αλγόριθμος moving_Base)	131
Σχήμα 7.55:Τροχια πεζού(Αλγόριθμος moving_Base)	132
Σχήμα 7.56:Τροχιά πεζού του δέκτη χαμηλού κόστους u-blox M8T (μπλε) και τροχιά αναφοράς (κόκκινο).....	133
Σχήμα 7.57:Εγκάρσια ορθότητα τροχιάς(Off-track) και κατα μήκος ορθότητα τροχιάς (Along-track).....	133
Σχήμα 7.58:Αθροιστική συνάρτηση κατανομής ορθότητας κατα μήκος της διεύθυνσης κίνησης της τροχιάς.....	134
Σχήμα 7.59:Αθροιστική συνάρτηση κατανομής ορθότητας εγκάρσια της διεύθυνσης κίνησης της τροχιάς.....	134
Σχήμα 7.60 : Η 2D απόκλιση μεταξύ τροχιάς αναφοράς και τροχιάς ελέγχου (ευκλείδια απόσταση).....	135
Σχήμα 7.61:Τροχιά πεζού του δέκτη χαμηλού κόστους u-blox M8T (μπλε) και τροχιά αναφοράς (κόκκινο).....	136
Σχήμα 7.62:Εγκάρσια ορθότητα τροχιάς(Off-track) και κατα μήκος ορθότητα τροχιάς (Along-track).....	136

Σχήμα 7.63:Αθροιστική συνάρτηση κατανομής ορθότητας κατα μήκος της διεύθυνσης κίνησης της τροχιάς.....	137
Σχήμα 7.64:Αθροιστική συνάρτηση κατανομής ορθότητας εγκάρσια της διεύθυνσης κίνησης της τροχιάς.....	137
Σχήμα 7.65 : Η 2D απόκλιση μεταξύ τροχιάς αναφοράς και τροχιάς ελέγχου (ευκλείδεια απόσταση).....	138
Σχήμα 7.66:Τροχιά πεζού του δέκτη χαμηλού κόστους u-blox M8T (μπλε) και τροχιά αναφοράς (κόκκινο).....	139
Σχήμα 7.67:Εγκάρσια ορθότητα τροχιάς(Off-track) και κατα μήκος ορθότητα τροχιάς (Along-track).....	140
Σχήμα 7.68:Αθροιστική συνάρτηση κατανομής ορθότητας κατα μήκος της διεύθυνσης κίνησης της τροχιάς.....	141
Σχήμα 7.69:Αθροιστική συνάρτηση κατανομής ορθότητας εγκάρσια της διεύθυνσης κίνησης της τροχιάς.....	141
Σχήμα 7.70 : Η 2D απόκλιση μεταξύ τροχιάς αναφοράς και τροχιάς ελέγχου (ευκλείδεια απόσταση).....	142
Σχήμα 7.71: Διαδρομή πεζού στον κόκκινο διάδρομο(Πηγή:GoogleEarth).....	143
Σχήμα 7.72: Διαδρομή πεζού στον κόκκινο διάδρομο(Πηγή:GoogleEarth).....	143

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.1:Πίνακας δορυφορικών δεκτών και εφαρμογές ανα κατηγορία (Πηγή: Schwieger, 2010).....	10
Πίνακας 1.2:Αδρανειακά συστήματα,Είδος και πληροφορίες για κάθε είδος(Πηγή:tut.fi).....	12
Πίνακας 4.1Ακρίβεις συχνότητων.....	46
Πίνακας 4.2:Δέκτηςu-blox M8T(Πηγή: ublox).....	49
Πίνακας 4.3:Δέκτηςu-blox C94-M8P (Πηγή: ublox).....	49
Πίνακας 4.4:Δέκτηςu-blox C94-M8P (Πηγή: ublox).....	50
Πίνακας 4.5:Παράμετροι των κεραιών ANN-MS(Πηγή:ublox).....	51
Πίνακας 4.6 :Ακρίβειεςτου SPATIAL(Πηγή:Advanced Navigation).....	54
Πίνακας 4.7:Χαρακτηριστικά αισθητήρων(Πηγή:Advanced Navigation).....	54
Πίνακας 4.8:Χαρακτηριστικά u-bloxM8P για το SPATIAL(Πηγή:Advanced Navigation).....	55
Πίνακας 4.9:Εφαρμογές RTKLIB(Πηγή:RTKLIB manual).....	58
Πίνακας 5.1:Έντυπο πειράματος.....	65
Πίνακας 5.2:Έντυπο πειράματος.....	66
Πίνακας 5.3:Έντυπο πειράματος.....	67
Πίνακας 8.1:Τελικά αποτελέσματα.....	145
Πίνακας 8.2:Μέση τιμή για κάθε διαδικασία.....	145
Πίνακας 8.3:Τυπική απόκλιση για κάθε διαδικασία.....	146