



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

**ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΝΙΚΗΣ ΓΕΩΔΑΙΣΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΕΡΑΙΩΝ GNSS

ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΖΑΒΕΡΔΑΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ: Μ. ΤΣΑΚΙΡΗ

ΑΘΗΝΑ, 2018

Περίληψη

Η χρήση των δεκτών GNSS ως σύστημα εντοπισμού είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη σε εργασίες του μηχανικού, όπως είναι ο ακριβής εντοπισμός της θέσης ενός σημείου, αλλά και σε πιο καθημερινές δραστηριότητες, όπως τα συστήματα πλοήγησης σε αυτοκίνητα. Κατά συνέπεια υπάρχει ένα μεγάλο εύρος δεκτών με διαφορετικά χαρακτηριστικά και διαφορετικές δυνατότητες που είναι κατάλληλοι για διαφορετικές εργασίες. Έτσι δημιουργείται η ανάγκη να πραγματοποιείται έλεγχος κυρίως σε χαμηλού κόστους δέκτες ώστε να υπάρχει γνώση των δυνατοτήτων αυτών.

Ένας δέκτης GNSS αποτελείται από δύο μέρη, τον κυρίως δέκτη και την κεραία η οποία λαμβάνει το σήμα από τους δορυφόρους. Αυτή μπορεί να είναι είτε εσωτερική (μέσα στον δέκτη) είτε εξωτερική και επίσης να είναι γεωδαιτικού τύπου ή τύπου πλοήγησης. Για αυτή τη διαδικασία είναι σημαντικό να προσδιοριστούν τα κύρια χαρακτηριστικά της κεραίας ενός δέκτη GNSS. Αυτά είναι το κέντρο φάσης της κεραίας, η απόκλιση του κέντρου φάσης, μεταβολή του κέντρου φάσης, το σφάλμα πολυανάκλασης και ο θόρυβος. Είναι σημαντικό να βρεθεί το πραγματικό κέντρο φάσης της κεραίας γιατί αυτό είναι το σημείο που μετράται και είναι διαφορετικό από το σημείο αναφοράς του δέκτη.

Ο σκοπός της διπλωματικής ήταν να πραγματοποιηθεί έλεγχος κεραιών σύμφωνα με την τεχνική της σχετικής βαθμονόμησης. Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις με χρήση πέντε διαφορετικών τύπων δεκτών, γεωδαιτικού τύπου και τύπου πλοήγησης οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε τοπογραφικές εφαρμογές. Συγκεκριμένα οι δύο δέκτες πλοήγησης είναι Ublox μίας συχνότητας και οι τύποι τους είναι ublox 6 LEA-6T με δική του κεραία και ublox 7 NEO-7P με κεραία Tallysman TW2410. Οι γεωδαιτικοί δέκτες που επιλέχθηκαν ήταν δύο Trimble 5800, ο ένας ήταν ο δέκτης αναφοράς και ο άλλος για τη σύγκριση, ένας δέκτης Leica 1200 και ένας Javad Triumph.

Για αυτόν τον έλεγχο πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις στην οροφή του κτηρίου Λαμπαδαρίου. Η συλλογή δεδομένων έγινε ταυτόχρονα για τους πέντε δέκτες με δέκτη αναφοράς τον Trimble 5800. Ο συγκεκριμένος τύπος δέκτη διαθέτει δημοσιευμένες παραμέτρους βαθμονόμησης ως προς την κεραία Choke Ring Dorne Margolin η οποία θεωρείται πρότυπο. Για την επεξεργασία των δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν δύο ελεύθερα λογισμικά το RTKLIB και το ANTTTOOL.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το σφάλμα λόγω κέντρου φάσης της κεραίας για τους γεωδαιτικού τύπου δεκτών είναι μικρότερο από το αντίστοιχο για τις Ublox κεραίες όπως ήταν αναμενόμενο, με την τιμή του σφάλματος να κυμαίνεται από 0.2 cm (για τις γεωδαιτικές) έως 15cm (για τις κεραίες πλοήγησης).

Abstract

The use of GNSS receivers for precise location is particularly widespread in engineering applications as well as in day-to-day activities, such as in car navigation systems. As a result there is a wide range of receivers with various features and capabilities that are suitable for different tasks. This creates the need to test mainly the low-cost receivers so the user is aware of their capabilities.

A GNSS receiver consists of two parts, the main receiver and the antenna that is receiving the signals from the satellites. The antenna can be either internal or external to the receiver and can be of geodetic or navigation type. The main features of a GNSS antenna are the phase center of the antenna, phase center deviation, phase center change, polynomial error and noise. Therefore, it is important to find the real phase center of the antenna this is the point measured and is different from the receiver reference point.

The purpose of this diploma thesis was to conduct antenna testing according to the relative calibration technique. Measurements were made using five different types of receiver, of geodetic type and navigation type that can also be used in surveying applications. Specifically, the two navigation receivers are Ublox, they make use of one frequency and their types are ublox 6 LEA-6T with its own antenna and ublox 7 NEO-7P with Tallysman TW2410 antenna. The geodetic receivers were two Trimble 5800 (one was used as the reference receiver), a Leica 1200 receiver and a Javad Triumph. The experiments were performed at the roof top of the Lambadarion building in NTUA.

Data collection was performed simultaneously for all five receivers with a Trimble 5800 being the reference receiver. This receiver type has published calibration parameters against the standard Choke Ring Dorne Margolin antenna. Two free software RTKLIB and ANTTTOOL were used to process the data. The results showed that the antenna phase error for the geodetic receiver is smaller than the Ublox antenna as expected, with the error value ranging from 0.2 cm (for the geodetic antennas) to 15 cm (for the navigation antennas).

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1 – Εισαγωγή	1
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.2 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ.....	2
1.3 ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ	2
Κεφάλαιο 2 – Έλεγχος Κεραίας GNSS.....	4
2.1 Εισαγωγή	4
2.2 Ο ΔΕΚΤΗΣ GNSS.....	4
2.2.1 Η ΚΕΡΑΙΑ ΤΟΥ ΔΕΚΤΗ.....	4
2.2.2 ΤΥΠΟΙ ΚΕΡΑΙΩΝ.....	4
2.3 ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΙΑΣ ΚΕΡΑΙΑΣ	6
2.4 ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ	8
2.4.1 ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΚΕΡΑΙΑΣ ΔΕΚΤΩΝ GNSS	8
2.4.2 ΤΥΠΟΙ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ	12
2.4.3 ΔΙΕΘΝΗ ΚΕΝΤΡΑ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ.....	14
2.5 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ.....	14
Κεφάλαιο 3 - Λογισμικά.....	16
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	16
3.2 ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ RTKLIB	16
3.3 ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ANTTTOOL	20
3.4 Συνάρτηση στη MATLAB.....	23
Κεφάλαιο 4 – Συλλογή Δεδομένων	24
4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	24
4.2 ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....	24
4.3 ΔΕΚΤΕΣ ΚΑΙ ΚΕΡΑΙΕΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ	24
4.3.1 TRIMBLE 5800	24
4.3.2 LEICA 1200+.....	25
4.3.3 JAVAD TRIUMPH	26
4.3.4 ΔΕΚΤΕΣ UBLOX.....	26
4.4 ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	28
4.4.1 ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΩΝ ΟΡΓΑΝΩΝ	28
4.4.2 ΟΙ ΔΕΚΤΕΣ	29
4.4.3 ΟΙ ΙΔΙΑΙΤΕΡΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ UBLOX.....	29
4.4.4 ΟΙ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	30

Κεφάλαιο 5 - Ανάλυση αποτελεσμάτων	32
5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	32
5.2 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΠΟ ΤΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ	32
5.2.1 ΧΡΗΣΗ RTKLIB	32
5.2.2 ΧΡΗΣΗ ANTTTOOL	33
5.3 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ	34
5.3.1 ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΠΟΛΥΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΤΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ	34
5.3.2 ΣΦΑΛΜΑ ΠΟΛΥΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΤΟΥ ΚΩΔΙΚΑ	43
5.3.3 ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΠΟΛΥΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΛΟΓΩ ΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ	52
5.3.4 ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΚΕΝΤΡΟΥ ΦΑΣΗΣ ΚΕΡΑΙΑΣ	59
Κεφάλαιο 6 – Συμπεράσματα-Προτάσεις	73
6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	73
6.2 Συλλογή Μετρήσεων	73
6.3 Επεξεργασία των Μετρήσεων	74
6.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	75
6.5 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	76
Βιβλιογραφία	77

Κατάλογος Εικόνων

Κεφάλαιο2

ΕΙΚΟΝΑ 2. 1 MULTIPATH ΑΠΟ ΑΝΑΚΛΑΣΗ ΣΕ ΝΕΡΟ (HTTP://WHAT-WHEN-HOW.COM/GPS/GPS-ERRORS-AND-BIASES-PART-1/).....	7
ΕΙΚΟΝΑ 2. 2 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΚΕΡΑΙΑΣ ΔΕΚΤΗ GNSS (HTTP://WWW.TRIMBLE.COM/OEM_RECEIVERHELP/V4.44/EN/ANTENNAPHASECENTERS.HT ML)	7
ΕΙΚΟΝΑ 2. 3 ΜΟΝΤΕΛΟ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΗΣ ΚΕΡΑΙΑΣ (HTTPS://WWW.SCIENCEDIRECT.COM/SCIENCE/ARTICLE/PII/S100093611630111X)	9
ΕΙΚΟΝΑ 2. 4Α ΚΕΝΤΡΟ ΦΑΣΗΣ DORNE MARGOLIN ΓΙΑ ΤΗΝ L1.....	10
ΕΙΚΟΝΑ 2. 5Α ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΗ ΚΕΡΑΙΑ ΔΑΚΤΥΛΙΟΥ CHOKE RING ΜΕ ΤΥΠΟ DORNE MARGOLIN	12
ΕΙΚΟΝΑ 2. 6 (Α)ΤΥΠΙΚΟ ΡΟΜΠΟΤ ΑΠΟΛΥΤΗΣ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ (Β) ΝΕΑ ΜΕΘΟΔΟΣ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ	13
ΕΙΚΟΝΑ 2. 7 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ DAWIDOWICZ (2010).....	15

Κεφάλαιο3

ΕΙΚΟΝΑ 3. 1 ΠΑΡΑΘΥΡΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ RTKNAVI.....	17
ΕΙΚΟΝΑ 3. 2 ΠΑΡΑΘΥΡΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ RTKPOST.....	17
ΕΙΚΟΝΑ 3. 3 ΠΑΡΑΘΥΡΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ RTKCONV	18
ΕΙΚΟΝΑ 3. 4 ΠΑΡΑΘΥΡΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ RTKPLOT ΚΕΝΟ.....	19
ΕΙΚΟΝΑ 3. 5 Α ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΟΣ RTKPLOT Β ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ RTKNAVI ΓΙΑ ΤΟ RTKPLOT	19
ΕΙΚΟΝΑ 3. 6 STRSVR.....	19
ΕΙΚΟΝΑ 3. 7 ΠΑΡΑΘΥΡΟ ΕΠΙΛΟΓΩΝ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ANTEST	21
ΕΙΚΟΝΑ 3. 8 ΠΑΡΑΘΥΡΟ ΕΠΙΛΟΓΩΝ ΣΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ANTPLOT	22
ΕΙΚΟΝΑ 3. 9 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΚΕΝΤΡΟΥ ΦΑΣΗΣ ΤΗΣ ΚΕΡΑΙΑΣ (PCV) (-PCVE) (TAKASU, 2008).....	22
ΕΙΚΟΝΑ 3. 10 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΛΟΓΟΥ ΤΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΘΟΡΥΒΟ (C/NO) (-SNRE) (TAKASU, 2008).....	23

Κεφάλαιο 4

ΕΙΚΟΝΑ 4. 1 ΔΕΚΤΗΣ TRIMBLE 5800.....	25
ΕΙΚΟΝΑ 4. 2 ΔΕΚΤΗΣ LEICA 1200+	25
ΕΙΚΟΝΑ 4. 3 ΘΗΚΗ ΚΑΙ ΧΕΙΡΙΣΤΗΡΙΟ LEICA.....	25
ΕΙΚΟΝΑ 4. 4 ΔΕΚΤΗΣ JAVAD.....	26
ΕΙΚΟΝΑ 4. 5 ΔΕΚΤΗΣ UBLOX LEA-6T	27
ΕΙΚΟΝΑ 4. 6 ΔΕΚΤΗΣ UBLOX NEO-7P ΜΕ ΚΕΡΑΙΑ TALLYSMAN	27
ΕΙΚΟΝΑ 4. 7 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΕΡΑΙΑΣ TALLYSMAN	27
ΕΙΚΟΝΑ 4. 8 ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΩΝ ΟΡΓΑΝΩΝ	28
ΕΙΚΟΝΑ 4. 9 ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΕΣ ΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟΙ ΜΕ ΤΟΥΣ ΔΕΚΤΕΣ UBLOX	29
ΕΙΚΟΝΑ 4. 10Α ΚΕΡΑΙΑ TALLYSMAN (ΔΕΚΤΗΣ UBLOX 7).....	30
ΕΙΚΟΝΑ 4. 11 ΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	31
ΕΙΚΟΝΑ 4. 12 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	31

Κεφάλαιο 5

ΕΙΚΟΝΑ 5. 1 ΣΧΕΣΗ ΤΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ ΠΟΛΥΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΤΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΟΝ ΧΡΟΝΟ ΓΙΑ ΤΟΝ ΔΕΚΤΗ TRIMBLE.....	34
ΕΙΚΟΝΑ 5. 2 ΣΧΕΣΗ ΤΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ ΠΟΛΥΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΤΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΟΝ ΧΡΟΝΟ ΓΙΑ ΤΟΝ ΔΕΚΤΗ LEICA.....	35
ΕΙΚΟΝΑ 5. 3 ΣΧΕΣΗ ΤΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ ΠΟΛΥΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΤΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΟΝ ΧΡΟΝΟ ΓΙΑ ΤΟΝ ΔΕΚΤΗ JAVAD	35
ΕΙΚΟΝΑ 5. 4 ΣΧΕΣΗ ΤΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ ΠΟΛΥΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΤΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΟΝ ΧΡΟΝΟ ΓΙΑ ΤΟΝ ΔΕΚΤΗ UBLOX 6.....	36
ΕΙΚΟΝΑ 5. 5 ΣΧΕΣΗ ΤΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ ΠΟΛΥΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΤΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΟΝ ΧΡΟΝΟ ΓΙΑ ΤΟΝ ΔΕΚΤΗ UBLOX 7.....	36
ΕΙΚΟΝΑ 5. 6 ΣΦΑΛΜΑ ΠΟΛΥΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΤΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗ ΓΩΝΙΑ ΠΟΥ ΔΕΧΕΤΑΙ ΤΟ ΣΗΜΑ Ο ΔΕΚΤΗΣ TRIMBLE.....	38
ΕΙΚΟΝΑ 5. 7 ΣΦΑΛΜΑ ΠΟΛΥΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΤΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗ ΓΩΝΙΑ ΠΟΥ ΔΕΧΕΤΑΙ ΤΟ ΣΗΜΑ Ο ΔΕΚΤΗΣ LEICA	38
ΕΙΚΟΝΑ 5. 8 ΣΦΑΛΜΑ ΠΟΛΥΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΤΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗ ΓΩΝΙΑ ΠΟΥ ΔΕΧΕΤΑΙ ΤΟ ΣΗΜΑ Ο ΔΕΚΤΗΣ JAVAD.....	39
ΕΙΚΟΝΑ 5. 9 ΣΦΑΛΜΑ ΠΟΛΥΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΤΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗ ΓΩΝΙΑ ΠΟΥ ΔΕΧΕΤΑΙ ΤΟ ΣΗΜΑ Ο ΔΕΚΤΗΣ UBLOX 6	39
ΕΙΚΟΝΑ 5. 10 ΣΦΑΛΜΑ ΠΟΛΥΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΤΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗ ΓΩΝΙΑ ΠΟΥ ΔΕΧΕΤΑΙ ΤΟ ΣΗΜΑ Ο ΔΕΚΤΗΣ UBLOX 7	40
ΕΙΚΟΝΑ 5. 11 ΣΦΑΛΜΑ ΠΟΛΥΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΣΗΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΔΕΚΤΗ TRIMBLE.....	41
ΕΙΚΟΝΑ 5. 12 ΣΦΑΛΜΑ ΠΟΛΥΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΣΗΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΔΕΚΤΗ LEICA.....	41
ΕΙΚΟΝΑ 5. 13 ΣΦΑΛΜΑ ΠΟΛΥΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΣΗΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΔΕΚΤΗ JAVAD.....	42
ΕΙΚΟΝΑ 5. 14 ΣΦΑΛΜΑ ΠΟΛΥΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΣΗΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΔΕΚΤΗ UBLOX 6.....	42
ΕΙΚΟΝΑ 5. 15 ΣΦΑΛΜΑ ΠΟΛΥΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΣΗΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΔΕΚΤΗ UBLOX7	43
ΕΙΚΟΝΑ 5. 16 ΣΧΕΣΗ ΤΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ ΠΟΛΥΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΤΟΥ ΚΩΔΙΚΑ ΜΕ ΤΟΝ ΧΡΟΝΟ ΓΙΑ ΤΟΝ ΔΕΚΤΗ TRIMBLE.....	44
ΕΙΚΟΝΑ 5. 17 ΣΧΕΣΗ ΤΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ ΠΟΛΥΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΤΟΥ ΚΩΔΙΚΑ ΜΕ ΤΟΝ ΧΡΟΝΟ ΓΙΑ ΤΟΝ ΔΕΚΤΗ LEICA.....	44
ΕΙΚΟΝΑ 5. 18 ΣΧΕΣΗ ΤΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ ΠΟΛΥΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΤΟΥ ΚΩΔΙΚΑ ΜΕ ΤΟΝ ΧΡΟΝΟ ΓΙΑ ΤΟΝ ΔΕΚΤΗ JAVAD	45
ΕΙΚΟΝΑ 5. 19 ΣΧΕΣΗ ΤΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ ΠΟΛΥΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΤΟΥ ΚΩΔΙΚΑ ΜΕ ΤΟΝ ΧΡΟΝΟ ΓΙΑ ΤΟΝ ΔΕΚΤΗ UBLOX 6.....	45
ΕΙΚΟΝΑ 5. 20 ΣΧΕΣΗ ΤΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ ΠΟΛΥΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΤΟΥ ΚΩΔΙΚΑ ΜΕ ΤΟΝ ΧΡΟΝΟ ΓΙΑ ΤΟΝ ΔΕΚΤΗ UBLOX 7.....	46
ΕΙΚΟΝΑ 5. 21 ΣΦΑΛΜΑ ΠΟΛΥΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΚΩΔΙΚΑ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗ ΓΩΝΙΑ ΠΟΥ ΔΕΧΕΤΑΙ ΤΟ ΣΗΜΑ Ο ΔΕΚΤΗΣ TRIMBLE.....	47
ΕΙΚΟΝΑ 5. 22 ΣΦΑΛΜΑ ΠΟΛΥΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΚΩΔΙΚΑ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗ ΓΩΝΙΑ ΠΟΥ ΔΕΧΕΤΑΙ ΤΟ ΣΗΜΑ Ο ΔΕΚΤΗΣ LEICA	47
ΕΙΚΟΝΑ 5. 23 ΣΦΑΛΜΑ ΠΟΛΥΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΚΩΔΙΚΑ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗ ΓΩΝΙΑ ΠΟΥ ΔΕΧΕΤΑΙ ΤΟ ΣΗΜΑ Ο ΔΕΚΤΗΣ JAVAD	48
ΕΙΚΟΝΑ 5. 24 ΣΦΑΛΜΑ ΠΟΛΥΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΚΩΔΙΚΑ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗ ΓΩΝΙΑ ΠΟΥ ΔΕΧΕΤΑΙ ΤΟ ΣΗΜΑ Ο ΔΕΚΤΗΣ UBLOX 6	48
ΕΙΚΟΝΑ 5. 25 ΣΦΑΛΜΑ ΠΟΛΥΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΚΩΔΙΚΑ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗ ΓΩΝΙΑ ΠΟΥ ΔΕΧΕΤΑΙ ΤΟ ΣΗΜΑ Ο ΔΕΚΤΗΣ UBLOX 7	49
ΕΙΚΟΝΑ 5. 26 ΣΦΑΛΜΑ ΠΟΛΥΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΚΩΔΙΚΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΔΕΚΤΗ TRIMBLE.....	50
ΕΙΚΟΝΑ 5. 27 ΣΦΑΛΜΑ ΠΟΛΥΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΚΩΔΙΚΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΔΕΚΤΗ LEICA	50
ΕΙΚΟΝΑ 5. 28 ΣΦΑΛΜΑ ΠΟΛΥΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΚΩΔΙΚΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΔΕΚΤΗ JAVAD	51
ΕΙΚΟΝΑ 5. 29 ΣΦΑΛΜΑ ΠΟΛΥΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΚΩΔΙΚΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΔΕΚΤΗ UBLOX 6.....	51

ΕΙΚΟΝΑ 5. 30 ΣΦΑΛΜΑ ΠΟΛΥΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΚΩΔΙΚΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΔΕΚΤΗ UBLOX 7.....	52
ΕΙΚΟΝΑ 5. 31 ΠΟΛΥΑΝΑΚΛΑΣΗ ΣΗΜΑΤΟΣ.....	53
ΕΙΚΟΝΑ 5. 32 ΠΟΛΥΑΝΑΚΛΑΣΗ ΚΩΔΙΚΑ.....	53
ΕΙΚΟΝΑ 5. 33 ΣΗΜΑΤΟΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΓΩΝΙΑ	53
ΕΙΚΟΝΑ 5. 34 ΚΩΔΙΚΑ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΓΩΝΙΑ.....	53
ΕΙΚΟΝΑ 5. 35 SKYPLOT ΣΗΜΑΤΟΣ	53
ΕΙΚΟΝΑ 5. 36 SKYPLOT ΚΩΔΙΚΑ	53
ΕΙΚΟΝΑ 5. 37 ΠΟΛΥΑΝΑΚΛΑΣΗ ΣΗΜΑΤΟΣ.....	54
ΕΙΚΟΝΑ 5. 38 ΠΟΛΥΑΝΑΚΛΑΣΗ ΚΩΔΙΚΑ.....	54
ΕΙΚΟΝΑ 5. 39 ΣΗΜΑΤΟΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΓΩΝΙΑ	54
ΕΙΚΟΝΑ 5. 40 ΚΩΔΙΚΑ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΓΩΝΙΑ.....	54
ΕΙΚΟΝΑ 5. 41 SKYPLOT ΣΗΜΑΤΟΣ	54
ΕΙΚΟΝΑ 5. 42 SKYPLOT ΚΩΔΙΚΑ	54
ΕΙΚΟΝΑ 5. 43 ΠΟΛΥΑΝΑΚΛΑΣΗ ΣΗΜΑΤΟΣ.....	55
ΕΙΚΟΝΑ 5. 44 ΠΟΛΥΑΝΑΚΛΑΣΗ ΚΩΔΙΚΑ.....	55
ΕΙΚΟΝΑ 5. 45 ΣΗΜΑΤΟΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΓΩΝΙΑ	55
ΕΙΚΟΝΑ 5. 46 ΚΩΔΙΚΑ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΓΩΝΙΑ.....	55
ΕΙΚΟΝΑ 5. 47 SKYPLOT ΣΗΜΑΤΟΣ	55
ΕΙΚΟΝΑ 5. 48 SKYPLOT ΚΩΔΙΚΑ	55
ΕΙΚΟΝΑ 5. 49 ΠΟΛΥΑΝΑΚΛΑΣΗ ΣΗΜΑΤΟΣ.....	56
ΕΙΚΟΝΑ 5. 50 ΠΟΛΥΑΝΑΚΛΑΣΗ ΚΩΔΙΚΑ.....	56
ΕΙΚΟΝΑ 5. 51 ΣΗΜΑΤΟΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΓΩΝΙΑ	56
ΕΙΚΟΝΑ 5. 52 ΚΩΔΙΚΑ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΓΩΝΙΑ.....	56
ΕΙΚΟΝΑ 5. 53 SKYPLOT ΣΗΜΑΤΟΣ	56
ΕΙΚΟΝΑ 5. 54 SKYPLOT ΚΩΔΙΚΑ	56
ΕΙΚΟΝΑ 5. 55 ΠΟΛΥΑΝΑΚΛΑΣΗ ΣΗΜΑΤΟΣ.....	57
ΕΙΚΟΝΑ 5. 56 ΠΟΛΥΑΝΑΚΛΑΣΗ ΚΩΔΙΚΑ.....	57
ΕΙΚΟΝΑ 5. 57 ΣΗΜΑΤΟΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΓΩΝΙΑ	57
ΕΙΚΟΝΑ 5. 58 ΚΩΔΙΚΑ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΓΩΝΙΑ.....	57
ΕΙΚΟΝΑ 5. 59 SKYPLOT ΣΗΜΑΤΟΣ	57
ΕΙΚΟΝΑ 5. 60 SKYPLOT ΚΩΔΙΚΑ	57
ΕΙΚΟΝΑ 5. 61 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΚΕΝΤΡΟΥ ΦΑΣΗΣ ΚΕΡΑΙΑΣ TRIMBLE	60
ΕΙΚΟΝΑ 5. 62 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΚΕΝΤΡΟΥ ΦΑΣΗΣ ΚΕΡΑΙΑΣ TRIMBLE ΜΕ ΕΣΚΕΜΕΝΟ ΣΦΑΛΜΑ.....	60
ΕΙΚΟΝΑ 5. 63 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΚΕΝΤΡΟΥ ΦΑΣΗΣ ΚΕΡΑΙΑΣ LEICA.....	61
ΕΙΚΟΝΑ 5. 64 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΚΕΝΤΡΟΥ ΦΑΣΗΣ ΚΕΡΑΙΑΣ LEICA ΜΕ ΕΣΚΕΜΕΝΟ ΣΦΑΛΜΑ.....	61
ΕΙΚΟΝΑ 5. 65 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΚΕΝΤΡΟΥ ΦΑΣΗΣ ΚΕΡΑΙΑΣ JAVAD.....	62
ΕΙΚΟΝΑ 5. 66 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΚΕΝΤΡΟΥ ΦΑΣΗΣ ΚΕΡΑΙΑΣ JAVAD ΜΕ ΕΣΚΕΜΕΝΟ ΣΦΑΛΜΑ.....	62
ΕΙΚΟΝΑ 5. 67 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΚΕΝΤΡΟΥ ΦΑΣΗΣ ΚΕΡΑΙΑΣ UBLOX 6.....	63
ΕΙΚΟΝΑ 5. 68 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΚΕΝΤΡΟΥ ΦΑΣΗΣ ΚΕΡΑΙΑΣ UBLOX 6 ΜΕ ΕΣΚΕΜΕΝΟ ΣΦΑΛΜΑ.....	63
ΕΙΚΟΝΑ 5. 69 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΚΕΝΤΡΟΥ ΦΑΣΗΣ ΚΕΡΑΙΑΣ UBLOX 7.....	64
ΕΙΚΟΝΑ 5. 70 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΚΕΝΤΡΟΥ ΦΑΣΗΣ ΚΕΡΑΙΑΣ UBLOX 7 ΜΕ ΕΣΚΕΜΕΝΟ ΣΦΑΛΜΑ.....	64
ΕΙΚΟΝΑ 5. 71 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ C/N ₀ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗ ΓΩΝΙΑ ΛΗΨΗΣ ΤΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ	66
ΕΙΚΟΝΑ 5. 72 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ C/N ₀ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗ ΓΩΝΙΑ ΛΗΨΗΣ ΤΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ ΜΕ ΕΣΚΕΜΕΝΟ ΣΦΑΛΜΑ ΠΟΛΥΑΝΑΚΛΑΣΗΣ.....	66
ΕΙΚΟΝΑ 5. 73 C/N ₀ ΣΕ SKYPLOT	67
ΕΙΚΟΝΑ 5. 74 C/N ₀ ΣΕ SKYPLOT ΜΕ ΕΣΚΕΜΕΝΟ ΣΦΑΛΜΑ ΠΟΛΥΑΝΑΚΛΑΣΗΣ.....	67
ΕΙΚΟΝΑ 5. 75 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ C/N ₀ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗ ΓΩΝΙΑ ΛΗΨΗΣ ΤΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ	68

ΕΙΚΟΝΑ 5. 76 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ C/N ₀ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗ ΓΩΝΙΑ ΛΗΨΗΣ ΤΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ ΜΕ ΕΣΚΕΜΕΝΟ ΣΦΑΛΜΑ.....	68
ΕΙΚΟΝΑ 5. 77 C/N ₀ ΣΕ SKYPLOT	69
ΕΙΚΟΝΑ 5. 78 C/N ₀ ΣΕ SKYPLOT ΜΕ ΕΣΚΕΜΕΝΟ ΣΦΑΛΜΑ ΠΟΛΥΑΝΑΚΛΑΣΗΣ.....	69
ΕΙΚΟΝΑ 5. 79 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ C/N ₀ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗ ΓΩΝΙΑ ΛΗΨΗΣ ΤΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ	70
ΕΙΚΟΝΑ 5. 80 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ C/N ₀ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗ ΓΩΝΙΑ ΛΗΨΗΣ ΤΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ ΜΕ ΕΣΚΕΜΕΝΟ ΣΦΑΛΜΑ ΠΟΛΥΑΝΑΚΛΑΣΗΣ.....	70
ΕΙΚΟΝΑ 5. 81 C/N ₀ ΣΕ SKYPLOT	71
ΕΙΚΟΝΑ 5. 82 C/N ₀ ΣΕ SKYPLOT ΜΕ ΕΣΚΕΜΕΝΟ ΣΦΑΛΜΑ ΠΟΛΥΑΝΑΚΛΑΣΗΣ.....	71

Κατάλογος Πινάκων

ΠΙΝΑΚΑΣ 2. 1 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΤΡΙΩΝ ΤΥΠΩΝ ΚΕΡΑΙΩΝ (MOERNAUT 2009).....	5
ΠΙΝΑΚΑΣ 4. 1 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....	31
ΠΙΝΑΚΑΣ 5. 1 RMS ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ ΠΟΛΥΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΤΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΤΥΠΟ ΔΕΚΤΗ	37
ΠΙΝΑΚΑΣ 5. 2 RMS ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ ΠΟΛΥΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΚΩΔΙΚΑ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΤΥΠΟ ΔΕΚΤΗ.....	46
ΠΙΝΑΚΑΣ 5. 3 RMS ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΠΟΛΥΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΣΗΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΤΥΠΟ ΔΕΚΤΗ.....	58
ΠΙΝΑΚΑΣ 5. 4 ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΜΕΣΟΥ ΟΡΟΥ ΤΟΥ UBLOX 6 ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟΥΣ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟΥΣ.....	58
ΠΙΝΑΚΑΣ 5. 5 ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΜΕΣΟΥ ΟΡΟΥ ΤΟΥ UBLOX 7 ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟΥΣ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟΥΣ.....	59
ΠΙΝΑΚΑΣ 5. 6 PCV ΤΟΥ ΚΑΘΕ ΔΕΚΤΗ ΜΕ ΚΑΙ ΧΩΡΙΣ ΕΣΚΕΜΕΝΟ ΣΦΑΛΜΑ	65

Κεφάλαιο 1 – Εισαγωγή

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε πολλές τοπογραφικές αλλά και άλλες εργασίες χρησιμοποιούνται συστήματα εντοπισμού κάνοντας μετρήσεις με δέκτες GNSS. Η χρήση αυτών είναι να κάνουν ακριβή εντοπισμό της θέσης όπου έχει τοποθετηθεί ο δέκτης από τον χρήστη. Για να το πραγματοποιήσει αυτό ο δέκτης δέχεται ηλεκτρομαγνητικά κύματα από δορυφόρους και τα επεξεργάζεται. Από την επεξεργασία του σήματος ο δέκτης υπολογίζει την απόστασή του από τον κάθε δορυφόρο που του έστειλε σήμα και από αυτές τις αποστάσεις στη συνέχεια κάνει επίλυση της θέσης του στο δορυφορικό σύστημα εντοπισμού. Με τη χρήση των δεκτών GNSS για τον προσδιορισμό της θέσης μπορεί να επιτευχθεί πολύ καλή ακρίβεια οπότε έχει καθιερωθεί η χρήση τους σε εργασίες που απαιτούν μεγάλη ακρίβεια.

Ο δέκτης GNSS χωρίζεται σε δύο βασικά μέρη την κεραία και τον κυρίως δέκτη. Η βασική λειτουργία της κεραίας είναι να μετατρέπει τα δορυφορικά ηλεκτρομαγνητικά κύματα σε ηλεκτρικά σήματα. Υπάρχουν διάφοροι τύποι κεραιών με τους βασικούς να είναι οι γεωδαιτικού τύπου και οι κεραιές για εφαρμογές πλοήγησης και γενικότερα για εφαρμογές χαμηλής ακρίβειας. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι εφαρμογές χαμηλής ακρίβειας αποτελούν την συντριπτική πλειοψηφία χρήσης των συστημάτων GNSS σε παγκόσμια κλίμακα με αυξητική τάση.

Δεδομένου ότι υπάρχουν διάφοροι τύποι κεραιών με πολλά χαρακτηριστικά, είναι απαραίτητο να υπάρχουν διαδικασίες προκειμένου να ελεγχθούν τόσο η ακρίβεια του κατασκευαστή αλλά και η σύγκριση με πρότυπα και διεθνώς αναγνωρισμένες κεραιές (όπως η Dorne and Margolin) με σκοπό τη βαθμονόμησή τους.

Η βαθμονόμηση της κεραίας είναι μία διαδικασία που έχει σκοπό να υπολογίσει τα χαρακτηριστικά της κεραίας ενός δέκτη GNSS είτε αυτόνομα είτε σε σύγκριση με κάποιο πρότυπο έτσι ώστε στη συνέχεια αυτά να χρησιμοποιηθούν για να βελτιωθεί η ακρίβεια του εντοπισμού. Για αυτό το λόγο τα τελευταία χρόνια η βαθμονόμηση των γεωδαιτικών κεραιών έχει τραβήξει την προσοχή πολλών μελετητών. Με δύο διαδικασίες επιτυγχάνεται αυτή, με την σχετική βαθμονόμηση στην οποία χρησιμοποιούνται δύο δέκτες και με την απόλυτη βαθμονόμηση η οποία γίνεται με τη βοήθεια ενός μηχανήματος. Η βαθμονόμηση χρησιμοποιείται και για έλεγχο του δέκτη καθώς τα στοιχεία της κεραίας που υπολογίζονται αλλάζουν σε κάθε μέτρηση οπότε καλό είναι να γίνεται αυτή η διαδικασία κάθε φορά που χρησιμοποιείται ο δέκτης.

Στην εργασία αυτή έγινε προσπάθεια ελέγχου και σύγκρισης κάποιων βασικών χαρακτηριστικών κεραιών GNSS τόσο γεωδαιτικού τύπου όσο και κεραιών χαμηλού κόστους για εφαρμογές πλοήγησης.

Οι κεραιές χαμηλού κόστους που συνοδεύουν δέκτες χαμηλού κόστους εμφανίζουν ευρύτατη χρήση σε πλήθος εφαρμογών. Είναι επομένως σημαντικό να ελεγχθεί αν τα αποτελέσματα

που δίνουν είναι ικανοποιητικά και πόσο μεγάλη διαφορά έχουν από τους γεωδαιτικούς δέκτες. Για να γίνει αυτό πρέπει να γίνει έλεγχος των στοιχείων της κεραίας τέτοιου είδους δεκτών. Κάνοντας αυτούς τους ελέγχους θα μπορεί ο χρήστης να έχει μια καλύτερη εικόνα για το τι είδους δέκτες θα είναι απαραίτητο να χρησιμοποιηθούν σε διάφορες περιπτώσεις.

1.2 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ

Ο βασικός σκοπός της εργασίας είναι ο έλεγχος και η σύγκριση βασικών παραμέτρων των κεραίων GNSS για μια σειρά δεκτών γεωδαιτικού τύπου και τύπου πλοήγησης. Οι παράμετροι αυτές αφορούν κυρίως το σφάλμα πολυανάκλασης (multipath), η ευαισθησία στη λήψη σημάτων διαφορετικής διεύθυνσης (gain pattern) και η σταθερότητα του κέντρου φάσης δηλαδή του ηλεκτρικού κέντρου αναφοράς των μετρήσεων για τις συχνότητες μέτρησης (phase center variation).

Για να γίνει έλεγχος των παραπάνω παραμέτρων κεραίων GNSS έγιναν πειραματικές μετρήσεις με τρεις κεραίες γεωδαιτικού τύπου και δύο κεραίες τύπου πλοήγησης. Για την επεξεργασία χρησιμοποιήθηκε ειδικό ανοιχτό λογισμικό (RTKLIB και ANTTTOOL).

1.3 ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ

Η διπλωματική αυτή χωρίζεται σε έξι κεφάλαια το περιεχόμενο των οποίων περιγράφεται συνοπτικά παρακάτω.

Κεφάλαιο 2: Αρχικά γίνεται περιγραφή των βασικών χαρακτηριστικών των κεραίων GNSS και δίνεται η κατηγοριοποίησή τους. Γίνεται αναφορά στη βαθμονόμηση των κεραίων των γεωδαιτικών δεκτών αναφοράς. Πιο συγκεκριμένα περιγράφεται ο σκοπός της βαθμονόμησης κεραίων καθώς και γιατί είναι αναγκαία, και αναφέρονται οι παράμετροι που ενδιαφέρουν κατά τον έλεγχο και τη βαθμονόμηση.

Κεφάλαιο 3: Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται περιγραφή των λογισμικών που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία των μετρήσεων. Οι μετρήσεις έχουν συλλεχθεί από διαφορετικούς τύπους δεκτών GNSS και πρέπει να μετατραπούν σε μορφή RINEX. Τα λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν για την περαιτέρω επεξεργασία είναι το RTKLIB και το Anttool.

Κεφάλαιο 4: Το κεφάλαιο αυτό περιγράφει τις πειραματικές μετρήσεις συλλογής δεδομένων από πέντε διαφορετικούς δέκτες και κεραίες. Περιγράφονται οι δέκτες καθώς και τα χαρακτηριστικά τους. Επιπλέον περιγράφεται η διαδικασία με την οποία συλλέγονται τα δεδομένα.

Κεφάλαιο 5: Περιγράφεται ο τρόπος με τον οποίο έγινε η επεξεργασία των δεδομένων που συλλέχθηκαν από το πείραμα για να γίνει ο έλεγχος των δεκτών. Αντικείμενο του κεφαλαίου είναι τα αποτελέσματα που προκύπτουν μετά τη χρήση των λογισμικών και η σημασία τους. Παρουσιάζονται τα τελικά υπολογισμένα στοιχεία των δεκτών και τα διαγράμματα που μπορούν να εξαχθούν από το λογισμικό Anttool για τις μετρήσεις που έγιναν από αυτούς τους δέκτες. Έπειτα γίνεται ανάλυση αυτών δηλαδή τι μπορεί να παρατηρηθεί από αυτά και σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων και διαγραμμάτων του κάθε δέκτη.

Κεφάλαιο 6: Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται παράθεση των βασικών συμπερασμάτων που έχουν προκύψει από τη συλλογή και επεξεργασία των δεδομένων καθώς και την ανάλυση των αποτελεσμάτων. Επίσης δίνονται προτάσεις για μελλοντική συνέχιση της εργασίας.

Κεφάλαιο 2 – Έλεγχος Κεραίας GNSS

2.1 Εισαγωγή

Το κεφάλαιο αυτό έχει ως θέμα τη βαθμονόμηση κεραιών GNSS δηλαδή πως γίνεται, γιατί πρέπει να γίνεται, καθώς επίσης ποια στοιχεία της κεραίας είναι αυτά που πρέπει να υπολογιστούν και τι είναι το καθένα από αυτά. Αρχικά δίνεται μια βασική περιγραφή για τους δέκτες και τις κεραιές GNSS, τους τύπους κεραιών και τα βασικά χαρακτηριστικά τους. Στη συνέχεια περιγράφονται οι βασικές παράμετροι βαθμονόμησης και ακολουθεί σύντομη περιγραφή για τις μεθόδους βαθμονόμησης.

2.2 Ο ΔΕΚΤΗΣ GNSS

Οι δέκτες GNSS είναι όργανα τα οποία χρησιμοποιούνται σε τοπογραφικές ή και άλλες εργασίες για να κάνουν εντοπισμό θέσης, τον οποίο τον πραγματοποιούν από τα δορυφορικά σήματα που λαμβάνουν. Ένας δέκτης GNSS αποτελείται από δύο μέρη, τον κυρίως δέκτη και την κεραία. Η δουλειά της κεραίας είναι να λαμβάνει το σήμα από τους δορυφόρους. Αυτή μπορεί να είναι είτε εσωτερική (μέσα στο δέκτη) είτε εξωτερική (η οποία συνδέεται με καλώδιο με τον δέκτη). Ο κυρίως δέκτης έχει ότι χρειάζεται για να λειτουργήσει και να καταγράψει μετρήσεις ο δέκτης GNSS. Έχει δηλαδή διαύλους παρακολούθησης δορυφορικού σήματος, μικροεπεξεργαστή, ένα χώρο για να αποθηκεύει τις καταγραφές καθώς και το σύστημα της μπαταρίας.

2.2.1 Η ΚΕΡΑΙΑ ΤΟΥ ΔΕΚΤΗ

Όπως προαναφέρθηκε, η κεραία λαμβάνει το σήμα από τον δορυφόρο. Αυτό το σήμα λόγω της πολύ μεγάλης απόστασης του δορυφόρου από τον δέκτη είναι εξασθενημένο οπότε οι κεραιές των δεκτών GNSS είναι ειδικά κατασκευασμένες για να δέχονται τέτοιου είδους σήματα. Στην περίπτωση που η κεραία είναι εξωτερική, αυτή συνδέεται με τον δέκτη συνήθως με καλώδιο που μπορεί να έχει μήκος από λίγα μέτρα μέχρι και πάνω από 10m όμως μπορεί να γίνει και ασύρματα. Οι κεραιές αυτές δέχονται σήμα σε συγκεκριμένες συχνότητες, την L1 και την L2 (που είναι για το GPS). Οι γεωδαιτικές κεραιές δέχονται σήμα και στις δύο συχνότητες ενώ υπάρχουν γεωδαιτικές και άλλου τύπου κεραιές οι οποίες δέχονται σήματα μόνο σε μία συχνότητα.

2.2.2 ΤΥΠΟΙ ΚΕΡΑΙΩΝ

Υπάρχουν τρία είδη κεραιών για τους δέκτες GNSS, οι γεωδαιτικές, οι φορητές (rover) και οι χειρός (handheld).

Γεωδαιτικές κεραίες

Αυτές χρησιμοποιούνται από δέκτες GNSS υψηλής ακρίβειας οι οποίοι σταθεροποιούνται σε μια συγκεκριμένη θέση και έχουν σκοπό να παρέχουν αποτελέσματα πολύ καλής ακρίβειας για μια καθορισμένη εργασία. Τυπικά αυτές δέχονται σήματα στο GPS, δηλαδή στο εύρος L1 και L2 συχνοτήτων όμως κάποιες δέχονται και στο GLONASS και ακόμη και σε L5 συχνοτήτες. Σε αυτού του είδους τις κεραίες είναι διαδεδομένη η χρήση των σπειροειδών δακτυλίων καθώς προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα.

Φορητές κεραίες (Rover Antennas)

Οι κεραίες τέτοιου τύπου χρησιμοποιούνται σε εργασίες που χρειάζονται έναν δέκτη GNSS που μπορεί να μετακινηθεί όπως σε τοπογραφικές, δασικές, βιομηχανικές εργασίες αποτύπωσης κτλ. Συνήθως σε τέτοιες εργασίες η κεραία τοποθετείται πάνω σε μια ψηλή ράβδο που ο χρήστης μπορεί να μετακινήσει με τα χέρια του. Με αυτή την τοποθέτηση αποφεύγεται κάποιο σφάλμα από την ανάκλαση του σήματος στο έδαφος. Παρόλο που είναι και αυτή κεραία υψηλής ακρίβειας, λόγω διαφορετικής κατασκευής του δέκτη και επειδή δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι σπειροειδής δακτύλιοι, υπάρχει μεγαλύτερη μετακίνηση του κέντρου φάσης της κεραίας που δημιουργεί επιπλέον σφάλματα.

Κεραίες Δεκτών Χειρός (Handheld Antennas)

Αυτές οι κεραίες έχουν σχεδιαστεί για να έχουν βολικό σχήμα και μέγεθος και χαμηλό κόστος κατ' επέκταση και χαμηλότερη ακρίβεια. Ακόμη δέχονται σήμα σε μία συχνότητα την L1.

Στον Πίνακα 2.1 παρουσιάζεται σύγκριση για τα χαρακτηριστικά των τριών αυτών τύπων κεραίων. Τα χαρακτηριστικά αυτά περιγράφονται στην επόμενη ενότητα.

	Geodetic	Rover	Handheld
Frequency bands	Single to multiband Broadband	Single to multiband Narrow to broadband	Single band Narrow band
Gain pattern	Controlled	Controlled	Not controlled
Multipath suppression	High	Medium	None
Sensitivity	High	Medium to high	Low
Interference handling	High rejection	Good rejection	Minimal rejection
Phase center	Very Important	Important	Not important
Dimensions	Large	Portable	Very small
Weight	Heavy	Portable	Lightweight
Cost	High	Medium	Low

Πίνακας 2. 1 Σύγκριση των τριών τύπων κεραίων (Moernaut 2009)

2.3 ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΙΑΣ ΚΕΡΑΙΑΣ

Τα βασικά χαρακτηριστικά που ενδιαφέρουν σε μια κεραία GNSS είναι:

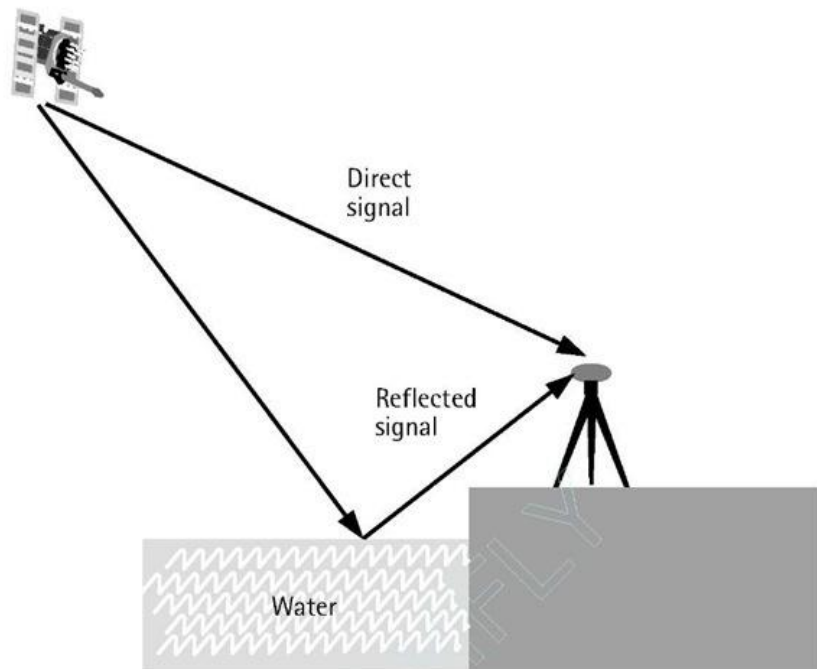
Κέντρο φάσης (Phase Center): Με τεχνικούς όρους το κέντρο φάσης είναι το ηλεκτρικό κέντρο φάσης της κεραίας και από αυτό το σημείο ξεκινούν όλα τα σήματα που στέλνει ή συγκλίνουν όλα τα σήματα που δέχεται. Στην ουσία αυτό είναι το σημείο στο οποίο δέχεται το σήμα από το δορυφόρο η κεραία, οπότε αυτού του σημείου υπολογίζουμε τις συντεταγμένες όταν κάνουμε τη λύση, και είναι διαφορετικό από το σημείο του δέκτη που θεωρούμε ότι δέχεται τις μετρήσεις και υπολογίζουμε τις συντεταγμένες. Αυτό το σημείο αλλάζει σε κάθε μέτρηση καθώς επηρεάζεται από την κατεύθυνση που δέχεται το σήμα και άρα από τη θέση του δορυφόρου. Τελικά θα έχουμε πολλά σημεία ως κέντρο φάσης οπότε αυτό θα είναι ο μέσος όρος αυτών (ο μέσος όρος υπολογίζεται χρησιμοποιώντας βάρη).

Απόκλιση κέντρου φάσης (Phase Center Offset ή PCO): Αυτό είναι η διαφορά ή η απόκλιση του θεωρητικού σημείου της κεραίας που δέχεται το σήμα (antenna reference point ARP) από το πραγματικό δηλαδή το κέντρο φάσης. Υπολογίζεται στον τρισδιάστατο χώρο προσδιορίζοντας την απόκλιση στην κάθε κατεύθυνση (E, N, U). Αυτή η απόκλιση μπορεί να φτάνει μέχρι και λίγα εκατοστά.

Μεταβολές κέντρου φάσης (Phase Center Variation ή PCV): Όπως αναφέρθηκε πιο πάνω για κάθε μέτρηση έχουμε διαφορετικό κέντρο φάσης, η διαφορά αυτών από το μέσο όρο δηλαδή το τελικό που υπολογίζουμε είναι η μεταβολή του κέντρου φάσης.

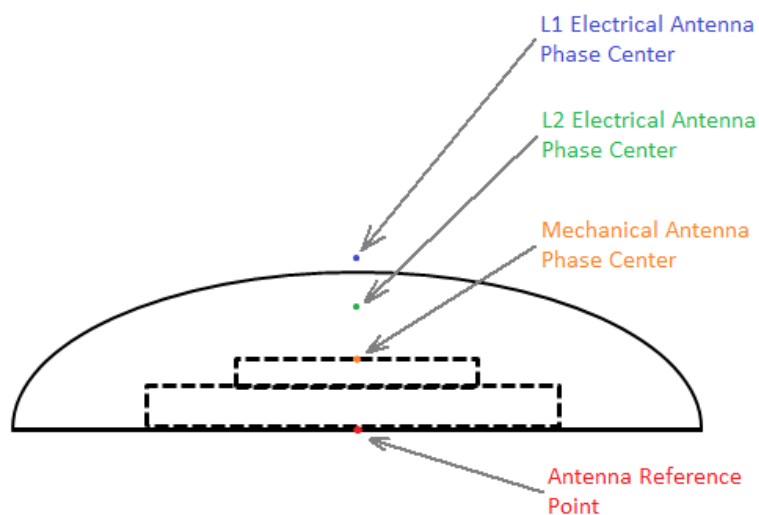
Σφάλμα πολυανάκλασης (Multipath): Είναι ένα σφάλμα που δημιουργείται από την ανάκλαση του σήματος σε επιφάνειες κοντά στο δέκτη με αποτέλεσμα ο δέκτης να δέχεται σήμα και απευθείας από τον δορυφόρο και από ανάκλαση. Όταν συμβαίνει αυτό ο δέκτης δέχεται το ίδιο σήμα πολλές φορές αλλά με λάθος χρόνο. Έτσι δημιουργείται ένα σφάλμα και μειώνεται η ακρίβεια των μετρήσεων. Κάποιοι δέκτες μπορούν να εξαλείψουν σε μεγάλο βαθμό αυτό το σφάλμα αλλά για καλύτερο αποτέλεσμα πρέπει η εξάλειψη να γίνει από τον χρήστη. Αυτό το σφάλμα πολυανάκλασης εντοπίζεται στο σήμα ως carrier phase multipath (σφάλμα πολυανάκλασης του σήματος) και στον κώδικα ως code multipath (σφάλμα πολυανάκλασης κώδικα). Παράδειγμα τέτοιου σφάλματος φαίνεται στην εικόνα 2.1 όπου ο δέκτης δέχεται σήμα από τον δορυφόρο απευθείας αλλά και από ανάκλαση στο νερό.

Carrier to Noise density (C/NO): Με αυτόν τον όρο εννοούμε το λόγο της ισχύος του σήματος που δέχεται ο δέκτης από τον δορυφόρο προς την ισχύ του συνολικού θορύβου. Η ισχύς του σήματος μετριέται σε ντεσιμπέλ (dB).



Εικόνα 2. 1 Multipath από ανάκλαση σε νερό (<http://what-when-how.com/gps/gps-errors-and-biases-part-1/>)

Για να γίνουν κατανοητές οι έννοιες του κέντρου φάσης της κεραίας (antenna phase center) και του σημείου αναφοράς της κεραίας (antenna reference point) δηλαδή του σημείου που θεωρεί ο μελετητής ότι δέχεται το σήμα, παρουσιάζεται το σχήμα στην εικόνα 2.2.



Εικόνα 2. 2 Διάγραμμα κεραίας δέκτη GNSS (http://www.trimble.com/OEM_ReceiverHelp/V4.44/en/AntennaPhaseCenters.html)

Το σημείο αναφοράς της κεραίας (Antenna Reference Point ή ARP) είναι το κεντρικό σημείο στο κάτω μέρος του δέκτη, δηλαδή το σημείο στο οποίο γίνεται η σύνδεση στη θέση που θα πραγματοποιεί μετρήσεις (π.χ. βάθρο, τρικόχλιο). Πιο πάνω από αυτό είναι το υλικό σημείο

της κεραίας που θεωρείται ότι δέχεται το σήμα και καλείται μηχανικό κέντρο φάσης της κεραίας (Mechanical Phase Center). Τα πραγματικά κέντρα φάσης της κεραίας για τις συχνότητες L1 και L2 είναι σημεία ή νέφη σημείων στο χώρο και συνήθως πάνω από το μηχανικό κέντρο φάσης.

Όταν γίνονται μετρήσεις με δέκτες GNSS, τα αποτελέσματα μπορεί να αναφέρονται σε ένα από τα σημεία που αναφέρθηκαν νωρίτερα. Ο δέκτης υπολογίζει τις μετρήσεις στο μηχανικό κέντρο φάσης και ο χρήστης μπορεί γνωρίζοντας τα κατάλληλα δεδομένα να τις μεταφέρει στο σημείο αναφοράς του δέκτη.

2.4 ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ

Η βαθμονόμηση μιας γεωδαιτικής κεραίας έχει μεγάλη σημασία στη ποιότητα του αποτελέσματος. Το ακριβές σημείο που δέχεται το σήμα και συνεπώς υπολογίζονται οι συντεταγμένες δεν είναι γνωστό. Κατά συνέπεια χρησιμοποιώντας αυτές τις συντεταγμένες που έχουν απόκλιση από το επιθυμητό σημείο εισάγεται ένα σφάλμα στους υπόλοιπους υπολογισμούς. Σε εργασίες που απαιτούν μεγάλες ακρίβειες η βαθμονόμηση αποκτά μεγάλη σημασία γιατί πρέπει να εξαλειφθούν όσο το δυνατό περισσότερα σφάλματα ώστε να επιτευχθεί το βέλτιστο αποτέλεσμα.

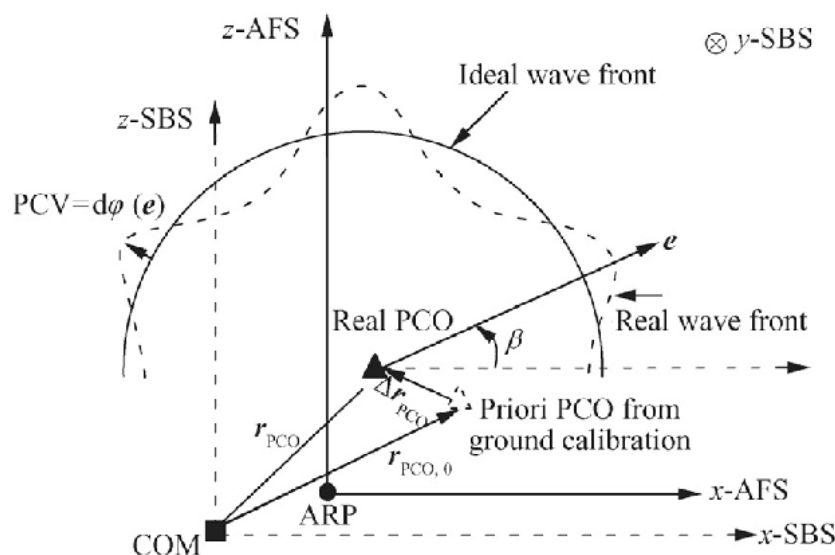
2.4.1 ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΚΕΡΑΙΑΣ ΔΕΚΤΩΝ GNSS

Σε ένα δέκτη GNSS η κεραία δέχεται ηλεκτρομαγνητικά κύματα που εκπέμπονται από τους δορυφόρους, δηλαδή το σήμα, και το μετατρέπει σε ρεύμα που μπορεί να επεξεργαστεί ο δέκτης. Το σήμα εκπέμπεται σε δύο βασικές συχνότητες, την L1 και την L2. Τα σήματα που δέχονται οι δέκτες GNSS είναι πολύ αδύναμα και ουσιαστικά από όλες τις κατευθύνσεις οπότε η κεραία τους έχει τεράστια σημασία. Για να δέχεται ο δέκτης καλύτερα το σήμα πρέπει κατά την επιλογή της θέσης να φροντίσει ο χρήστης να μην καλύπτεται ο ορίζοντας από αντικείμενα. Αν ο δέκτης βρίσκεται κοντά σε κτήρια ή αντικείμενα τότε είναι πιθανό να δημιουργηθούν σφάλματα πολυανάκλασης. Επιπλέον, τέτοια σφάλματα δημιουργούνται και από το έδαφος. Όταν είναι επιθυμητή η επίτευξη ακρίβειας εκατοστού και λιγότερο τότε χρειάζεται να αντιμετωπιστούν τα σφάλματα πολυανάκλασης και να υπάρξει μια καλή εικόνα για το κέντρο φάσης της κεραίας. Με σκοπό την αντιμετώπιση της πολυανάκλασης κάποιοι δέκτες έχουν τη κεραία τους σε μία διάταξη από σπειροειδής δακτυλίου (choke ring).

Η βαθμονόμηση κεραίας είναι η διαδικασία με την οποία προσδιορίζεται το σημείο που γίνεται η λήψη του σήματος σε ένα δέκτη GNSS. Το σημείο που γίνεται η λήψη από την κεραία δεν είναι μετρήσιμο με φυσικό τρόπο διότι αλλάζει ανάλογα με τη θέση των δορυφόρων και την κατεύθυνση του δορυφορικού σήματος που λαμβάνεται. Επομένως, μπορούν να δημιουργηθούν χάρτες διόρθωσης για την καθυστέρηση του σήματος που εξαρτάται από τη θέση του δορυφόρου κάθε χρονική στιγμή.

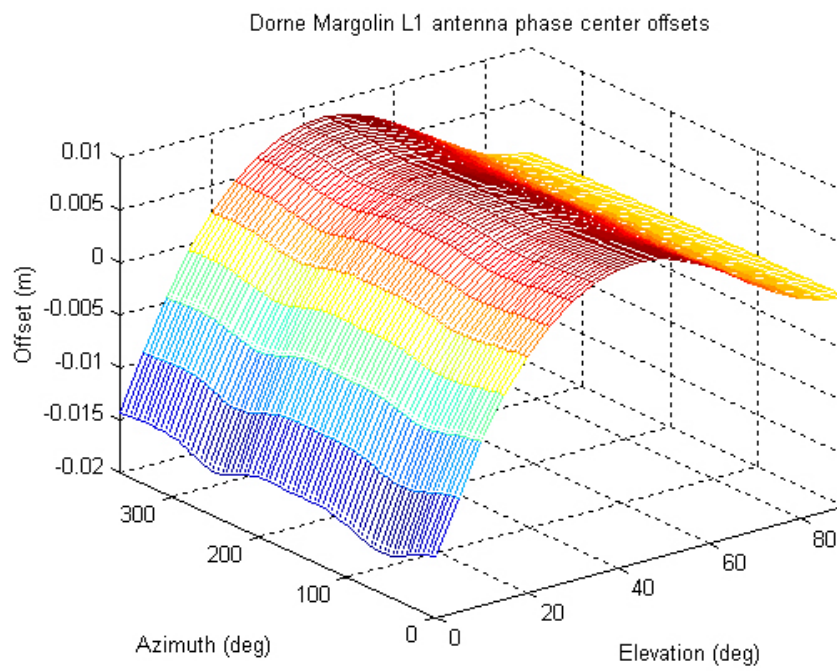
Η βαθμονόμηση αναφέρεται συνήθως στο σημείο αναφοράς της κεραίας (ARP). Αυτό είναι το φυσικό σημείο της κεραίας στο οποίο αναφέρονται οι τιμές βαθμονόμησης της κεραίας. Το ARP είναι κατά προτίμηση ένα εύκολα προσπελάσιμο σημείο στη χαμηλότερη μη αφαιρούμενη οριζόντια επιφάνεια της κεραίας. Συνήθως το ARP (βλ. εικόνα 2.3) συμπίπτει με τον άξονα προσάρτησης της κεραίας σε ένα τρίποδα ή σε βάση κέντρωσης. Επίσης ένα άλλο χαρακτηριστικό σημείο της κεραίας αποτελεί το βόρειο σημείο αναφοράς (NRP). Αυτό το χαρακτηριστικό της φυσικής κεραίας πρέπει να είναι προσανατολισμένο προς τον αληθινό βορρά. Οι τιμές βαθμονόμησης μιας κεραίας υποθέτουν ότι το NRP είναι προσανατολισμένο σωστά στον αληθινό βορρά.

Όταν είναι επιθυμητές πολύ καλές ακρίβειες μετρήσεων, δηλαδή μέχρι και χιλιοστό, είναι απαραίτητο να είναι γνωστό το ακριβές σημείο στο οποίο δέχεται το σήμα η κεραία δηλαδή το κέντρο φάσης της (phase center). Αυτός είναι ο λόγος που τα τελευταία χρόνια η βαθμονόμηση γεωδαιτικών κεραιών έχει γίνει αντικείμενο μελέτης από πολλούς. Στο σχήμα που φαίνεται στην εικόνα 2.3 παρουσιάζεται το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό των χαρακτηριστικών μιας κεραίας του δέκτη ενός δορυφόρου GPS.

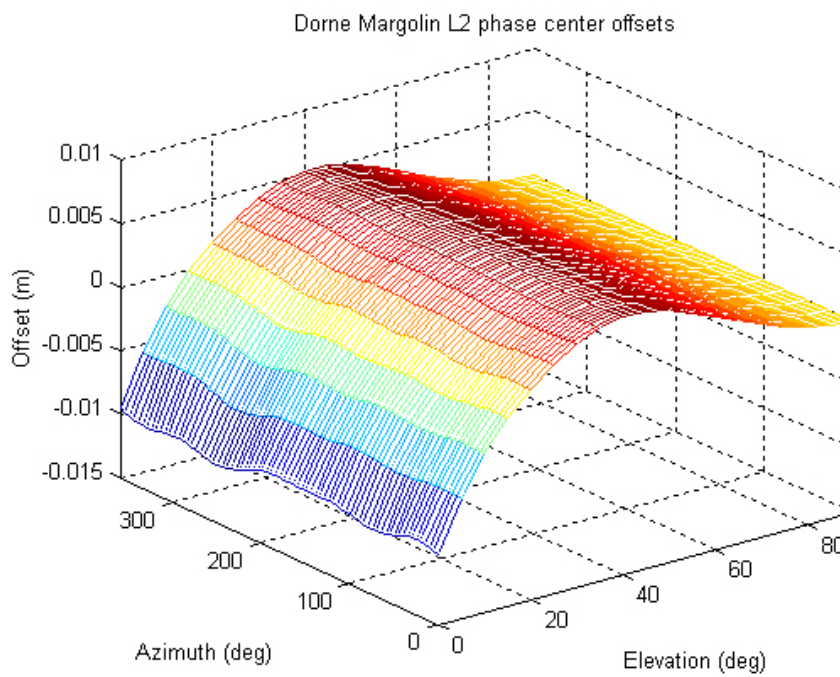


Εικόνα 2.3 Μοντέλο στοιχείων της κεραίας
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S100093611630111X>

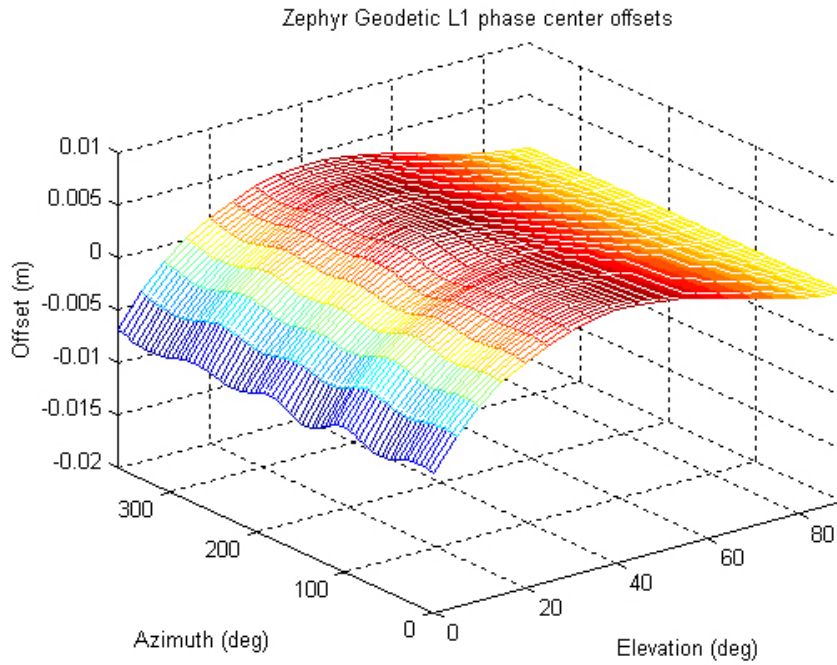
Πολλά διεθνή κέντρα διαχείρισης δικτύων GNSS, όπως η UNAVCO (<http://kb.unavco.org>), πραγματοποιούν μελέτες για την βαθμονόμηση κεραιών. Ενδεικτικά στις εικόνες 2.4 παρουσιάζονται διαγράμματα για την βαθμονόμηση των κεραιών Dorne Margolin (που θεωρείται πρότυπο ως κεραία αναφοράς), και των κεραιών Zephyr Geodetic (παρόμοια με την κεραία της Trimble 5800 που χρησιμοποιήθηκε στην εργασία αυτή) για τις δύο συχνότητες L1 και L2 (<http://kb.unavco.org/kb/category/gnss-and-related-equipment/gnss-antennas>).



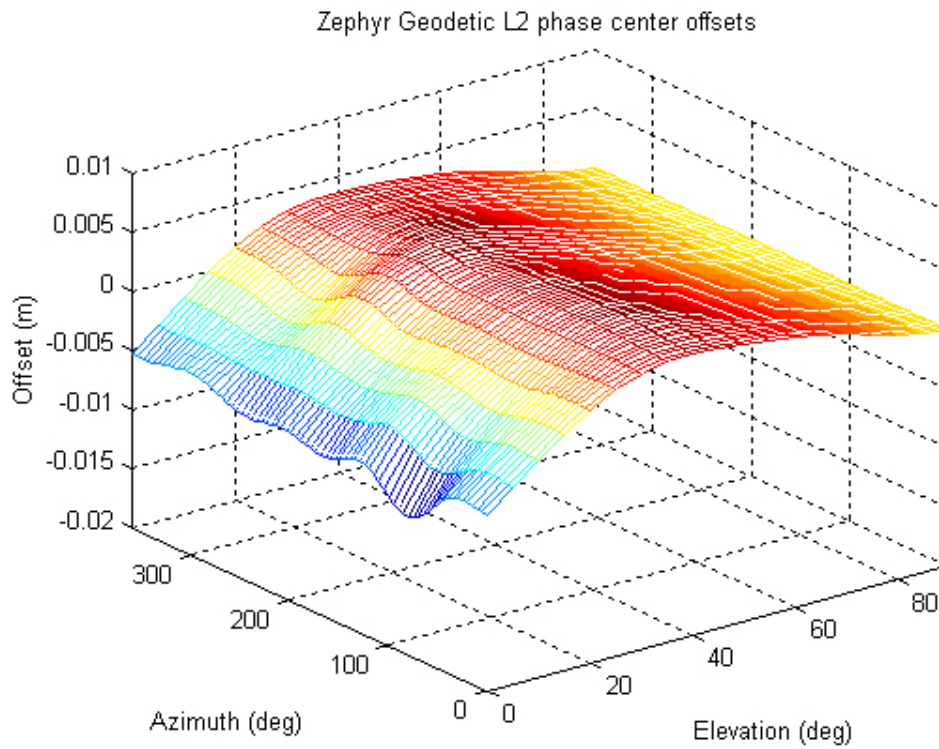
Εικόνα 2. 4α Κέντρο φάσης Dorne Margolin για την L1



Εικόνα 2. 4β Κέντρο φάσης Dorne Margolin για την L2



Εικόνα 2. 4γ Κέντρο φάσης Zephyr Geodetic για την L1



Εικόνα 2. 4δ Κέντρο φάσης Zephyr Geodetic για την L2

Η βαθμονόμηση κεραίας είναι απαραίτητη για να έχουμε καλύτερη ακρίβεια στις συντεταγμένες του σημείου που γίνεται η μέτρηση. Η βελτίωση της ακρίβειας επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας τις τιμές που βρίσκουμε από τη βαθμονόμηση στην επεξεργασία των μετρήσεων. Αν δεν γίνει αυτό τότε μπορεί να δημιουργηθούν σφάλματα σε επίπεδο εκατοστού.

2.4.2 ΤΥΠΟΙ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ

Υπάρχουν δύο μέθοδοι βαθμονόμησης, η σχετική (relative calibration) και η απόλυτη (absolute calibration) βαθμονόμηση.

Σχετική Βαθμονόμηση:

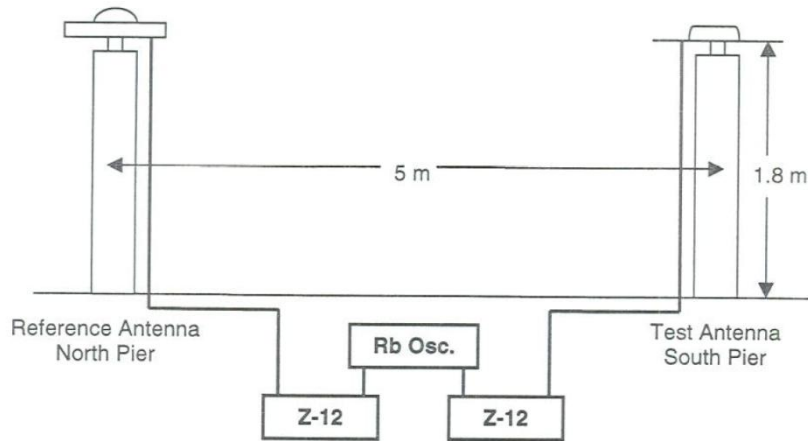
Σε αυτήν οι αποκλίσεις της κεραίας (PCO) και οι μεταβολές του κέντρου φάσης (PCV) υπολογίζονται έχοντας ως σημείο αναφοράς μια άλλη κεραία στην οποία θέτονται μηδενικές οι μεταβολές του κέντρου φάσης (PCV). Οπότε τα αποτελέσματα της σχετικής βαθμονόμησης επηρεάζονται και από τις μετρήσεις της κεραίας αναφοράς.

Για τις σχετικές βαθμονομήσεις, τα περισσότερα διεθνή κέντρα χρησιμοποιούν ως κεραία αναφοράς την κεραία δακτυλίου Choke Ring Dorne Margolin, τύπου T (AOAD/ M T NONE). Συνεπώς, η σχετική βαθμονόμηση επηρεάζεται από την καθυστέρηση φάσης που παρατηρείται από την κεραία αναφοράς (εικόνα 2.5).



Εικόνα 2. 5α Γεωδαιτική κεραία δακτυλίου Choke Ring με τύπο Dorne Margolin

Στην NGS η μέθοδος της σχετικής βαθμονόμησης δίνεται στην Εικόνα 2.4β κατά την οποία χρησιμοποιώντας μια κεραία JPL D/M+crT ως αναφορά. Οι κεραίες τοποθετούνται σε απόσταση 5m περίπου ενώ πρέπει να υπάρχει υψομετρική διαφορά μεταξύ τους. Και οι δύο κεραίες συνδέονται με ένα δέκτη (Ashtech Z-12) ο οποίος χρησιμοποιεί χρονόμετρο ρουβιδίου (Rubidium oscillator) ως εξωτερικό πρότυπο χρόνου (Mader 1999)

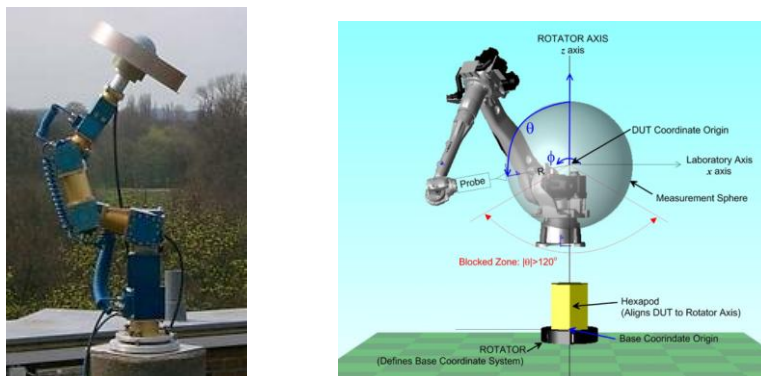


Εικόνα 2. 5β Μεθοδολογία σχετικής βαθμονόμησης στην NGS (Mader 1999)

Δεδομένου ότι είναι ο πιο συνηθισμένος τύπος βαθμονόμησης και ο ευκολότερος στην εφαρμογή του, στην εργασία αυτή χρησιμοποιήθηκε η σχετική βαθμονόμηση πεδίου. Κατά τη διαδικασία αυτή οι συντεταγμένες αναφοράς είναι απαραίτητες στις περισσότερες περιπτώσεις. Τα αποτελέσματα για την παράμετρο PCV της κεραίας ενδιαφέροντος είναι σχετικά ως προς μια κεραία αναφοράς στην οποία η παράμετρος PCV αυτής της κεραίας τίθεται στο μηδέν. Η τυπική κεραία αναφοράς για τη σχετική βαθμονόμηση πεδίου είναι η κεραία δακτυλίου AOAD / M T (π.χ. IGS / NGS). Στην εργασία χρησιμοποιήθηκε ως κεραία αναφοράς η κεραία του δέκτη Trimble (της οποίας είναι γνωστές οι παράμετροι βαθμονόμησης από την NGS).

Απόλυτη Βαθμονόμηση:

Σε αυτή τη μέθοδο χρησιμοποιείται ένα μηχάνημα (ή ρομπότ) που μετακινεί την κεραία έτσι ώστε να λαμβάνει σήμα από τον δορυφόρο και την κεραία αναφοράς με διαφορετικές γωνίες όπως φαίνεται στην εικόνα 2.6(α). Με αυτόν τον τρόπο αναιρούνται τα σφάλματα που εισάγονται από την κεραία αναφοράς και μένουν μόνο οι τιμές της βαθμονόμησης (PCV, PCO).



Εικόνα 2. 6 (α) Τυπικό ρομπότ απόλυτης βαθμονόμησης (β) νέα μέθοδος βαθμονόμησης

2.4.3 ΔΙΕΘΝΗ ΚΕΝΤΡΑ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ

Εργασίες βαθμονόμησης γίνονται σε κέντρα έρευνας ή σε πανεπιστήμια στο εξωτερικό. Στο τμήμα National Geodetic Survey (NGS) του NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) της Αμερικής πραγματοποιούνται εργασίες βαθμονόμησης γεωδαιτικών κεραιών (<https://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/>).

Συγκεκριμένα, παράγονται τιμές βαθμονόμησης από την NGS από συνδυασμό απόλυτων βαθμονομήσεων της IGS (International GNSS Service) και σχετικών βαθμονομήσεων NGS. Το NGS λαμβάνει το πιο πρόσφατο δημοσιευμένο αρχείο από την IGS (ANTEX) και ενσωματώνει όλες τις κεραιές που αναφέρονται σε αυτό το αρχείο.

Στις 29 Ιανουαρίου 2017, το IGS δημοσίευσε ένα νέο πλαίσιο αναφοράς για την βαθμονόμηση των γεωδαιτικών κεραιών που ονομάζεται IGS14. Ενσωμάτωσε αυτές τις αλλαγές στη βάση δεδομένων της και έτσι ενημερώθηκαν οι απόλυτες τιμές βαθμονόμησης για πολλούς δορυφόρους GNSS και κεραιές δέκτη βάσει του νέου πλαισίου IGS14. Η απόλυτη τιμή βαθμονόμησης για την κεραιά AOAD / M T ενημερώθηκε επίσης βάσει του IGS14. Δεδομένου ότι αυτή η κεραιά χρησιμοποιείται για τη μετατροπή των σχετικών βαθμονομήσεων NGS σε απόλυτη τιμή, οι τιμές για όλες τις βαθμολογίες “σε απόλυτη” βαθμολογία άλλαξαν επίσης. Συνολικά οι βαθμονομήσεις για περισσότερες από 450 κεραιές δέκτη άλλαξαν το Φεβρουάριο του 2017 και βρίσκονται στη βάση δεδομένων NGS.

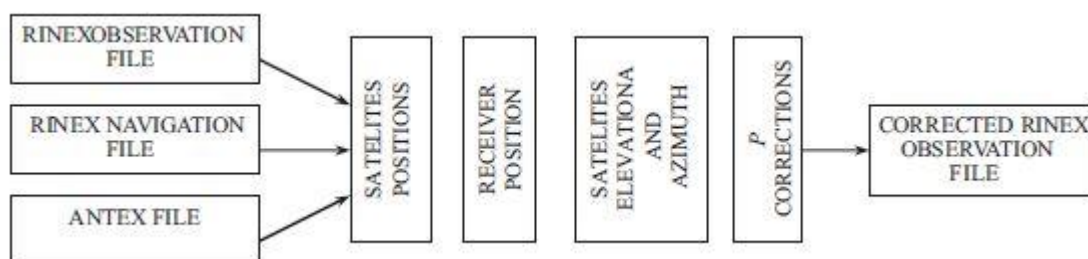
2.5 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

Αφού έχει γίνει λόγος για τη σημασία των χαρακτηριστικών της κεραιάς και πως επηρεάζουν τα σφάλματα που υπάρχουν, τα οποία είναι ούτως ή άλλως αδύνατο να απαλειφτούν εντελώς, φαίνεται η ανάγκη να πραγματοποιείται έλεγχος της ικανότητας και της ακρίβειας μετρήσεων της κεραιάς και του δέκτη. Ειδικά τώρα που η χρήση φτηνότερων δεκτών GNSS χαμηλότερης ακρίβειας έχει διαδοθεί είναι σημαντικό να γίνει έλεγχος αυτών καθώς και σύγκριση της ακρίβειας αυτών με δέκτες υψηλής ακρίβειας.

Έλεγχο και αξιολόγηση δεκτών χαμηλού κόστους έχει πραγματοποιήσει ο Takasu (2008), ο οποίος στην εν λόγω αξιολόγηση προσπάθησε να ελέγξει αν τέτοιοι δέκτες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε RTK (Real Time Kinematic) εφαρμογές με καλή ακρίβεια. Σε αυτή την έρευνα χρησιμοποιήθηκε ένας δέκτης μίας συχνότητας στον οποίο ήθελε να πραγματοποιήσει τον έλεγχο και ένας δέκτης δύο συχνοτήτων ο οποίος ήταν δέκτης αναφοράς. Αυτοί στήθηκαν σε απόσταση 1m ο ένας από τον άλλο και πραγματοποίησαν μετρήσεις για ένα εικοσιτετράωρο οι οποίες καταγράφηκαν σε ένα υπολογιστή. Για να κάνει την ανάλυση των μετρήσεων χρησιμοποίησε ένα λογισμικό που δημιούργησε ο ίδιος το ANTTTOOL. Για να συγκρίνει ποικιλία αποτελεσμάτων πήρε μετρήσεις από τον ίδιο δέκτη με διάφορες κεραιές αλλά επίσης χρησιμοποίησε και την ίδια κεραιά με διάφορους δέκτες. Στη παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιείτε το λογισμικό του Takasu (2008).

Έρευνα για τον έλεγχο δεκτών GNSS χαμηλού κόστους πραγματοποίησε και ο Gebre-Egziabher (2018). Στην έρευνά του επέλεξε 5 δέκτες χαμηλού κόστους που μπορεί να βρει κάποιος εύκολα για αγορά. Εκτός από αυτούς χρησιμοποιήθηκε και ένας δέκτης μετρίων δυνατοτήτων (δηλαδή καλή ακρίβεια αλλά όχι υψηλής ακριβείας) ο Hemisphere Eclipse P307 και ένας δέκτης πολύ υψηλής ακρίβειας ο Navcom SF-3050, με τον οποίο θα συγκριθούν οι δέκτες που είναι για έλεγχο. Για να γίνει ο έλεγχος διάλεξε δύο κεραίες, μια καλής ακρίβειας (Navcom ANT-3001R) και μια μικρότερης ακρίβειας (ANN-MS η οποία είναι μίας συχνότητας). Για να πραγματοποιήσει τις μετρήσεις του πειράματος σύνδεσε όλους τους δέκτες με μία κεραία και συνδέθηκαν και σε υπολογιστή που είχε ένα λογισμικό για την καταγραφή των μετρήσεων. Πραγματοποίησε έλεγχο και με στατικό εντοπισμό αλλά και με κινηματικό εντοπισμό (αυτοκίνητο εν κινήσει). Για την διαδικασία των μετρήσεων με στατικό εντοπισμό επιλέχθηκαν τρεις περιοχές με διαφορετικά χαρακτηριστικά και έγιναν μετρήσεις και στις τρεις. Για έλεγχο σε αυτοκίνητο που κινείται επιλέχθηκαν πάλι τρεις διαδρομές με τα ίδια κριτήρια που επιλέχθηκαν οι τρεις περιοχές προηγουμένως.

Ένας ακόμα ερευνητής που ασχολήθηκε με θέματα σχετικά με τη βαθμονόμηση κεραίων είναι ο Dawidowicz (2010). Αυτός προσπάθησε να κάνει διορθώσεις στο PCV μετρήσεων GPS. Για να το πραγματοποιήσει αυτό δημιούργησε ένα πρόγραμμα στη MATLAB που κάνει διορθώσεις στις παρατηρήσεις κώδικα και φάσης από τα αρχεία παρατηρήσεων RINEX. Το πρόγραμμα αυτό λοιπόν χρησιμοποιεί τα αρχεία RINEX των παρατηρήσεων και ANTEX (ένα αρχείο που έχει πληροφορίες για τη βαθμονόμηση της κεραίας) της κεραίας και βρίσκει αρχικά τις συντεταγμένες των δορυφόρων και έπειτα τη γωνία ύψους και το αζιμούθιο. Από αυτά υπολογίζει στη συνέχεια τις διορθώσεις για το PCV της κεραίας. Αυτή η διαδικασία φαίνεται στην εικόνα 2.7. Για τις μετρήσεις που έγιναν ώστε να δοκιμαστεί αυτή η μέθοδος, τοποθετήθηκαν δέκτες GNSS σε τέσσερα σημεία που είχαν απόσταση μεταξύ τους κάποια χιλιόμετρα (πάνω από 20 km).



Εικόνα 2. 7 Διαδικασία υπολογισμού των διορθώσεων Dawidowicz (2010)

Κεφάλαιο 3 - Λογισμικά

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η επεξεργασία των μετρήσεων έγινε με χρήση των λογισμικών RTKLIB και ANTTTOOL. Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει περιγραφή της λειτουργίας αυτών των λογισμικών, δηλαδή τα δεδομένα που χρησιμοποιούν, τι μπορούν να δώσουν καθώς και πως χρησιμοποιούνται.

3.2 ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ RTKLIB

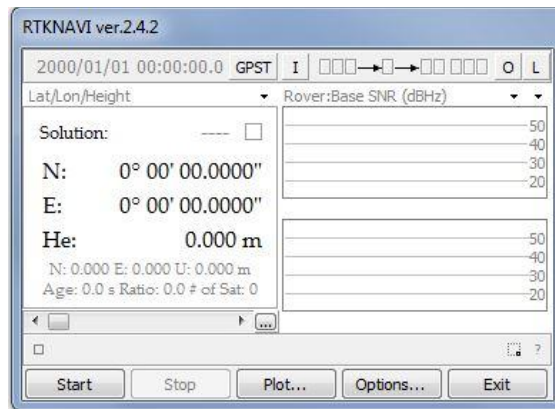
RTKLIB:

Το RTKLIB είναι ένα ελεύθερο πρόγραμμα που χρησιμοποιείται για την επεξεργασία δεδομένων στο σύστημα GNSS και δημιουργήθηκε από τον Tomoji Takasu(2008). Η γλώσσα προγραμματισμού που χρησιμοποιήθηκε είναι η c++ και δημιουργήθηκε σε λογισμικό windows 7 αλλά λειτουργεί και σε άλλα π.χ. linux. Αυτό το λογισμικό είναι μια βιβλιοθήκη εφαρμογών που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό θέσης σε πραγματικό χρόνο, δηλαδή την ώρα που γίνονται οι μετρήσεις, αλλά και στην εκ των υστέρων επεξεργασία των μετρήσεων. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι το RTKLIB μπορεί να δεχτεί δεδομένα από διάφορα συστήματα εντοπισμού, πιο συγκεκριμένα GPS (Global Positioning System), GLONASS (Global Navigation Satellite System), Galileo, QZSS (Quasi-Zenith Satellite System), SBAS (Satellite-Based Augmentation System). Η τυποποίηση των αρχείων μπορεί να είναι σε διάφορες μορφές, RINEX (Receiver Independent Exchange Format), ANTEX (Antenna Exchange Format), RTCM (Radio Technical Commission for Maritime Services) και άλλες. Η έκδοση του RTKLIB που χρησιμοποιήθηκε είναι η 2.4.2. Το λογισμικό αυτό μπορεί να αποκτηθεί κατεβάζοντας το στον υπολογιστή του ενδιαφερόμενου από την ιστοσελίδα του RTKLIB. Σε αυτή μπορούν να βρεθούν και επιπλέον πληροφορίες για αυτό.

Οι εφαρμογές του RTKLIB είναι:

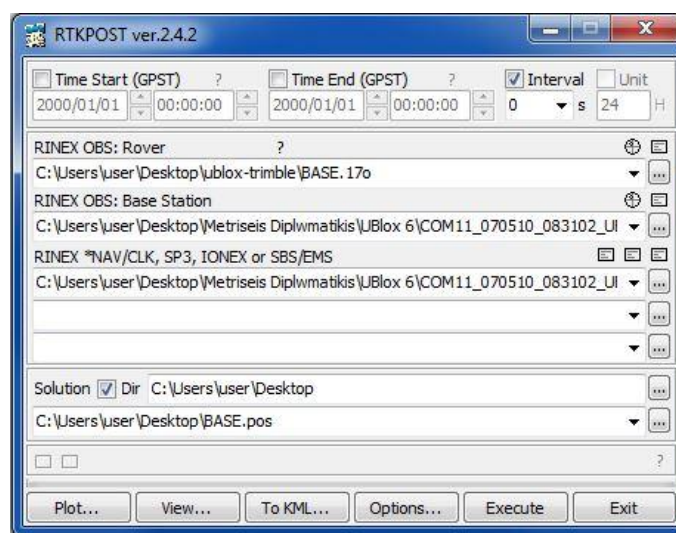
- RTKNAVI
- RTKPOST
- RTKCONV
- RTKPLOT
- STRSVR

RTKNAVI: Αυτή η εφαρμογή κάνει εντοπισμό σε πραγματικό χρόνο, δηλαδή δέχεται τις μετρήσεις των δεκτών (raw observation data) και τις επεξεργάζεται εκείνη τη στιγμή δίνοντας συντεταγμένες σε προκαθορισμένο σύστημα αναφοράς κάθε χρονική στιγμή. Πρέπει για να γίνει αυτό να ρυθμιστούν σωστά οι ροές εισόδου και οι ροές εξόδου. Στην εικόνα 3.1 φαίνεται το βασικό παράθυρο της εφαρμογής RTKNAVI χωρίς να έχει εισοδο.



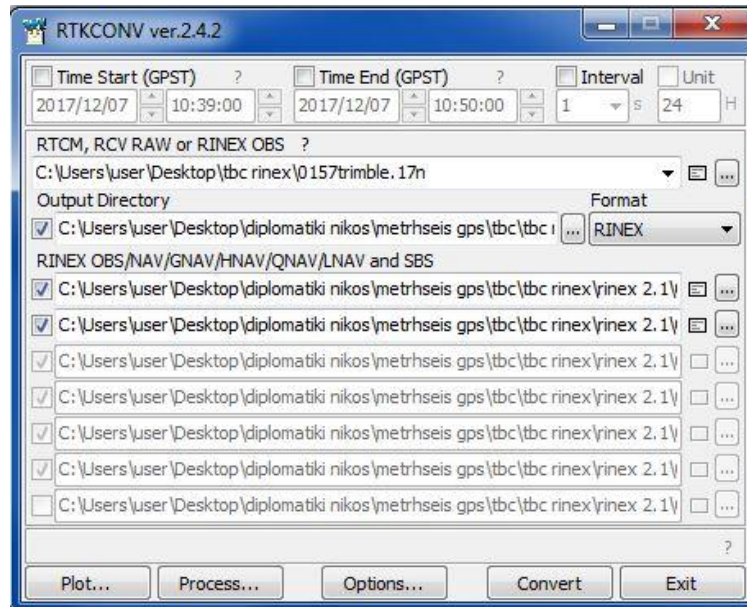
Εικόνα 3. 1 Παράθυρο για την εφαρμογή RTKNAVI

RTKPOST: Η χρησιμότητα αυτή της εφαρμογής είναι η επίλυση των μετρήσεων που έγιναν από τους δέκτες κάνοντας σχετικό εντοπισμό. Δέχεται τα αρχεία μετρήσεων των δύο δεκτών (base και rover) σε μορφή RINEX και στη συνέχεια πραγματοποιεί σχετικό εντοπισμό. Από τις ρυθμίσεις ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να κάνει επιλογές για το τι είδους επίλυση θα κάνει (static, kinematic, DGPS κτλ) τις συχνότητες των μετρήσεων, το σύστημα δορυφόρων (GPS, GLONASS, SBAS κτλ), πως θα εμφανίζονται τα αποτελέσματα και άλλα. Στην εικόνα 3.2 φαίνεται το παράθυρο του RTKPOST όπου πρέπει να δοθεί η θέση του αρχείου RINEX στη κατάλληλη επιλογή ανάλογα αν είναι αρχείο παρατήρησης ή πλοήγησης και στη συνέχεια μπορεί να επιλεγεί και η θέση που θα εμφανιστεί το αρχείο με το αποτέλεσμα.



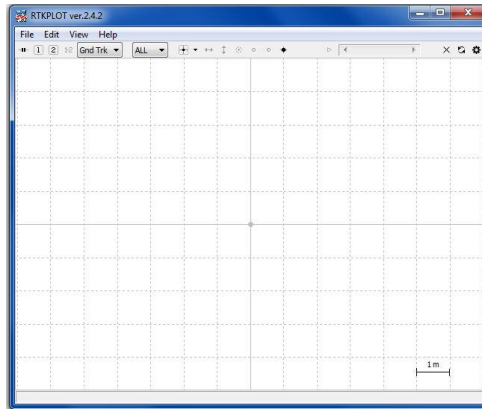
Εικόνα 3. 2 Παράθυρο εφαρμογής RTKPOST

RTKCONV: Με αυτή την εφαρμογή είναι δυνατή η μετατροπή αρχείων παρατηρήσεων σε άλλη μορφή, συνήθως μετατροπή σε RINEX. Έχει και τη δυνατότητα να μετατρέπει RINEX αρχεία σε παλιότερη έκδοση. Από την επιλογή Options... μπορεί ο χρήστης να κάνει ρυθμίσεις για το τι θα έχει το τελικό αποτέλεσμα. Όπως και στη προηγούμενη περίπτωση έτσι και σε αυτή, σε συγκεκριμένες θέσεις που φαίνονται στην εικόνα 3.3 δίνεται η θέση του αρχείου και επιλέγεται και η θέση που θα εμφανιστούν τα αποτελέσματα.

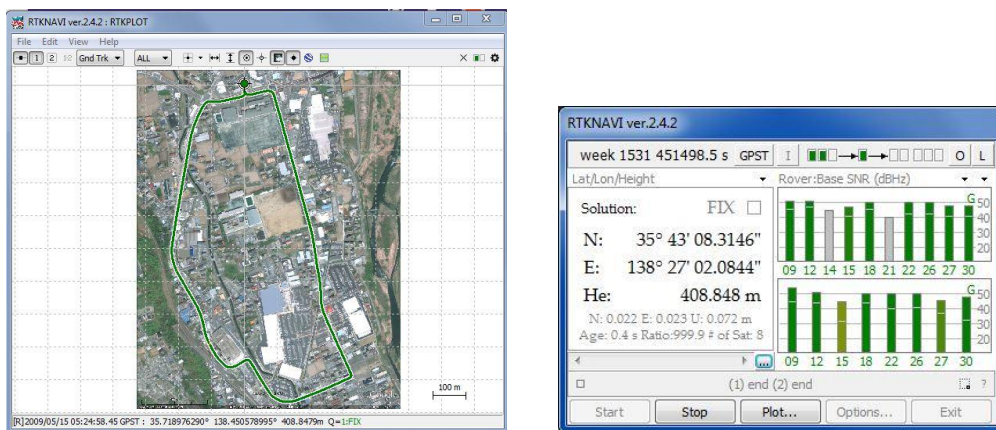


Εικόνα 3. 3 Παράθυρο εφαρμογής RTKCONV

RTKPLOT: Αυτή είναι μια εφαρμογή που κάνει αναπαράσταση της επίλυσης των παρατηρήσεων. Διαβάζει το αρχείο της λύσης και σε ένα διάγραμμα τοποθετεί τις λύσεις κάθε μέτρησης. Το παράθυρο του προγράμματος αυτού φαίνεται στην εικόνα 3.4 σε αυτή τη περίπτωση είναι κενό. Αν χρησιμοποιηθεί το πρόγραμμα RTKNAVI (εικόνα 3.5β) για μια εφαρμογή RTK και γίνει χρήση του RTKPLOT προσθέτοντας και φωτογραφία της περιοχής που έγιναν οι μετρήσεις τότε το αποτέλεσμα μπορεί να είναι σαν αυτό που φαίνεται στην εικόνα 3.5α. Το παράδειγμα αυτό είναι μετρήσεις RTK μέσα σε αυτοκίνητο καταγράφοντας τη πορεία του.



Εικόνα 3. 4 Παράθυρο εφαρμογής RTKPLOT κενό



Εικόνα 3. 5 α Παράδειγμα αποτελέσματος RTKPLOT β Χρήση του RTKNAVI για το RTKPLOT

STRSRV: Αυτή η εφαρμογή χρησιμοποιείται για τη ρύθμιση των ροών εισόδου και εξόδου κυρίως για το RTKNAVI. Έχει περισσότερο το χαρακτήρα επικοινωνίας του χειριστή με το λογισμικό παρά επίλυσης (εικόνα 3.6).



Εικόνα 3. 6 STRSRV

3.3 ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ANTTTOOL

Το ANTTTOOL είναι ένα λογισμικό ανάλυσης δεδομένων που δημιούργησε ο Tomoji Takasu (2008) το οποίο είναι ελεύθερο. Στην ουσία είναι ένα σύνολο προγραμμάτων που έχουν δημιουργηθεί σε περιβάλλον MATLAB και υπολογίζουν τα χαρακτηριστικά της κεραίας, όπως το κέντρο φάσης (phase center), τη μεταβολή κέντρου φάσης (PCV) καθώς και το multipath του σήματος και του κώδικα (code multipath, carrier phase multipath), δηλαδή κάνει έλεγχο της κεραίας. Ως είσοδο το λογισμικό δέχεται μετρήσεις από δέκτη GNSS σε μορφή RINEX (observation και navigation αρχεία). Τέλος το ANTTTOOL μπορεί να δώσει σχετικά διαγράμματα για αυτά τα χαρακτηριστικά.

Δύο είναι οι βασικές λειτουργίες, το πρόγραμμα antest και το πρόγραμμα antplot.

Antest

Αυτό το πρόγραμμα υπολογίζει τα χαρακτηριστικά της κεραίας ενός δέκτη σε σχέση με ένα δέκτη αναφοράς. Σε αυτό πρέπει ο χρήστης να εισάγει τρία αρχεία με την ακόλουθη σειρά, το αρχείο παρατήρησης του δέκτη, το αρχείο παρατήρησης του δέκτη αναφοράς και το αρχείο πλοήγησης (είτε του εξεταζόμενου δέκτη είτε του δέκτη αναφοράς). Τα αποτελέσματα περιλαμβάνουν πληροφορίες για το κέντρο φάσης της κεραίας, δηλαδή τη θέση του τις μεταβολές καθώς και το multipath του σήματος και του κώδικα (εικόνα 3.7). Το πρόγραμμα μπορεί να δώσει είτε ένα αρχείο τύπου αρχείο.mat το οποίο είναι αρχείο της MATLAB και έχει όλα τα στοιχεία που υπολόγισε το πρόγραμμα είτε ένα αρχείο τύπου αρχείο.out το οποίο χρησιμοποιείται για να γίνουν τα διαγράμματα. Το τι αρχείο θα δώσει μπορεί να το επιλέξει ο χρήστης. Ακόμη πρέπει να οριστεί και η θέση των αρχείων για να μπορεί να τα βρει το πρόγραμμα και να τα διαβάσει.

Παρακάτω δίνεται ένα παράδειγμα χρήσης του Antest με αρχεία σε RINEX μορφή τα οποία αφορούν στον εξεταζόμενο δέκτη (rover.obs αρχείο παρατήρησης και rover.nav αρχείο πλοήγησης) και στο δέκτη αναφοράς (base.obs και base.nav).

Αν χρησιμοποιηθεί σαν εντολή εισόδου το παρακάτω:

```
>> antest rover.obs base.obs rover.nav
```

Τότε το αποτέλεσμα θα είναι ένα αρχείο που θα λέγεται antprm.mat όμως αν οριστεί η έξοδος του προγράμματος χρησιμοποιώντας το -out τότε μπορεί να οριστεί το αρχείο εξόδου δίνοντας το όνομά του. Δηλαδή με την εντολή εισόδου:

```
>> antest rover.obs base.obs rover.nav -out onoma.mat
```

Επιστρέφει το αρχείο mat αλλά με το επιθυμητό όνομα, ενώ με την εντολή:

```
>> antest rover.obs base.obs rover.nav -out onoma.out
```

Θα δώσει ως αποτέλεσμα ένα αρχείο out με το ανάλογο όνομα.

Αν τα αρχεία είναι σε κάποιο φάκελο τότε για να μπορεί να τα βρει το πρόγραμμα πρέπει να οριστεί κατά την εντολή εισόδου, δηλαδή η εντολή να γραφτεί έτσι:

```
>> antest όνομα φακέλου\rover.obs όνομα φακέλου\base.obs όνομα φακέλου\ rover.nav –out
onoma.out
```

```
1 function antest(varargin)
2 % antest.m :
3 % estimate antenna parameters. parameters include antenna phase center offset,
4 % antenna phase center variation, carrier-phase multipath, code multipath,
5 % carrier to noise power density. inputs files shall be target antenna rinex
6 % observation data, reference antenna/receiver rinex observation data
7 % (triple-frequency), and rinex navigation message file. reference antenna must
8 % be placed in the vicinity of target.
9 % estimated antenna parameters are plotted by antplot.m.
10 %
```

Εικόνα 3. 7 Παράθυρο επιλογών επίλυσης με το πρόγραμμα Antest

Ο τρόπος υπολογισμού αυτών των παραμέτρων της κεραίας αναλύεται από τον Tomoji Takasu (2008).

Antplot

Το antplot κάνει τη σχεδίαση των αποτελεσμάτων του antest δηλαδή σχεδιάζει διαγράμματα των στοιχείων της κεραίας σε σχέση με το χρόνο τη θέση ή και άλλα. Από το αρχείο out ο χρήστης μπορεί να διαλέξει ποιο διάγραμμα θα του επιστρέψει και στη συνέχεια μπορεί να το αποθηκεύσει σαν εικόνα. Η επιλογή του διαγράμματος γίνεται με την εντολή που θα γραφτεί στη MATLAB για το antplot, ενώ πρέπει να δοθεί και το όνομα του αρχείου. Το κάθε διάγραμμα έχει τη δική του ονομασία για να αναγνωρίζεται από το πρόγραμμα. Τα διαγράμματα που μπορεί να δώσει το antplot μαζί με τις ονομασίες τους είναι:

1. –pcns: Τη μεταβολή του κέντρου φάσης της κεραίας σε skyplot
2. –pcve: Τη μεταβολή του κέντρου φάσης της κεραίας σε σχέση με τις γωνίες που δέχεται το σήμα
3. –pmpt: Το multipath του σήματος σε σχέση με τον χρόνο
4. –pmpe: Το multipath του σήματος σε σχέση με τη γωνία που δέχεται το σήμα (elevation angle)
5. –pmpls: Το multipath του σήματος σε skyplot
6. –cmpt: Το multipath του κώδικα σε σχέση με το χρόνο
7. –cmpe: Το multipath του κώδικα σε σχέση με τη γωνία που δέχεται το σήμα
8. –cmpls: Το multipath του κώδικα σε skyplot

9. `-snre`: Τον λόγο της ισχύος του σήματος ως προς τον θόρυβο σε σχέση με τη γωνία που δέχεται το σήμα

10. `-snrs`: Τον λόγο της ισχύος του σήματος ως προς τον θόρυβο σε skyplot

Η χρήση του `antplot` για τη σχεδίαση αυτών των διαγραμμάτων γίνεται με τις ακόλουθες εντολές:

```
>> antplot όνομα αρχείου.out
```

Με αυτόν τον τρόπο θα εμφανιστεί το πρώτο διάγραμμα δηλαδή η μεταβολή του κέντρου φάσης της κεραίας σε skyplot, ως προκαθορισμένο αν δεν εξαναγκαστεί η εμφάνιση κάποιου άλλου. Για να εμφανιστεί διαφορετικό διάγραμμα πρέπει να γραφτεί και το όνομά του στην εντολή με μία παύλα πριν από αυτό.

Για παράδειγμα, προκειμένου να επιλεγεί το τρίτο διάγραμμα (το multipath του σήματος σε σχέση με τον χρόνο, εικόνα 3.8) η εντολή πρέπει να γραφτεί ως:

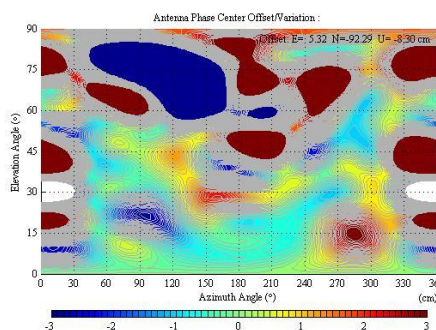
```
>>antplot όνομα αρχείου.out -rpmpt
```

Τα διαγράμματα που σχεδιάζονται από αυτό το πρόγραμμα μπορούν να αποθηκευτούν ως εικόνες. Στο παράθυρο της MATLAB που παρουσιάζεται το διάγραμμα υπάρχει και η επιλογή για αποθήκευση όπου μπορεί να επιλεγεί και η θέση στην οποία θα αποθηκευτεί αυτό στον υπολογιστή.

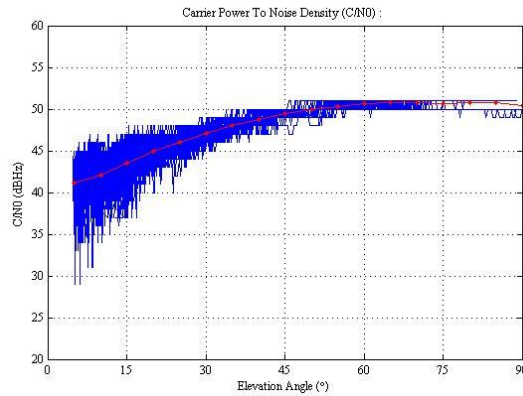
```
1 function h=antplot(varargin)
2 % antplot.m :
3 % read antenna parameters generated by antest.m and plot them. antenna
4 % parameters file is specified in options or with menu 'Plot'-'Read Data...'.
5 % plot content is selected in options or with menu 'Plot'-'PCV Skyplot' etc.
6 % to plot antenna model of antex format, select antex file with menu
7 % 'Plot'-'Read Model', and execute menu 'Plot'-'PCV Skyplot (Model)' etc.
8 % to zoom or move axis in graph, use mouse drag at x or y axis of graph.
9 %
```

Εικόνα 3. 8 Παράθυρο επιλογών στο πρόγραμμα antplot

Παρακάτω φαίνονται παραδείγματα των αποτελεσμάτων του `antplot`



Εικόνα 3. 9 Μεταβολή κέντρου φάσης της κεραίας (pcv) (-pcve) (Takasu, 2008)



Εικόνα 3. 10 Μεταβολή του λόγου του σήματος ως προς το θόρυβο (C/NO) (-snre) (Takasu, 2008)

Υπάρχει η δυνατότητα ο χρήστης να δει κάποιες οδηγίες, πληροφορίες ή λεπτομέρειες για τη λειτουργία αυτών των προγραμμάτων γράφοντας στη MATLAB για το antest και το antplot αντίστοιχα:

```
>>help antest
```

```
>>help antplot
```

3.4 Συνάρτηση στη MATLAB

Επειδή τα δεδομένα που έπρεπε να χρησιμοποιηθούν στη MATLAB από το λογισμικό ANTTOOL αφορούσαν πολλά αρχεία και η διαδικασία που χρειάζεται απαιτεί την επανάληψη πολλών εντολών εισόδου, δημιουργήθηκε μια συνάρτηση που είχε ως σκοπό την αύξηση της αποδοτικότητας της εργασίας. Στην ουσία με αυτή μπορεί ο χρήστης να επιλέξει αν θα κάνει την antest ή την antplot για τα αρχεία που έχει ορίσει στη συνάρτηση. Οπότε μπορεί ο χρήστης να κάνει μικρές αλλαγές για να αποκτήσει τα πολλά αποτελέσματα που δίνουν οι antest και antplot. Η επιλογή της δημιουργίας και χρήσης αυτής της συνάρτησης κάλυπτε τις ανάγκες της παρούσας εργασίας και δε σημαίνει ότι είναι και η πιο αποδοτική για όλους.

Κεφάλαιο 4 – Συλλογή Δεδομένων

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το κεφάλαιο αυτό έχει ως θέμα τη διαδικασία συλλογής των δεδομένων, οι μετρήσεις που έγιναν και τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν. Πιο συγκεκριμένα θα αναφερθούν οι δέκτες που χρησιμοποιήθηκαν καθώς και κάποια βασικά χαρακτηριστικά τους. Ακόμη θα περιγραφεί η διαδικασία με την οποία έγιναν οι μετρήσεις και το πείραμα εισαγωγής σφάλματος λόγω πολυανάκλασης του σήματος (multipath) στα συλλεγόμενα δεδομένα.

4.2 ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Τα δεδομένα που θα χρησιμοποιηθούν στη διπλωματική αφορούν τόσο σε υπάρχοντα δεδομένα από μετρήσεις που έχουν γίνει παλιότερα και τα οποία θα χρησιμοποιηθούν για δοκιμή των λογισμικών και για εξάσκηση με αυτά. Επίσης πραγματοποιήθηκαν νέες μετρήσεις ώστε να ελεγχθούν διαφορετικοί τύποι κεραιών.

Τα υπάρχοντα δεδομένα αφορούν παλαιότερες μετρήσεις στατικού εντοπισμού που πραγματοποιήθηκαν στο χώρο της Πολυτεχνιούπολης. Αυτές οι μετρήσεις έγιναν με δέκτες ublox που τοποθετήθηκαν σε θέσεις γνωστών συντεταγμένων (βάθρα) σε κτήρια της Πολυτεχνιούπολης. Τα αρχεία ήταν σε RINEX μορφή και δε χρειαζόνταν κάποια επιπλέον επεξεργασία για να χρησιμοποιηθούν από τα λογισμικά. Ο σκοπός χρήσης τους ήταν μόνο να χρησιμοποιηθούν ως δεδομένα στο πρόγραμμα ANTOOL και να κατανοηθεί η διαδικασία επεξεργασίας αυτών.

Στη διπλωματική αυτή έγινε συλλογή δεδομένων με διαφορετικούς τύπους δεκτών και κεραιών GNSS και πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν δέκτες ublox, Trimble, Leica, και Javad. Τα δεδομένα από αυτούς τους δέκτες συλλέχτηκαν την ίδια χρονική περίοδο και με την ίδια δορυφορική γεωμετρία και η επεξεργασία τους έγινε χρησιμοποιώντας τα λογισμικά που έχουν περιγραφεί στο κεφάλαιο 3.

4.3 ΔΕΚΤΕΣ ΚΑΙ ΚΕΡΑΙΕΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ

Από τους δέκτες που χρησιμοποιήθηκαν οι Trimble, Leica και Javad είναι γεωδαιτικοί δέκτες ενώ οι δύο ublox δέκτες είναι δέκτες πλοήγησης. Παρακάτω δίνονται συνοπτικά τα βασικά χαρακτηριστικά του κάθε δέκτη.

4.3.1 TRIMBLE 5800

Ο δέκτης Trimble 5800 είναι ένας γεωδαιτικός δέκτης. Έχει ενσωματωμένα κεραία GNSS και μπαταρία (εικόνα 4.1). Μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για μετρήσεις RTK (Real Time

Kinematic). Ακόμη έχει και Bluetooth για να μπορεί ο χρήστης να το χειρίζεται από απόσταση. Η κεραία που έχει ενσωματωμένη είναι δύο συχνοτήτων. Οι ακρίβειες μέτρησης του δέκτη Trimble 5800 είναι για στατικό εντοπισμό 5mm +0.5 ppm οριζοντιογραφικά και υψομετρικά 5mm +1 ppm, ενώ για κινηματικό εντοπισμό είναι οριζοντιογραφικά 10mm +1ppm και υψομετρικά 20mm +1ppm.



Εικόνα 4. 1 Δέκτης Trimble 5800

4.3.2 LEICA 1200+

Αυτός είναι ένας δέκτης GNSS της Leica ο οποίος είναι γεωδαιτικός δέκτης καλής ακρίβειας με κεραία δύο συχνοτήτων (Εικόνες 4.2 και 4.3). Έχει δυνατότητα και για στατικό εντοπισμό αλλά και για RTK. Οι ακρίβειες μέτρησης του δέκτη είναι για τον κινηματικό εντοπισμό 10mm +1ppm οριζόντιογραφικά και 20mm +1ppm υψομετρικά ενώ για στατικό εντοπισμό οι ακρίβειες είναι οριζοντιογραφικά 5mm +0.5ppm και υψομετρικά 10mm +0.5ppm,



Εικόνα 4. 2 Δέκτης Leica 1200+



Εικόνα 4. 3 Θήκη και χειριστήριο Leica

4.3.3 JAVAD TRIUMPH

Ο δέκτης Javad είναι ένας γεωδαιτικός δέκτης ο οποίος δέχεται σήματα από διαφορετικά δορυφορικά συστήματα δηλαδή GPS (L1, L2, L2C, L5), GLONASS (L1,L2) και Galileo κάτι που βελτιώνει την ακρίβεια σε δύσκολες συνθήκες μετρήσεων. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για στατικό εντοπισμό όσο και για RTK (Εικόνα 4.4). Ακόμη έχει Bluetooth και εσωτερική μπαταρία που επαναφορτίζεται. Για τον δέκτη Javad Triumph οι ακρίβειες μέτρησης είναι στον στατικό εντοπισμό 0.3cm +0.1ppm οριζοντιογραφικά και 0.35cm +0.4ppm υψομετρικά, για τον κινηματικό εντοπισμό η ακρίβεια είναι 1cm +1ppm οριζοντιογραφικά και 1.5cm +1ppm υψομετρικά.



Εικόνα 4. 4 Δέκτης Javad

4.3.4 ΔΕΚΤΕΣ UBLOX

Δύο είναι οι δέκτες ublox που χρησιμοποιήθηκαν, ο ublox 6 ή ublox LEA-6T με τη δική του κεραία (Εικόνα 4.5) και ο ublox 7 ή ublox NEO-7P XXL με μια κεραία Tallysman TW2410 (Εικόνες 4.6, 4.7).

ublox 6: Αυτός είναι δέκτης πλοήγησης και μπορεί να λαμβάνει μόνο μετρήσεις GPS.

Ublox 7: Ο ublox 7 μπορεί να λάβει σήμα, εκτός από GPS, από Glonass και QZSS. Για τις μετρήσεις αυτού του δέκτη δεν χρησιμοποιήθηκε κεραία ublox αλλά μία κεραία Tallysman TW2410. Αυτή είναι μια κεραία που είναι ειδικά σχεδιασμένη για βιομηχανικές αγροτικές και στρατιωτικές εφαρμογές.



Εικόνα 4. 5 Δέκτης ublox LEA-6T



Εικόνα 4. 6 Δέκτης ublox NEO-7P με κεραία Tallysman

TW2410/TW2412 Magnet Mount GPS/GLONASS Antenna

Specifications V_{cc} = 3V, over full bandwidth, T=25°C

Antenna

Architecture
1 dB Bandwidth
Antenna Gain (with 100mm ground plane)
Axial Ratio (for both L1 and G1) @zenith

Dual, Quadrature Feeds
32 MHz
4.25 dBic
<1 dB

Electrical

Architecture
Filtered LNA Frequency Bandwidth
Polarization
LNA Gain
Gain flatness
Out-of-Band Rejection <1500 MHz
<1550 MHz
>1640 MHz

One LNA per feed line, mid section SAW filter
1574 to 1606 MHz
RHCP
28 dB min., 1575.42 to 1606 MHz
+/- 2 dB, 1575 to 1605 MHz
>32 dB (TW2410) >50dB (TW2412)
>25 dB (TW2410) >50 dB (TW2412)
>35 dB (TW2410) >70 dB (TW2412)
<1.5:1 typ 1.8:1 max
1.5dB typ. (TW2410) 3.5dBtyp. (TW2412)
+2.5 to 16 VDC nominal (12VDC recommended maximum)
15 mA typ, 25mA Q max (85°C).
15 KV air discharge

VSWR (at LNA output)

Noise Figure

Supply Voltage Range (over coaxial cable)

Supply Current

ESD Circuit Protection

Mechanicals & Environmental

Mechanical Size

Cable

Operating Temp. Range

Enclosure

Weight

Attachment Method

Environmental

Shock

Vibration

57 mm dia. x 15 mm H
RG174 / 5 metres, other lengths optional
-40 to +85 °C
Radome: EXL9330, Base: Zamak white metal
110 g
Magnet or permanent (pre-tapped 4 x 6-32 UNC)
IP67 and RoHS compliant
Vertical axis: 50 G, other axes: 30 G
3 axis, sweep = 15 min, 10 to 200 Hz sweep: 3 G

Εικόνα 4. 7 Χαρακτηριστικά κεραίας Tallysman

4.4 ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Για την συλλογή των δεδομένων προκειμένου να γίνει η διαδικασία ελέγχου των κεραιών έγιναν μετρήσεις στην οροφή του Λαμπαδάριου. Σε αυτή τη διαδικασία, περιμετρικά γύρω από ένα σημείο γνωστών γεωδαιτικών συντεταγμένων τοποθετήθηκαν πολλοί δέκτες σε μικρή απόσταση από το γνωστό σημείο (1-2 μέτρα). Ο κεντρικός δέκτης είναι ο δέκτης αναφοράς (base) και οι γύρω δέκτες (rover) θα κάνουν μετρήσεις ταυτόχρονα με τον κεντρικό δέκτη. Ο έλεγχος κάθε κεραιάς θα γίνει συναρτήσει του κεντρικού δέκτη. Ως κεντρικός δέκτης επιλέχθηκε να είναι ο γεωδαιτικός δέκτης Trimble 5800.

4.4.1 ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΩΝ ΟΡΓΑΝΩΝ

Η θέση που επιλέχθηκε, δηλαδή η οροφή του Λαμπαδάριου κτηρίου, είχε τα χαρακτηριστικά που είναι απαραίτητα για δορυφορικές μετρήσεις. Αυτή η θέση παρείχε καλή ορατότητα, με μεγάλο μέρος του ουρανού χωρίς εμπόδια που θα κρύβουν δορυφόρους κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Επίσης δεν υπάρχουν κτήρια ή άλλα εμπόδια δίπλα από τους δέκτες που να δημιουργούν σφάλματα λόγω πολυανάκλασης του σήματος. Πιο συγκεκριμένα ο σχηματισμός με τον οποίο τοποθετήθηκαν οι δέκτες ήταν ο δέκτης αναφοράς στη θέση με τις γνωστές συντεταγμένες και άλλοι έξι δέκτες σε απόσταση δύο μέτρων περίπου από τον κεντρικό και γύρω από αυτόν σχηματίζοντας ένα εξάγωνο. Επιλέχθηκε η απόσταση αυτή από το δέκτη δεδομένου ότι η επίλυση της βάσης μεταξύ των δύο δεκτών που πραγματοποιείται με το λογισμικό ANTTTOOL προϋποθέτει μικρή απόσταση της τάξης των 1-2m . Ακόμη έγινε προσπάθεια οι έξι δέκτες να βρίσκονται σε αρκετή απόσταση μεταξύ τους ώστε να μην δημιουργούν σφάλματα παρεμβολής ο ένας στον άλλο. Όλα αυτά φαίνονται στην εικόνα 4.8 όπου είναι στο βάθος ο δέκτης αναφοράς και στους τρίποδες γύρω από αυτόν είναι οι υπόλοιποι δέκτες των οποίων οι μετρήσεις θα λυθούν σε σχέση με τις μετρήσεις του δέκτη αναφοράς.



Εικόνα 4. 8 Τοποθέτηση των οργάνων

4.4.2 ΟΙ ΔΕΚΤΕΣ

Όπως αναφέρθηκε οι δέκτες τοποθετήθηκαν σε έξι θέσεις όπου τοποθετήθηκαν τρίποδες και τρικόχλια πάνω στα οποία τοποθετούνται οι δέκτες. Ωστόσο τα δεδομένα των μετρήσεων που αποκτήθηκαν τελικά ήταν από τους πέντε από αυτούς και από το δέκτη αναφοράς. Έγινε προσπάθεια να χρησιμοποιηθούν δύο δέκτες (Trimble και Javad) οι οποίοι τελικά δεν κατέγραψαν μετρήσεις, λόγω παλαιότερου λογισμικού που διαθέτουν. Οι δέκτες που χρησιμοποιήθηκαν είναι ublox LEA-6T, ublox 7 NEO-7P, Trimble 5800, Leica 1200+ και Javad Triumph. Ο δέκτης αναφοράς ήταν Trimble 5800.

4.4.3 ΟΙ ΙΔΙΑΙΤΕΡΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ UBLOX

Για να καταγράψουν μετρήσεις οι ublox δέκτες χρειάζονταν υπολογιστές, οπότε στη διαδικασία των μετρήσεων αυτοί οι δέκτες ήταν συνδεδεμένοι ο καθένας με ένα φορητό υπολογιστή και σε αυτούς δημιουργήθηκε το αρχείο των μετρήσεων. Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων υπήρχε συνεχή παροχή ρεύματος στους υπολογιστές. Στην εικόνα 4.9 φαίνεται η συνδεσμολογία που χρησιμοποιήθηκε για τους δέκτες και τους υπολογιστές.



Εικόνα 4. 9 Υπολογιστές συνδεδεμένοι με τους δέκτες ublox

Οι δύο κεραίες πλοήγησης τοποθετήθηκαν πάνω στο βάθρο με τρικόχλιο εξαναγκασμένης κέντρωσης. Η κεραία Tallysman είναι τοποθετημένη σε ανακλαστική επιφάνεια με καθρέφτη (εικόνα 4.10^α) ενώ στη κεραία LEA-6T χρειάστηκε να φτιαχτεί μία ανακλαστική επιφάνεια χρησιμοποιώντας χαρτόνι και αλουμινόχαρτο που φαίνεται στην εικόνα 4.10β. Αυτό απαιτείται από τους κατασκευαστές κεραιών πλοήγησης για την μείωση σφαλμάτων λόγω πολυανάκλασης σήματος κυρίως από το έδαφος. Οι γεωδαιτικές κεραίες διαθέτουν στην κατασκευή τους τέτοια διάταξη.



Εικόνα 4. 10α Κεραία Tallysman (δέκτης ublox 7)



Εικόνα 4. 10β Κεραία LEA-6T (δέκτης ublox 6)

4.4.4 ΟΙ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στις 7 Δεκεμβρίου 2017. Η συνολική διάρκεια των μετρήσεων ήταν περίπου 1.30 ώρες όπως φαίνεται στο Πίνακα 4.1.

Για να παρατηρηθεί πως αντιδρούν οι κεραίες σε εσκεμμένο σφάλμα πολυανάκλασης σήματος (multipath), δημιουργήθηκε μια επιφάνεια με έντονη ανακλαστικότητα (τοποθέτηση αλουμινόχαρτου σε λεπτή ξύλινη επιφάνεια) η οποία τοποθετήθηκε πολύ κοντά στους δέκτες όπως φαίνεται στις εικόνες 4.11 και 4.12.

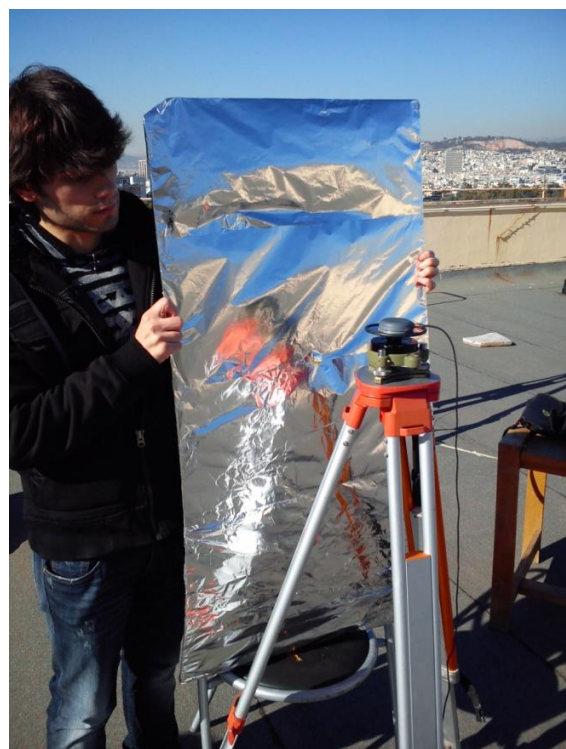
Στον κάθε δέκτη έγινε η διαδικασία με την δημιουργία σφάλματος για περίπου δέκα με δώδεκα λεπτά. Οι δέκτες μέτραγαν χωρίς καμία παρέμβαση από την έναρξη δηλαδή 11:30 πμ έως στις 12:39μμ (τοπική ώρα). Από αυτή την ώρα ξεκίνησε η τοποθέτηση της ανακλαστικής επιφάνειας στους δέκτες.

Δέκτες	Trimble	Leica	Javad	Ublox 6	Ublox 7
Έναρξη κανονική λειτουργία	11:30	11:30	11:30	11:30	11:30
Λήξη κανονική λειτουργία	13:23	13:11	12:49	13:00	12:38
Έναρξη με σφάλμα	13:24	13:12	12:50	13:01	12:39
Λήξη με σφάλμα	13:36	13:23	13:00	13:11	12:49

Πίνακας 4. 1 Διαδικασία των μετρήσεων



Εικόνα 4. 11 Ανακλαστική επιφάνεια



Εικόνα 4. 12 Δημιουργία σφάλματος

Κεφάλαιο 5 - Ανάλυση αποτελεσμάτων

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται η ανάλυση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την επεξεργασία των δεδομένων που συλλέχθηκαν. Περιγράφεται η διαδικασία εισαγωγής των δεδομένων στα κατάλληλα προγράμματα καθώς και τα αποτελέσματα που εξάγονται από αυτά μαζί με σχολιασμό αυτών.

5.2 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΠΟ ΤΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ

Αφού έγιναν οι μετρήσεις και συλλέχθηκαν τα επιθυμητά δεδομένα ακολούθησε η επεξεργασία τους με τα κατάλληλα λογισμικά (βλ. Κεφάλαιο 3). Τα προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν το RTKLIB και στη συνέχεια το ANTTTOOL προκειμένου να γίνει ο έλεγχος των δεκτών βάσει των δεδομένων που συλλέχθηκαν.

5.2.1 ΧΡΗΣΗ RTKLIB

Από το RTKLIB χρησιμοποιήθηκαν οι εφαρμογές RTKCONV και το RTKPOST. Η εφαρμογή που χρησιμοποιήθηκε περισσότερο ήταν η RTKCONV η οποία χρησιμοποιεί τα πρωτογενή αρχεία των μετρήσεων δεκτών σε μορφή RINEX. Σημειώνεται ότι για τη χρήση του λογισμικού ANTTTOOL είναι απαραίτητο όλα τα αρχεία να είναι σε μορφή RINEX.

Τα αρχεία των ublox δεκτών, δηλαδή του ublox 6 και ublox 7, δεν ήταν σε μορφή RINEX οπότε έπρεπε να μετατραπούν. Συνεπώς εισήχθηκαν τα συγκεκριμένα αρχικά αρχεία (raw data) στο RTKCONV, όπου αυτό κάνοντας τις απαραίτητες ρυθμίσεις τα μετέτρεψε σε RINEX δηλαδή ένα αρχείο παρατήρησης (observation file) και ένα πλοήγησης (navigation file). Οι ρυθμίσεις που αναφέρθηκαν αφορούν επιλογές του χρήστη ως προς το είδος των αρχείων, τον τύπο του δέκτη, από ποια συστήματα εντοπισμού να συμπεριλάβει μετρήσεις (πχ GPS, GLONASS, κτλ), αν και αυτό συνήθως δεν είναι σημαντικό καθώς και άλλες προαιρετικές επιλογές. Τα αρχεία από τους άλλους δέκτες δε χρειάζονταν μετατροπή γιατί υπήρχε η δυνατότητα από τα αντίστοιχα προγράμματα που συνόδευαν τους δέκτες να κατεβάσουν τις μετρήσεις στον υπολογιστή και να αποθηκευτούν απευθείας σε μορφή RINEX.

Όμως εκτός από τη μετατροπή αρχείων σε άλλη μορφή, αυτό το πρόγραμμα ήταν απαραίτητο και για τη δημιουργία διαφορετικών αρχείων μετρήσεων. Πιο αναλυτικά, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα τοποθετήθηκε πολύ κοντά στον κάθε δέκτη μία ανακλαστική επιφάνεια με σκοπό τη

δημιουργία σφάλματος πολυανάκλασης (βλ. Κεφ 4). Οπότε δημιουργήθηκε η ανάγκη να διαχωριστεί το αρχικό αρχείο σε δύο νέα, όπου το ένα θα αφορούσε τις μετρήσεις για το διάστημα που ο δέκτης μέτραγε χωρίς παρέμβαση και το άλλο θα περιέχει τις μετρήσεις που έγιναν με την ανακλαστική επιφάνεια. Για να γίνει αυτό, η διαδικασία δεν είναι ιδιαίτερα διαφορετική από τη μετατροπή των αρχείων σε άλλη μορφή. Εισάγεται στο πρόγραμμα το αρχείο σε μορφή RINEX (ή και άλλη μορφή αν είναι επιθυμητό) και ως τελική μορφή ορίζεται πάλι RINEX όμως η διαφορά είναι ότι χρησιμοποιείται μια επιλογή που επιτρέπει να οριστεί την ώρα που θα ξεκινήσουν οι μετρήσεις στο αρχείο και την ώρα που θα τελειώσουν. Οπότε αφού είναι γνωστές οι ώρες που μέτραγαν τα όργανα με και χωρίς την ανακλαστική επιφάνεια μπορούν να οριστούν στο RTKLIB και να δημιουργηθούν τα νέα αρχεία. Ο δέκτης αναφοράς δεν δέχθηκε καμία παρέμβαση κατά τη διάρκεια όλης αυτής της διαδικασίας οπότε θα έχει ένα αρχείο, το οποίο θα ξεκινά από την αρχή των μετρήσεων και θα τελειώνει όταν σταματά να μετρά και ο τελευταίος δέκτης.

Η άλλη εφαρμογή που χρησιμοποιήθηκε είναι η RTKPOST προκειμένου να γίνει επίλυση στατικού εντοπισμού. Παρόλο που δεν απαιτείται από το ANTTTOOL να υπάρχει για κάθε στάση του δέκτη ακριβής θέση, έγινε επίλυση των μετρήσεων του κάθε δέκτη σε σχέση με τον δέκτη αναφοράς. Η διαδικασία επίλυσης κρίθηκε σημαντική ώστε να διαπιστωθεί ότι δεν υπήρχε κάποιο πρόβλημα με τις μετρήσεις ή με το αρχείο. Επιπλέον, έπρεπε να διαπιστωθεί ότι δεν υπήρχαν μεγάλα σφάλματα (πχ μεγάλα υπόλοιπα στις διαφορές φάσης) και τέλος να ελεγχθεί η απόσταση κάθε δέκτη από τον δέκτη αναφοράς. Ακόμη υπολογίστηκαν και οι συντεταγμένες του κεντρικού δέκτη γιατί χρειάζονται κατά τη χρήση του ANTTTOOL.

5.2.2 ΧΡΗΣΗ ANTTTOOL

Μετά την αρχική επεξεργασία των μετρήσεων, τα δεδομένα εισάγονται στο antest (είναι υπορουτίνα του ANTTTOOL) ώστε να γίνει ο υπολογισμός των παραμέτρων των κεραίων.

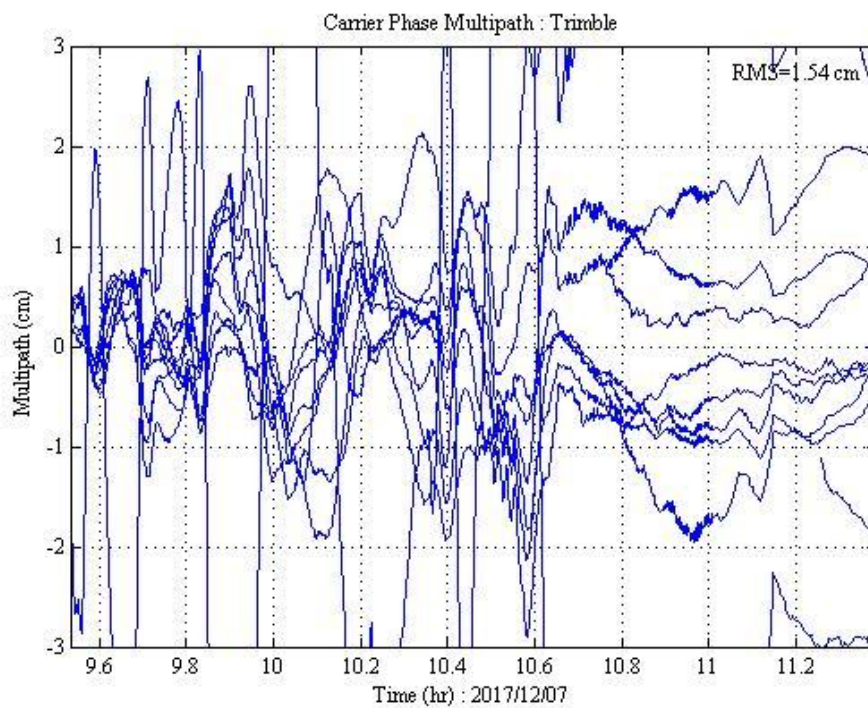
Καταρχάς τα αρχεία RINEX εισάχθηκαν στη βιβλιοθήκη της MATLAB, όπου όλα τοποθετήθηκαν στον ίδιο φάκελο για να είναι πιο εύκολο να δηλωθούν στις εντολές. Για να μπορεί η MATLAB να χρησιμοποιήσει τα προγράμματα του ANTTTOOL πρέπει να ενεργοποιηθούν στη βιβλιοθήκη της, κάνοντας δεξί κλικ στο φάκελο με αυτά τα προγράμματα και μετά στην επιλογή add to path. Το ίδιο ισχύει και για το φάκελο με τα δεδομένα. Έπειτα από αυτή τη διαδικασία είναι δυνατή η επεξεργασία των μετρήσεων με σκοπό τον υπολογισμό των στοιχείων των δεκτών χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα antest και ορίζοντας τη θέση των αρχείων που θα χρησιμοποιηθούν. Οπότε είναι προς το συμφέρον του χρήστη να μην χρησιμοποιήσει πολλούς φακέλους μέσα σε φακέλους για να μην γίνεται πολύπλοκη η εντολή εισόδου και να είναι εύκολο να βρεθούν τα δεδομένα. Όταν ολοκληρωθεί η επεξεργασία των δεδομένων από την εφαρμογή antest θα υπάρχει ως αποτέλεσμα ένα αρχείο mat ή ένα αρχείο out, ανάλογα με το τι θα επιλέξει ο χρήστης, το πρώτο έχει απλά τις παραμέτρους που υπολογίστηκαν καθώς και κάποιες που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό αυτών το δεύτερο όμως μπορεί να χρησιμοποιηθεί από την εφαρμογή antplot για να σχεδιάσει διαγράμματα. Έχοντας λοιπόν και τα δύο αρχεία

έγινε χρήση του anplot δίνοντας το όνομα του αρχείου που αντιστοιχεί στην επιλεγμένη κεραία και καθορίζοντας τι διάγραμμα θα σχεδιάσει. Τελικά για το κάθε αρχείο μετρήσεων RINEX που δημιουργήθηκε για τον κάθε δέκτη με και χωρίς την ανακλαστική επιφάνεια έγινε σχεδίαση των διαγραμμάτων για τα στοιχεία που πρέπει να υπολογιστούν για τη βαθμονόμηση.

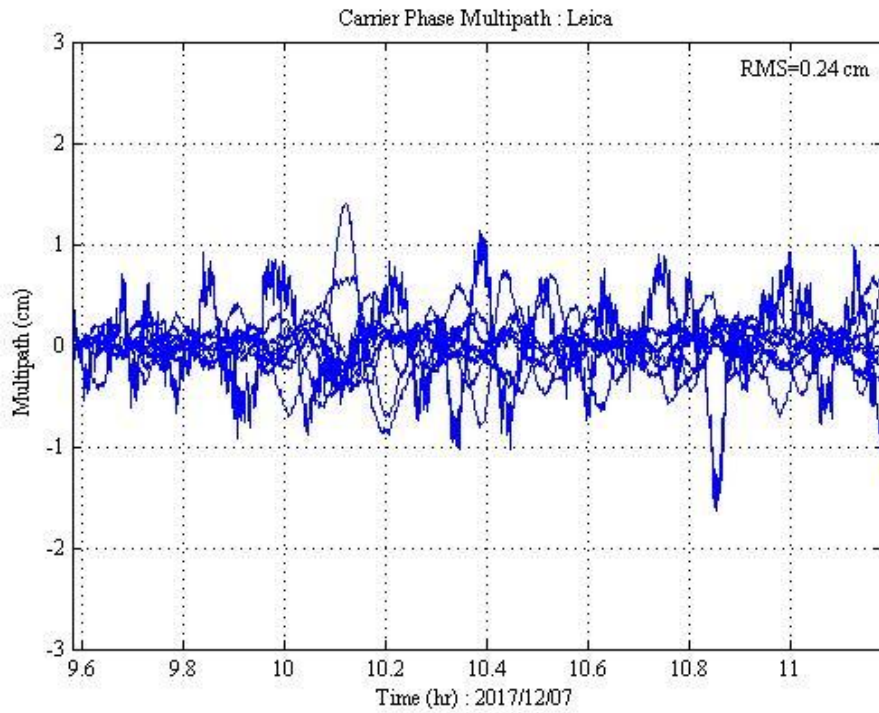
5.3 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ

Τα αποτελέσματα που αποκτήθηκαν από το anplot είναι διαγράμματα για το σφάλμα πολυανάκλασης του σήματος και του κώδικα καθώς και το λόγο της ισχύος του σήματος ως προς τον θόρυβο.

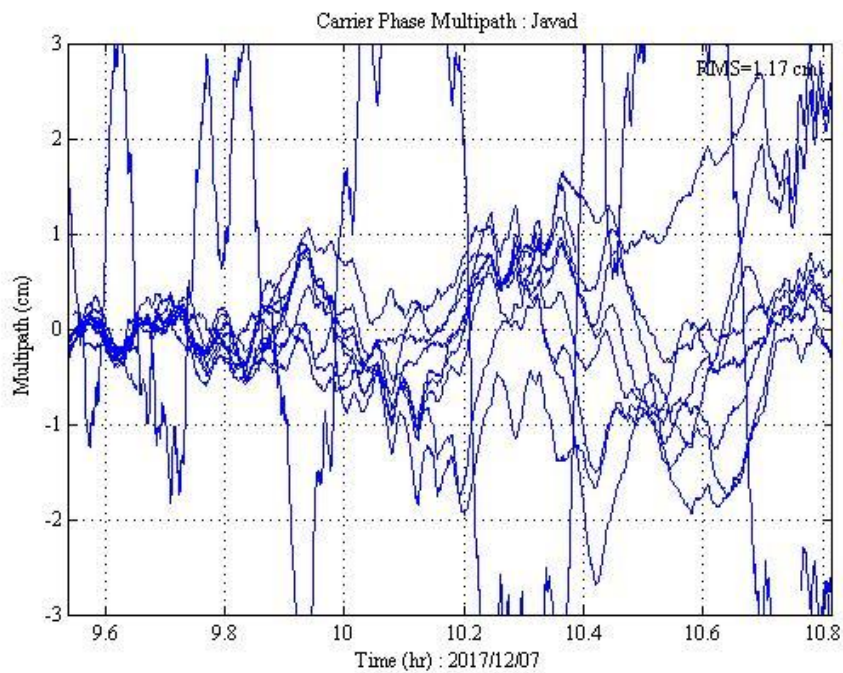
5.3.1 ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΠΟΛΥΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΤΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ



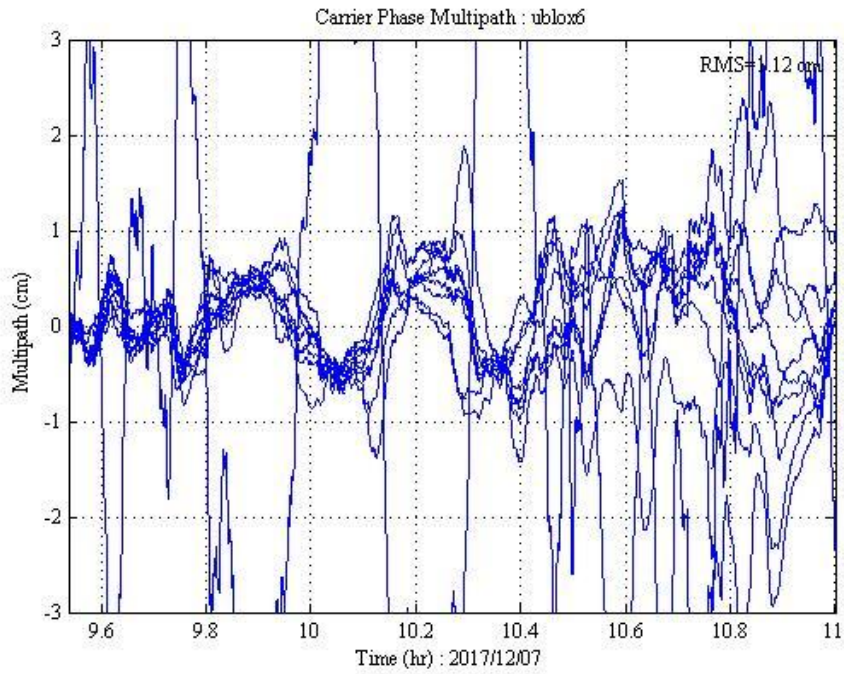
Εικόνα 5. 1 Σχέση του σφάλματος πολυανάκλασης του σήματος με τον χρόνο για τον δέκτη Trimble



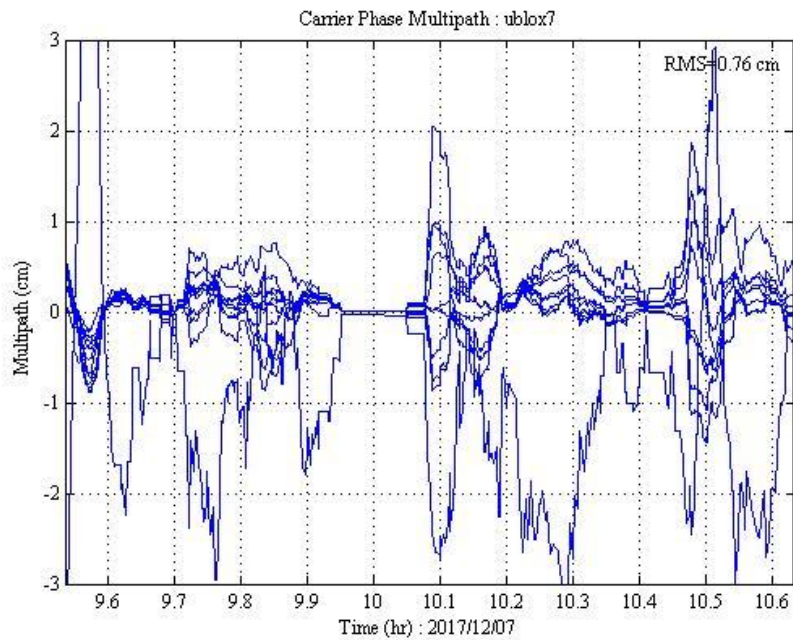
Εικόνα 5. 2 Σχέση του σφάλματος πολυανάκλασης του σήματος με τον χρόνο για τον δέκτη Leica



Εικόνα 5. 3 Σχέση του σφάλματος πολυανάκλασης του σήματος με τον χρόνο για τον δέκτη Javad



Εικόνα 5. 4 Σχέση του σφάλματος πολυανάκλασης του σήματος με τον χρόνο για τον δέκτη ublox 6



Εικόνα 5. 5 Σχέση του σφάλματος πολυανάκλασης του σήματος με τον χρόνο για τον δέκτη ublox 7

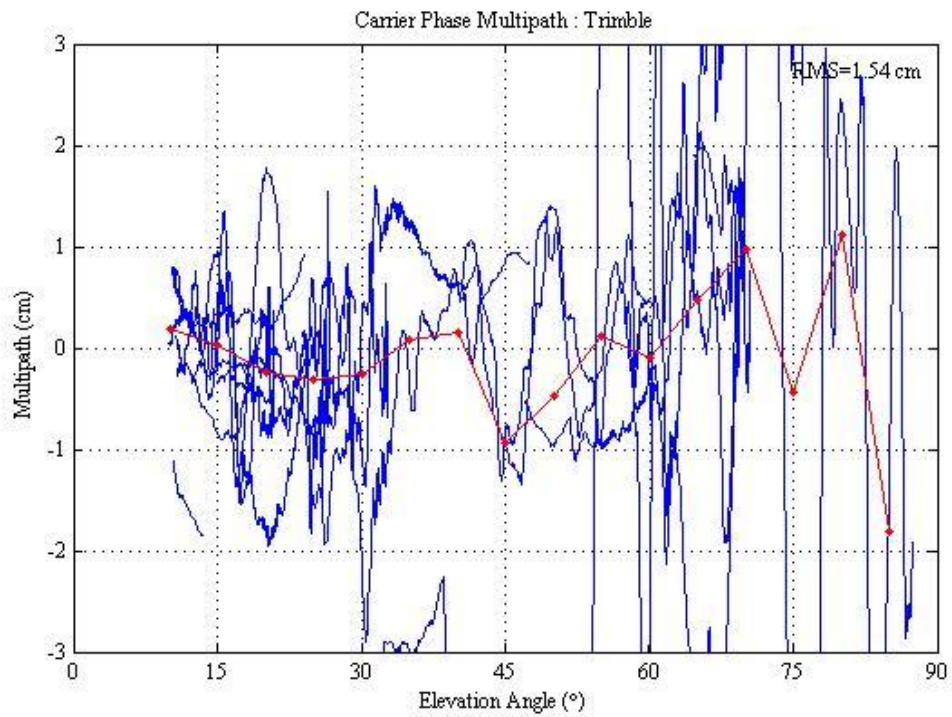
Τα διαγράμματα αυτά παρουσιάζουν το σφάλμα πολυανάκλασης του σήματος στην πάροδο του χρόνου για τον κάθε δέκτη ξεχωριστά οπότε μπορεί να γίνει σύγκριση μεταξύ τους. Με μια πρώτη ματιά είναι εμφανές ότι ο δέκτης της Leica έχει μικρότερο σφάλμα από τους υπόλοιπους και πιο ομαλό. Ακόμη όλοι οι δέκτες φαίνεται να έχουν παρόμοια σφάλματα στις ανάλογες χρονικές στιγμές. Αν συγκρίνουμε τους δέκτες ublox μεταξύ τους τότε είναι εμφανές ότι ο ublox 7 έχει μικρότερο σφάλμα, που οφείλεται στη χρήση της κεραίας tallysman. Επίσης παρατηρείται ότι τα RMS (Residual Mean Square) των γεωδαιτικών δεκτών, εκτός του Leica, είναι κοντά στο ublox 6 και ο ublox 7 έχει μικρότερο RMS από αυτούς που πιθανότατα επίσης οφείλεται στην κεραία tallysman.

Στον πίνακα 5.1 δίνονται τα RMS του σφάλματος για κάθε τύπο δέκτη. Παρατηρείται ότι οι κεραίες του δέκτη Leica 1200 και ublox 7 φιλτράρουν καλύτερα από τις υπόλοιπες τα ανεπιθύμητα σήματα λόγω πολυανάκλασης.

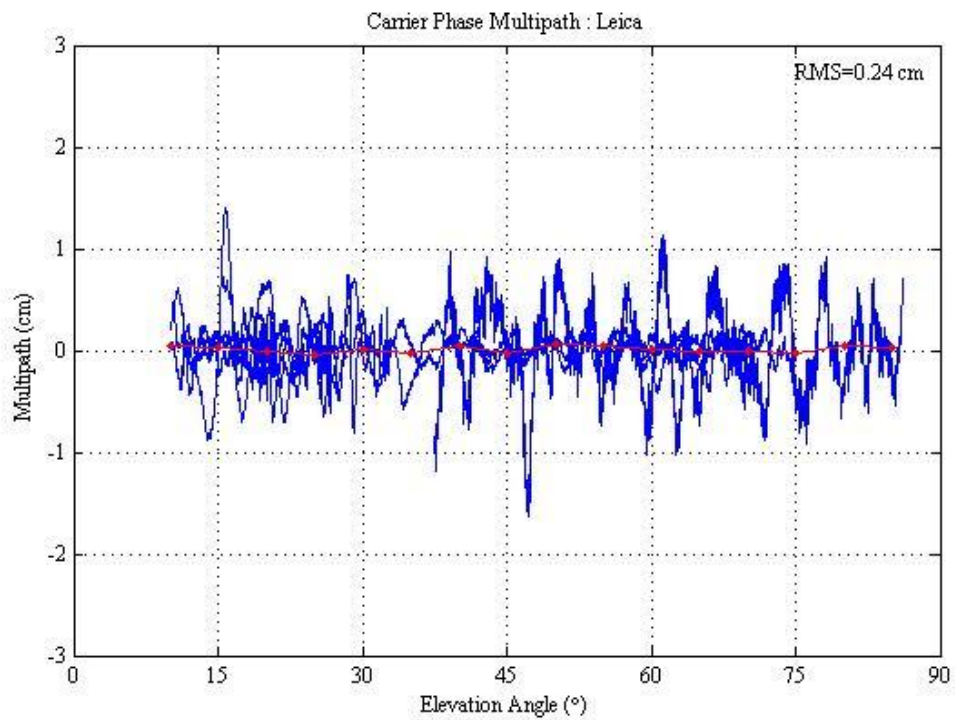
Τύπος Δέκτη	RMS (cm)
Trimble 5800	1.54
Leica 1200	0.24
Javad Triumph	1.17
Ublox 6	1.12
Ublox 7	0.76

Πίνακας 5. 1 RMS σφάλματος πολυανάκλασης του σήματος για κάθε τύπο δέκτη

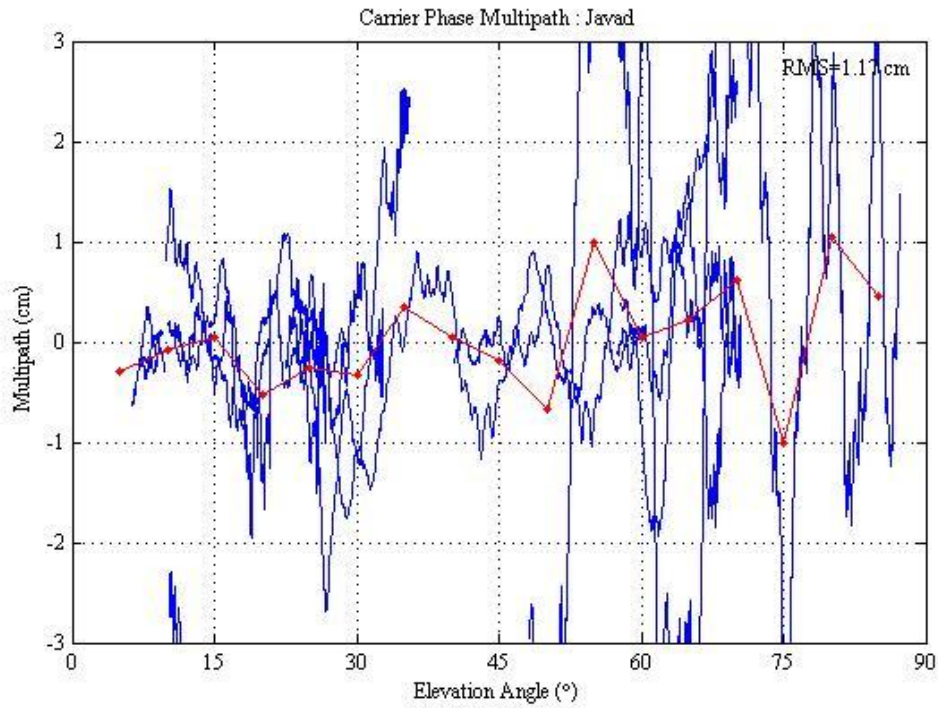
Τα επόμενα διαγράμματα αφορούν το σφάλμα πολυανάκλασης του σήματος σε σχέση με τη γωνία που δέχεται το σήμα ο δέκτης.



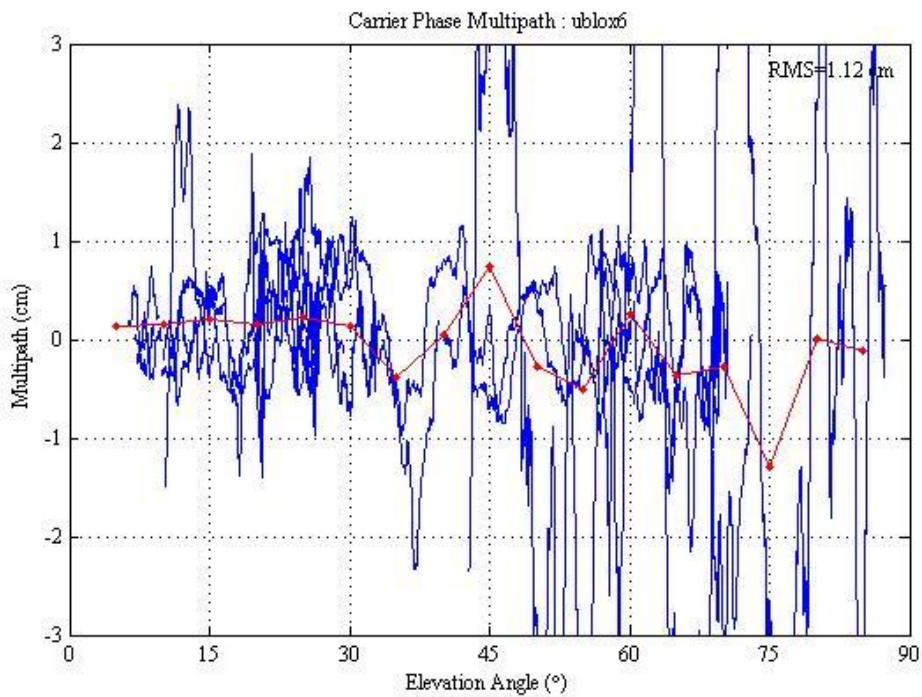
Εικόνα 5. 6 Σφάλμα πολυανάκλασης του σήματος σε σχέση με τη γωνία που δέχεται το σήμα ο δέκτης Trimble



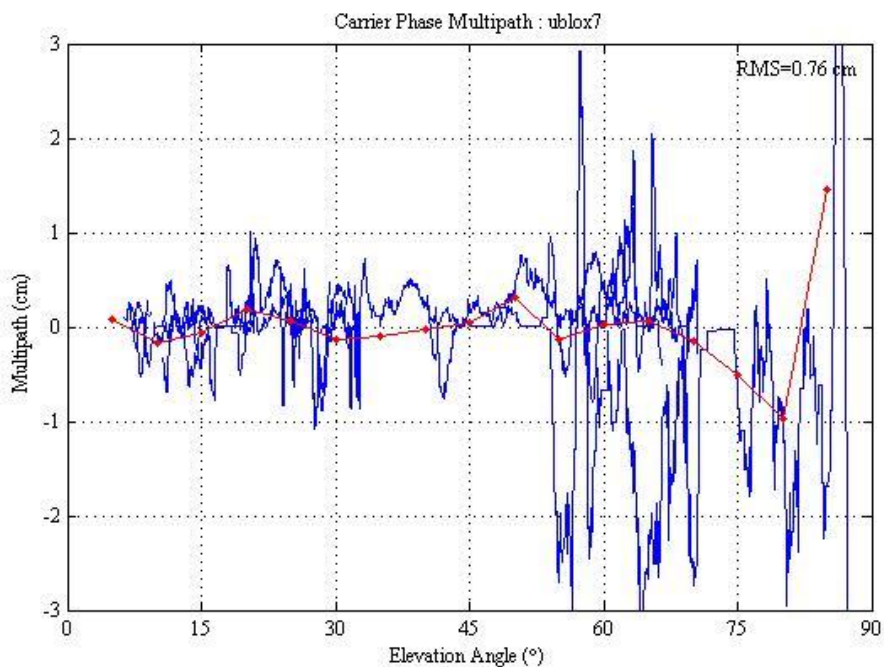
Εικόνα 5. 7 Σφάλμα πολυανάκλασης του σήματος σε σχέση με τη γωνία που δέχεται το σήμα ο δέκτης Leica



Εικόνα 5. 8 Σφάλμα πολυανάκλασης του σήματος σε σχέση με τη γωνία που δέχεται το σήμα ο δέκτης Javad



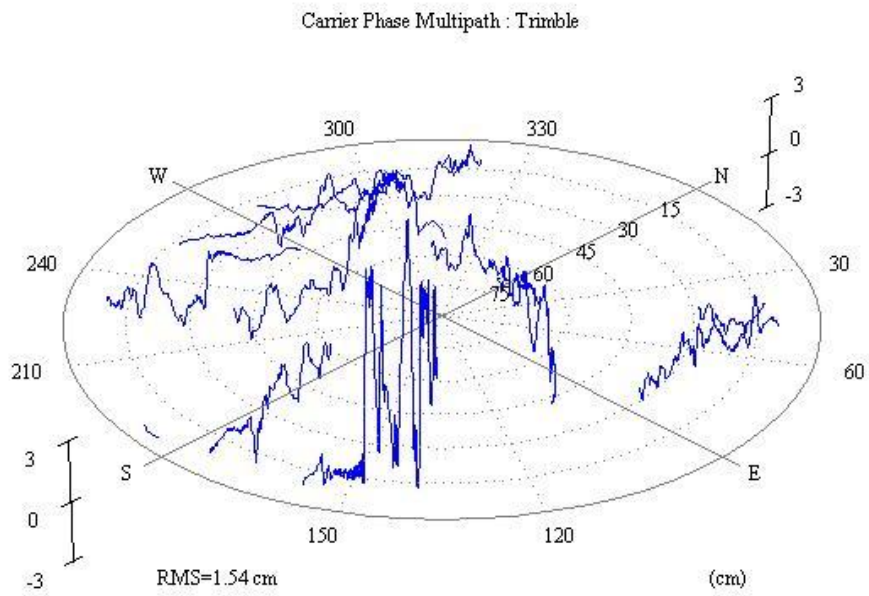
Εικόνα 5. 9 Σφάλμα πολυανάκλασης του σήματος σε σχέση με τη γωνία που δέχεται το σήμα ο δέκτης ublox 6



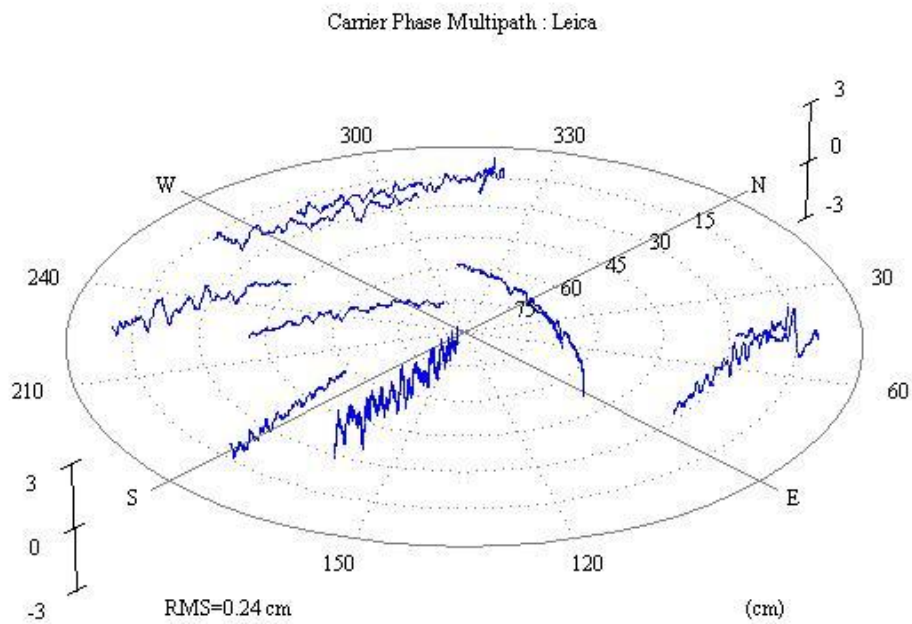
Εικόνα 5. 10 Σφάλμα πολυανάκλασης του σήματος σε σχέση με τη γωνία που δέχεται το σήμα ο δέκτης ublox 7

Και σε αυτή την περίπτωση, η πρώτη παρατήρηση είναι ότι το εύρος του σφάλματος του δέκτη Leica είναι εμφανώς μικρότερο από τους υπόλοιπους. Τα σφάλματα εμφανίζουν παρόμοια μοτίβα στα διαγράμματα από όλους τους δέκτες σε σχέση με τη γωνία. Τα RMS είναι τα ίδια όπως στον Πίνακα 5.1 οπότε ισχύουν ίδιες παρατηρήσεις όπως στα προηγούμενα διαγράμματα.

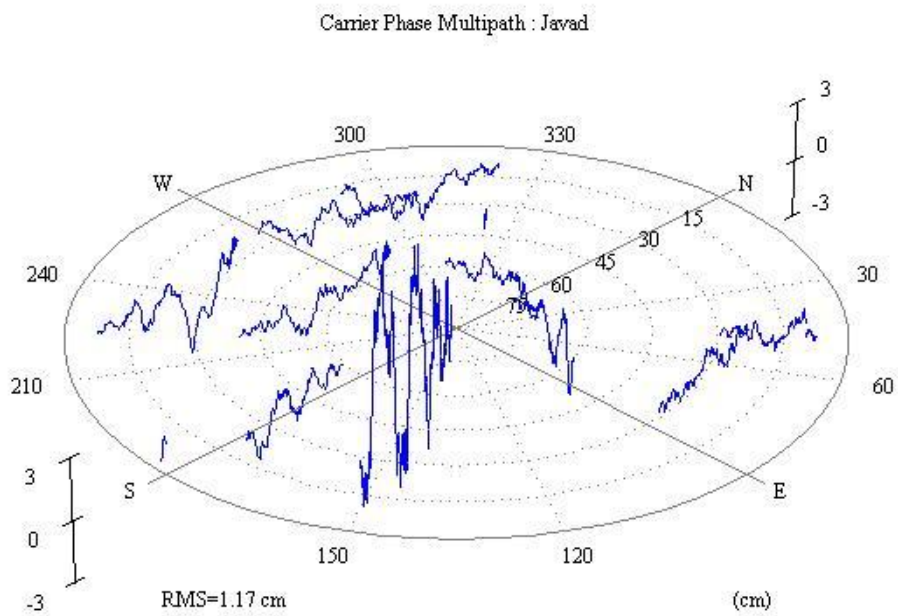
Η τελευταία σειρά διαγραμμάτων αφορά την παρουσίαση του σφάλματος πολυανάκλασης σήματος σε μορφή skyplot.



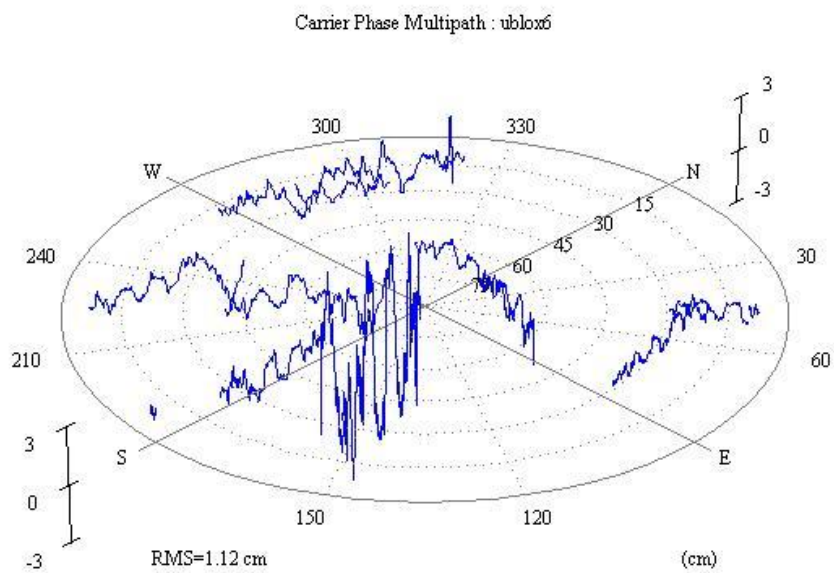
Εικόνα 5. 11 Σφάλμα πολυανάκλασης σήματος για τον δέκτη Trimble



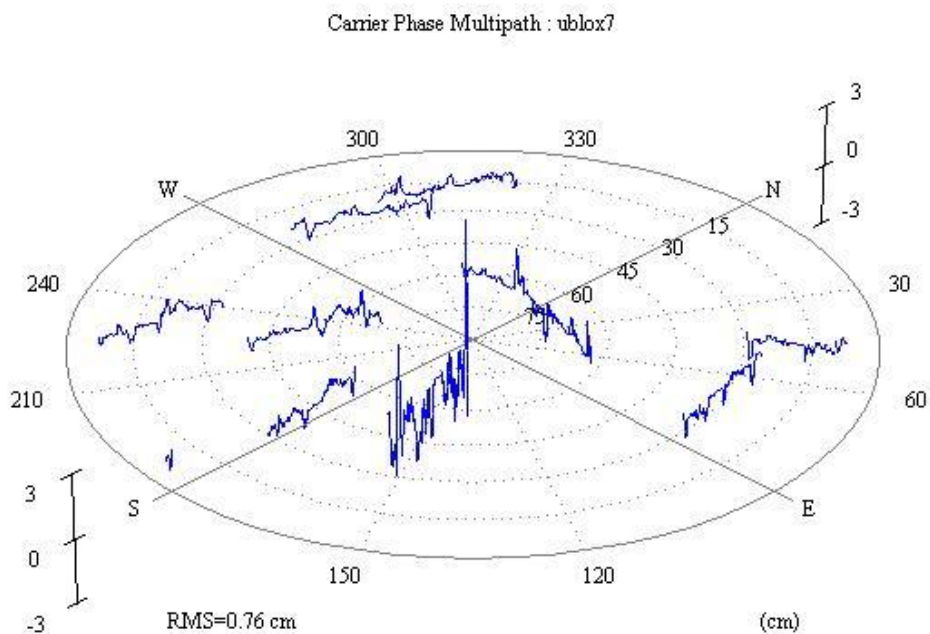
Εικόνα 5. 12 Σφάλμα πολυανάκλασης σήματος για τον δέκτη Leica



Εικόνα 5. 13 Σφάλμα πολυανάκλασης σήματος για τον δέκτη Javad



Εικόνα 5. 14 Σφάλμα πολυανάκλασης σήματος για τον δέκτη ublox 6

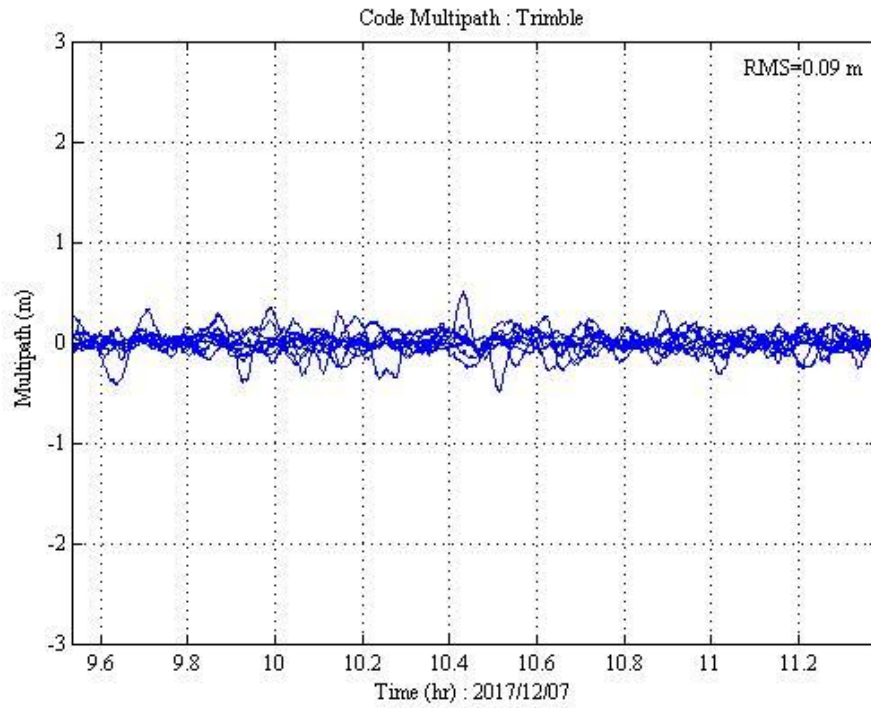


Εικόνα 5. 15 Σφάλμα πολυανάκλασης σήματος για τον δέκτη ublox7

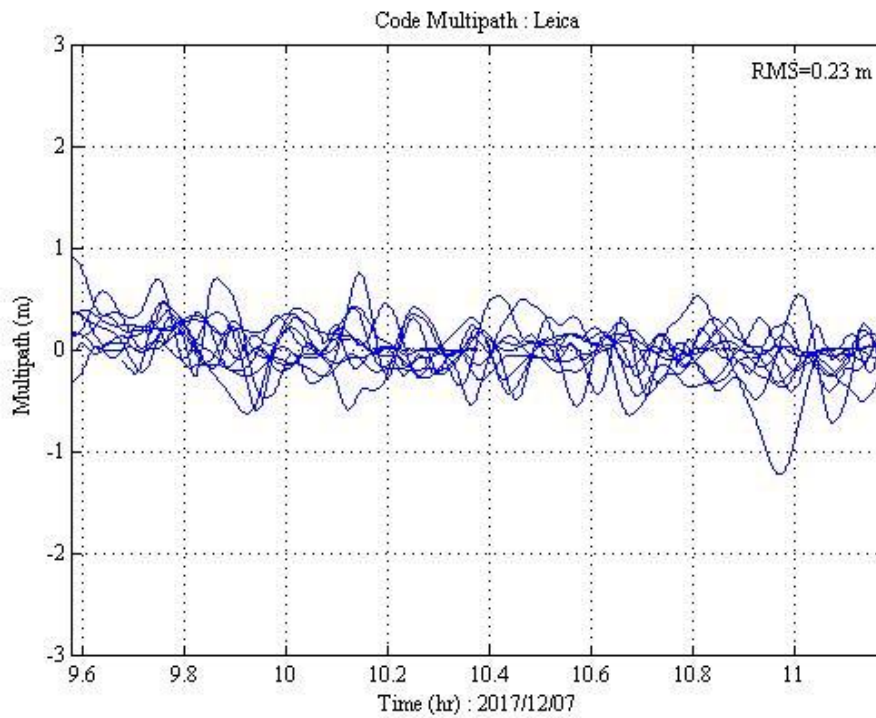
Στα διαγράμματα αυτά παρουσιάζεται το σφάλμα πολυανάκλασης που δημιουργείται από τον κάθε δορυφόρο λόγω της θέσης του σε σχέση με τον δέκτη. Και εδώ μπορεί να παρατηρηθεί ότι συμφωνούν με τα προηγούμενα διαγράμματα, δεδομένου ότι και στα τρία απεικονίζεται το σφάλμα πολυανάκλασης σήματος αλλά με διαφορετικό τρόπο. Διαπιστώνεται πάλι ότι ο δέκτης Leica έχει μικρότερο σφάλμα από τους υπόλοιπους. Επίσης σε αυτά τα διαγράμματα μπορεί να φανεί πιο καθαρά πως υπάρχει ένας δορυφόρος που δημιουργεί πολύ μεγαλύτερο σφάλμα από τους υπόλοιπους. Σε άλλους δέκτες αυτό παρουσιάζεται πιο έντονο και σε άλλους λιγότερο. Τα υπόλοιπα σχόλια που έγιναν στις προηγούμενες δύο περιπτώσεις ισχύουν και σε αυτή.

5.3.2 ΣΦΑΛΜΑ ΠΟΛΥΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΤΟΥ ΚΩΔΙΚΑ

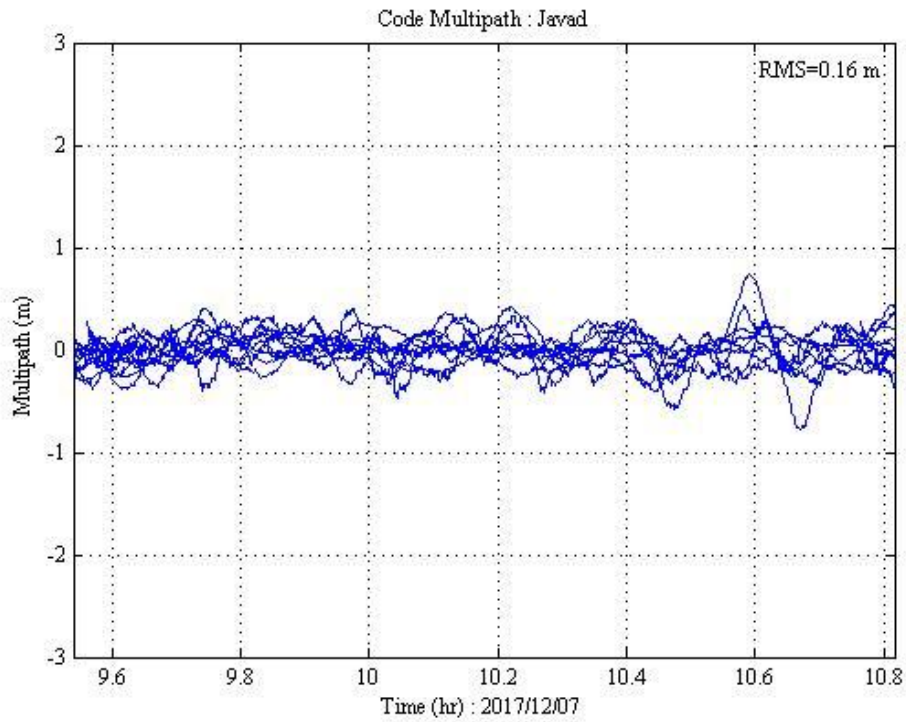
Στη συνέχεια υπάρχει το διάγραμμα του σφάλματος πολυανάκλασης του κώδικα ως προς τον χρόνο.



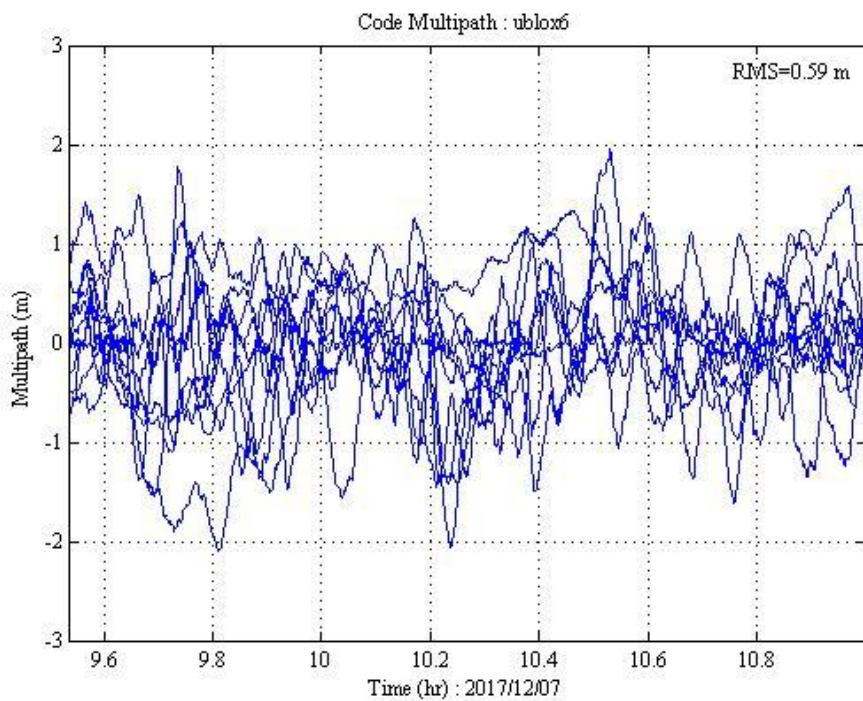
Εικόνα 5. 16 Σχέση του σφάλματος πολυανάκλασης του κώδικα με τον χρόνο για τον δέκτη Trimble



Εικόνα 5. 17 Σχέση του σφάλματος πολυανάκλασης του κώδικα με τον χρόνο για τον δέκτη Leica

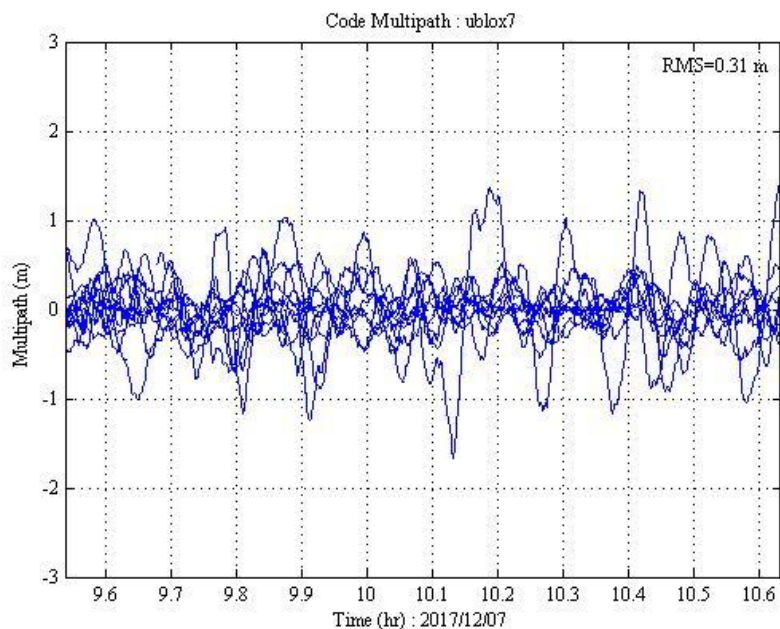


Εικόνα 5. 18 Σχέση του σφάλματος πολυανάκλασης του κώδικα με τον χρόνο για τον δέκτη Javad



Εικόνα 5. 19 Σχέση του σφάλματος πολυανάκλασης του κώδικα με τον χρόνο για τον δέκτη ublox 6

Εικόνα 5.19



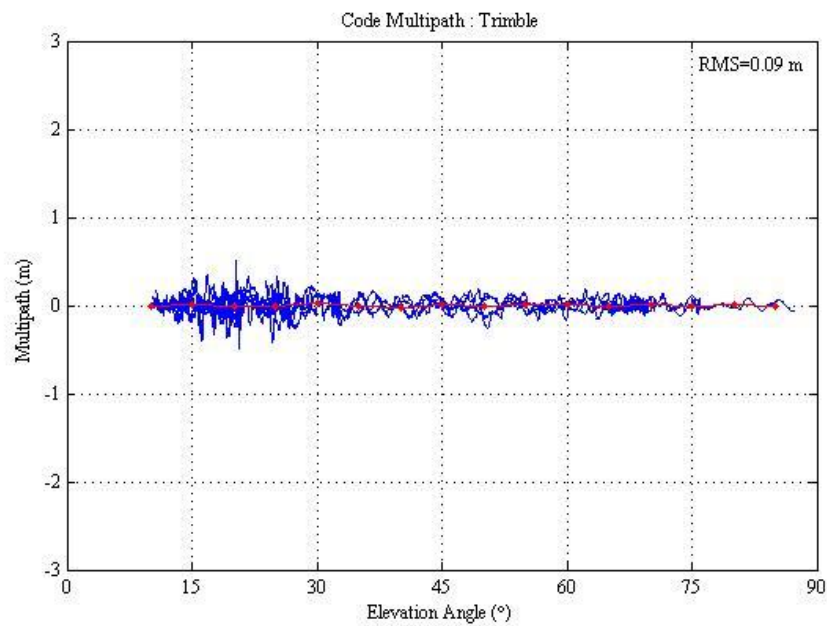
Εικόνα 5. 20 Σχέση του σφάλματος πολυανάκλασης του κώδικα με τον χρόνο για τον δέκτη ublox 7

Στα παραπάνω διαγράμματα είναι ξεκάθαρο ότι το σφάλμα πολυανάκλασης του κώδικα σε σχέση με τον χρόνο που μέτραγαν οι δέκτες είναι μεγαλύτερο συγκριτικά με το αντίστοιχο του σήματος. Συγκεκριμένα οι ublox δέκτες έχουν μεγαλύτερο σφάλμα σε σχέση με τους υπόλοιπους καθώς και ότι ο ublox 7 έχει μικρότερο σφάλμα από τον 6 (βλ. Πίνακα 5.2). Οι γεωδαιτικές κεραιές υπερέχουν των κεραιών πλοήγησης (δέκτες ublox) και σε αυτή την περίπτωση. Τα σφάλματα με την πάροδο του χρόνου είναι πιο σταθερά από αυτά του σήματος και παρατηρείται ότι σχεδόν σε όλο το διάγραμμα το εύρος του σφάλματος είναι ίδιο, σε αντίθεση με το διάγραμμα του σφάλματος πολυανάκλασης του σήματος όπου υπήρχαν κάποιες ακραίες τιμές σε κάποια τμήματα και πολύ μικρότερες σε άλλα.

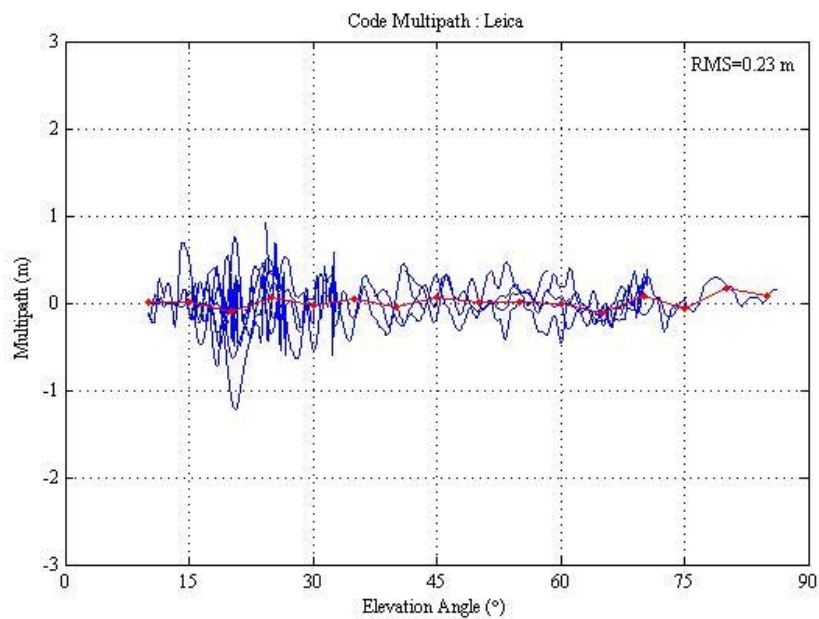
Τύπος δέκτη	RMS (cm)
Trimble 5800	9
Leica 1200	23
Javad Triumph	16
Ublox 6	59
Ublox 7	31

Πίνακας 5. 2 RMS σφάλματος πολυανάκλασης κώδικα για κάθε τύπο δέκτη

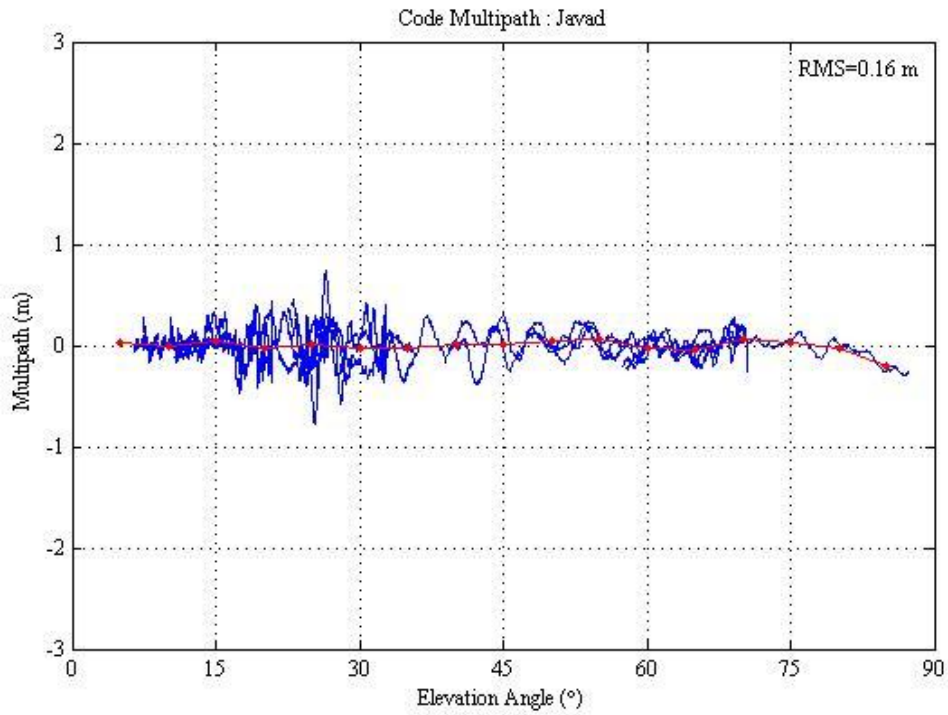
Η επόμενη σειρά διαγραμμάτων απεικονίζουν το σφάλμα πολυανάκλασης κώδικα σε σχέση με τη γωνία του σήματος.



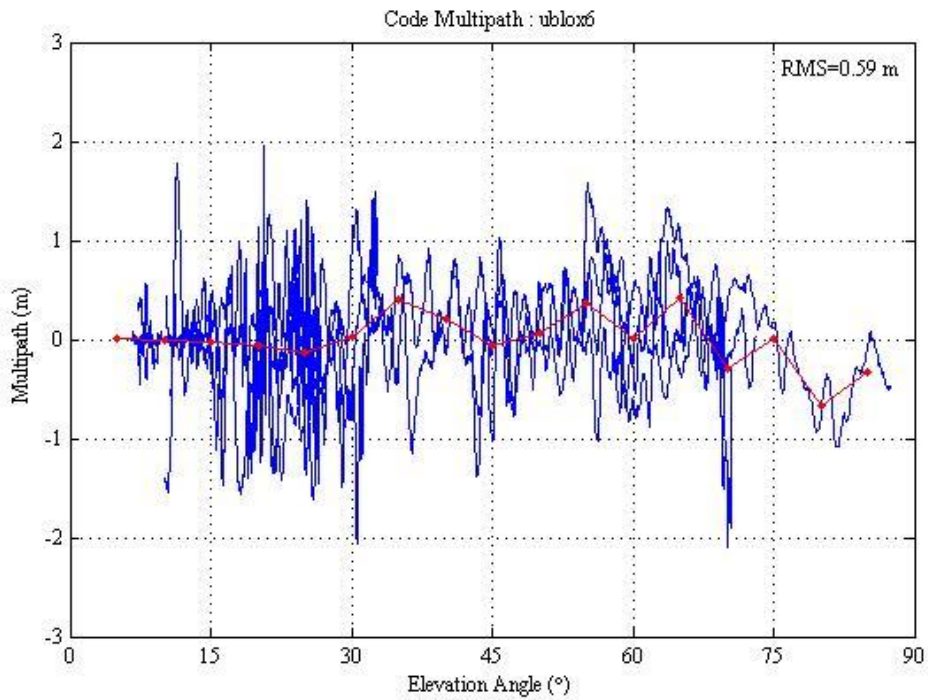
Εικόνα 5. 21 Σφάλμα πολυανάκλασης κώδικα σε σχέση με τη γωνία που δέχεται το σήμα ο δέκτης Trimble



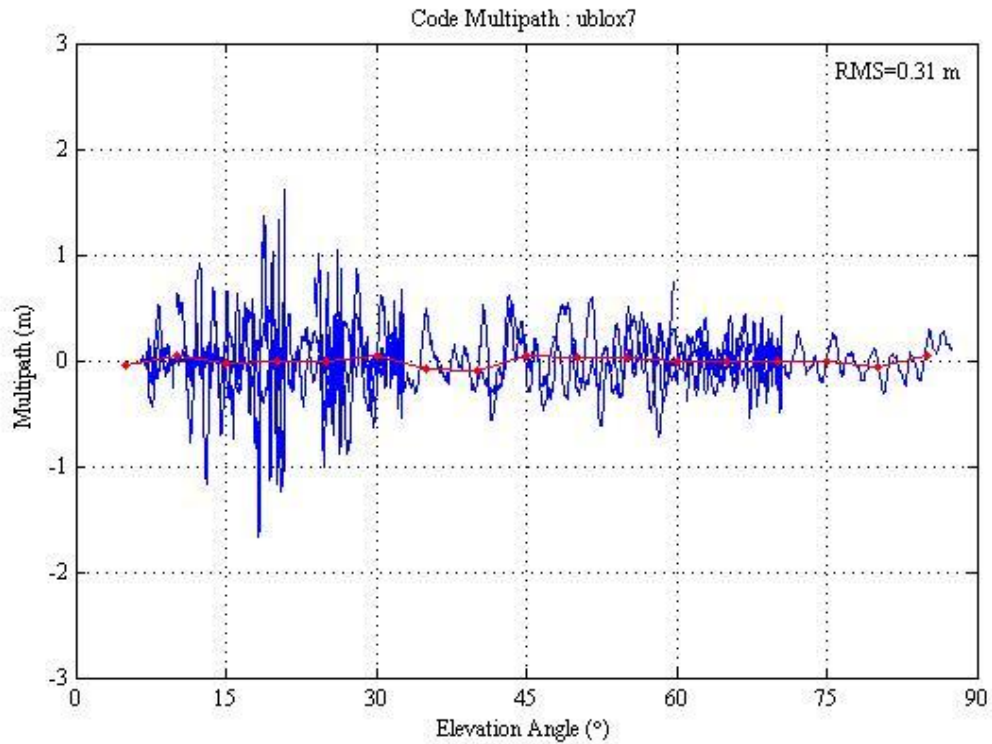
Εικόνα 5. 22 Σφάλμα πολυανάκλασης κώδικα σε σχέση με τη γωνία που δέχεται το σήμα ο δέκτης Leica



Εικόνα 5. 23 Σφάλμα πολυανάκλασης κώδικα σε σχέση με τη γωνία που δέχεται το σήμα ο δέκτης Javad



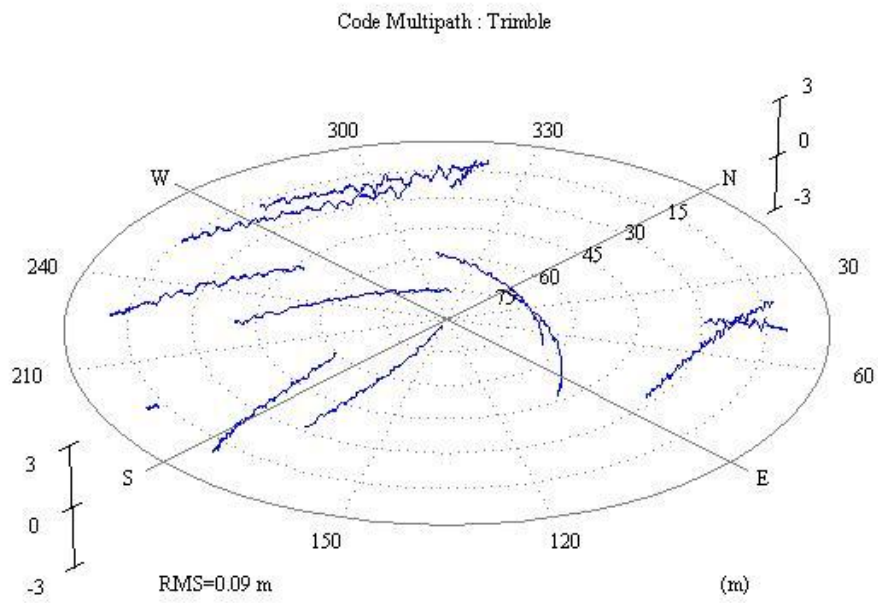
Εικόνα 5. 24 Σφάλμα πολυανάκλασης κώδικα σε σχέση με τη γωνία που δέχεται το σήμα ο δέκτης ublox 6



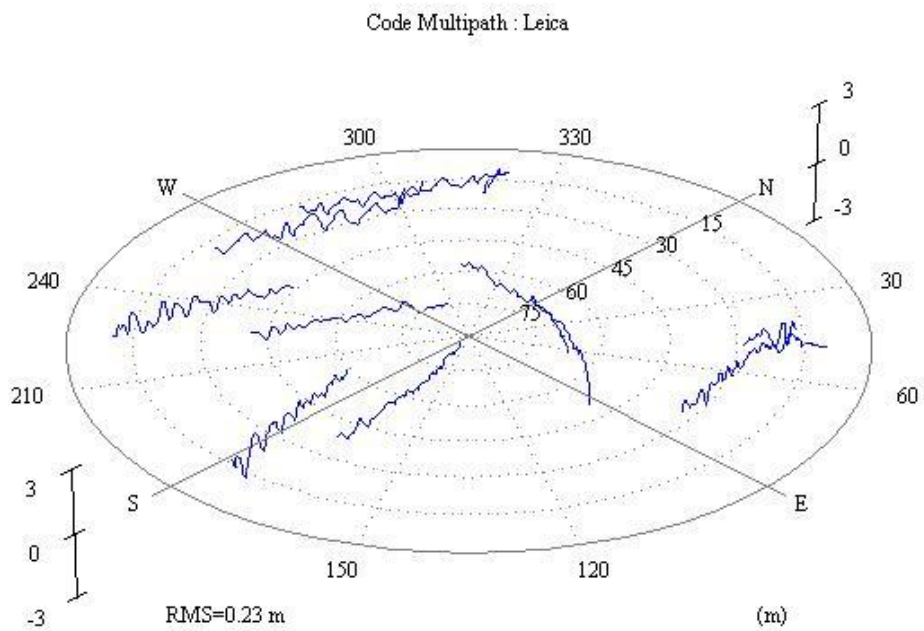
Εικόνα 5. 25 Σφάλμα πολυανάκλασης κώδικα σε σχέση με τη γωνία που δέχεται το σήμα ο δέκτης ublox 7

Στα παραπάνω διαγράμματα φαίνεται ότι η μέση τιμή του σφάλματος (σημειώνεται με κόκκινη γραμμή) είναι ομαλή για όλες τις γεωδαιτικές κεραίες ακόμα και για την κεραία Tallysman. Η χρήση μη γεωδαιτικής κεραίας εισάγει έντονα σφάλματα όπως φαίνεται στη περίπτωση της κεραίας του ublox 6.

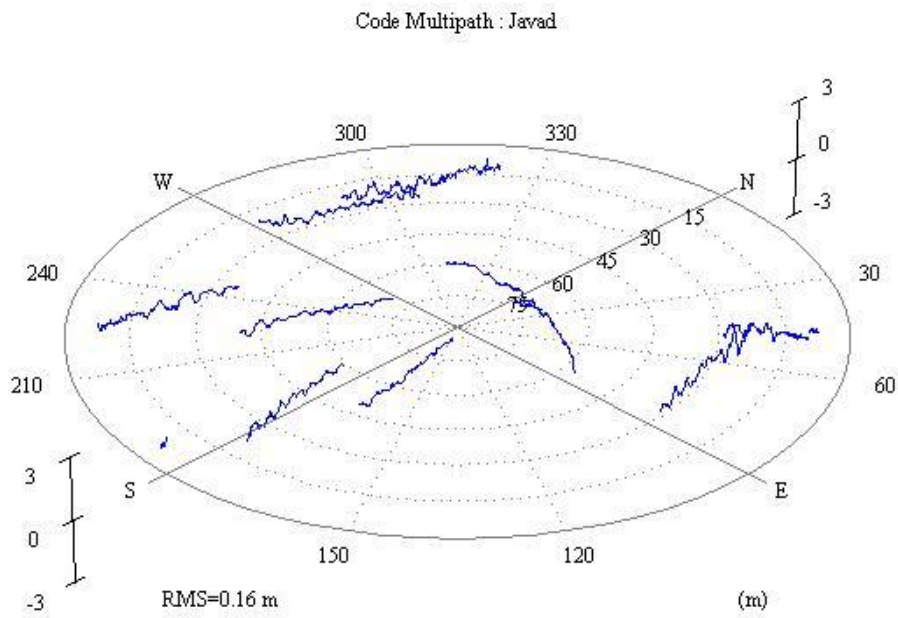
Η τελευταία σειρά διαγραμμάτων αφορά στην παρουσίαση του σφάλματος πολυανάκλασης του κώδικα σε μορφή skyplot.



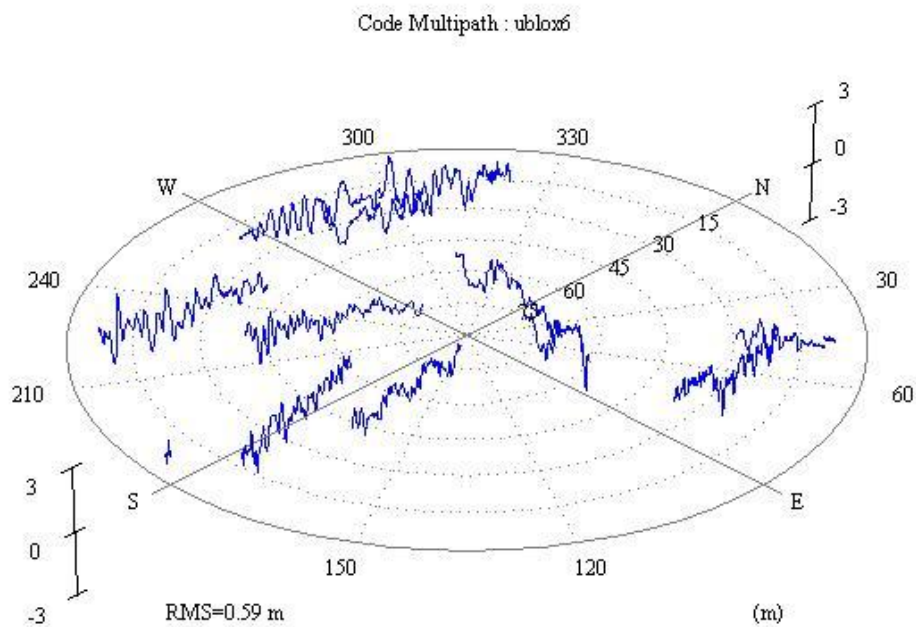
Εικόνα 5. 26 Σφάλμα πολυανάκλασης κώδικα για τον δέκτη Trimble



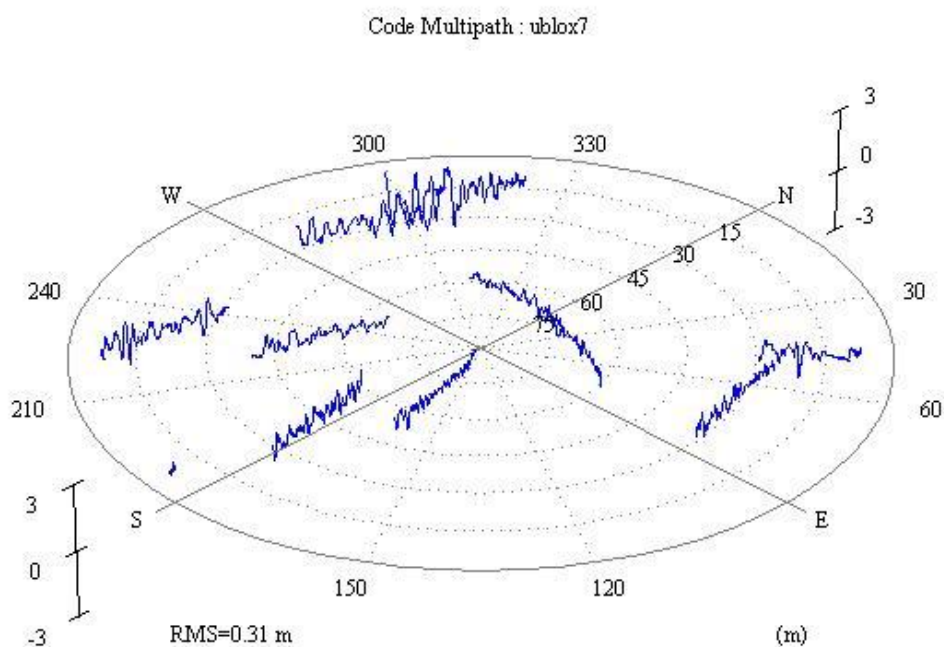
Εικόνα 5. 27 Σφάλμα πολυανάκλασης κώδικα για τον δέκτη Leica



Εικόνα 5. 28 Σφάλμα πολυανάκλασης κώδικα για τον δέκτη Javad



Εικόνα 5. 29 Σφάλμα πολυανάκλασης κώδικα για τον δέκτη ublox 6



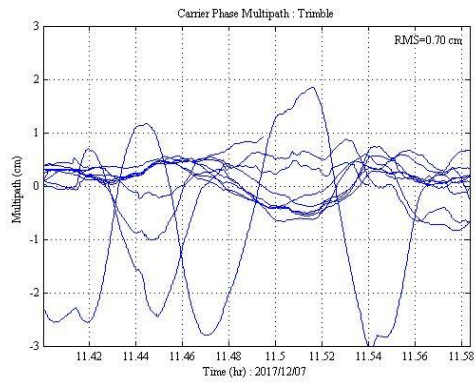
Εικόνα 5. 30 Σφάλμα πολυανάκλασης κώδικα για τον δέκτη ublox 7

Στα διαγράμματα αυτά απεικονίζεται το σφάλμα πολυανάκλασης του κώδικα για τον κάθε δορυφόρο ανάλογα με τη θέση του σε σχέση με τον δέκτη. Και σε αυτό το είδος διαγραμμάτων παρατηρείται η ίδια εικόνα δηλαδή οι δέκτες ublox να έχουν μεγαλύτερο σφάλμα από τους άλλους και ο ublox 7 να έχει μικρότερο από τον 6. Σε σύγκριση με τα skyplot του σφάλματος πολυανάκλασης σήματος, εδώ δεν διακρίνεται κάποιος δορυφόρος να δίνει μεγαλύτερο σφάλμα σε σχέση με τους υπόλοιπους δορυφόρους. Δηλαδή τα σφάλματα του κάθε δορυφόρου δεν έχουν μεγάλες διαφορές μεταξύ τους σε αντίθεση με το σφάλμα πολυανάκλασης σήματος.

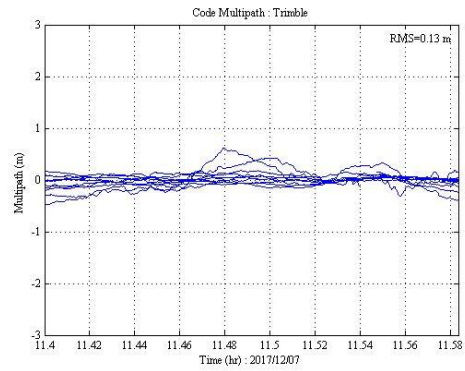
5.3.3 ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΠΟΛΥΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΛΟΓΩ ΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ

Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 4, χρησιμοποιήθηκε μια ανακλαστική επιφάνεια για να προκαλέσει επιπλέον σφάλμα πολυανάκλασης για τους πέντε δέκτες του πειράματος. Τα διαγράμματα που δίνονται παρακάτω είναι σε διαφορετική χρονική περίοδο και δε έχουν όλα την ίδια χρονική διάρκεια.

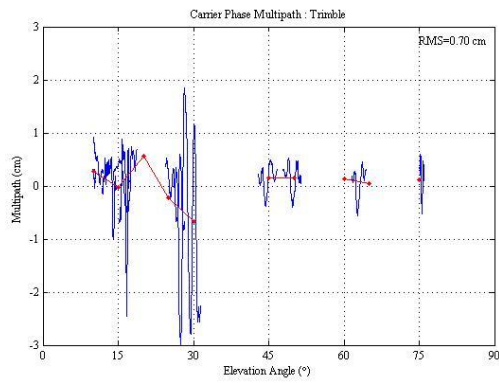
Τα διαγράμματα του σφάλματος λόγω πολυανάκλασης που προκύπτουν για τον δέκτη Trimble είναι:



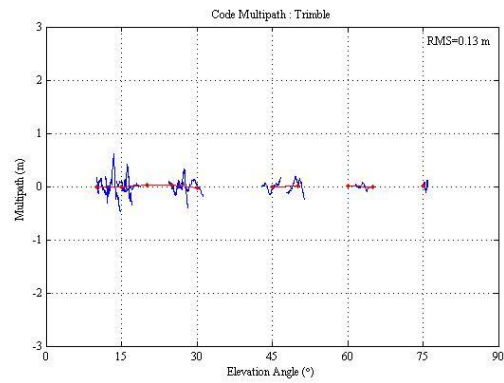
Εικόνα 5. 31 Πολυανάκλαση σήματος



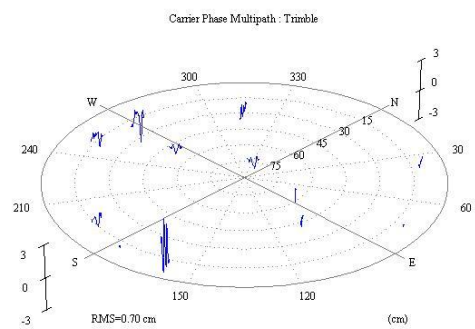
Εικόνα 5. 32 Πολυανάκλαση κώδικα



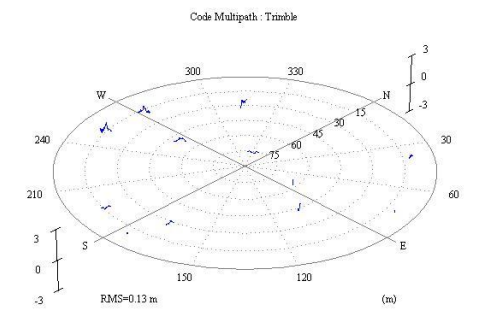
Εικόνα 5. 33 Σήματος σε σχέση με γωνία



Εικόνα 5. 34 Κώδικα σε σχέση με γωνία

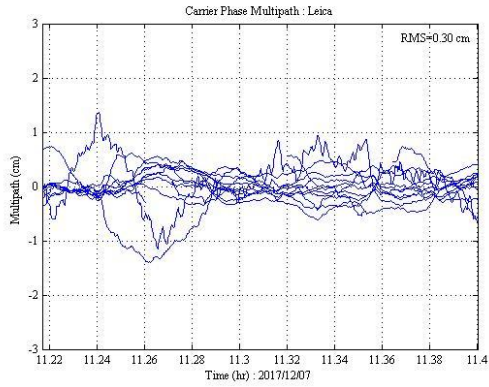


Εικόνα 5. 35 Skyplot σήματος



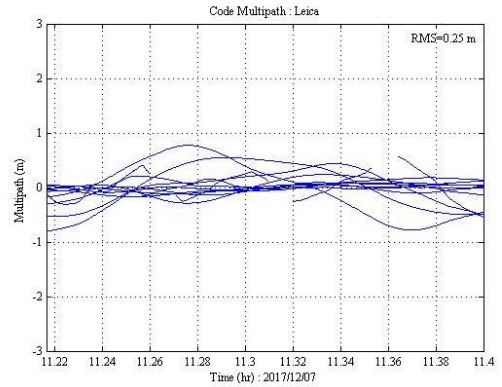
Εικόνα 5. 36 Skyplot κώδικα

Για τον δέκτη της Leica τα διαγράμματα που προκύπτουν είναι :



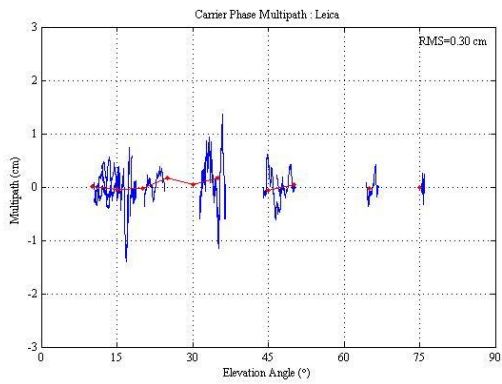
Εικόνα 5. 37 Πολυανάκλαση σήματος

Εικόνα 5.37

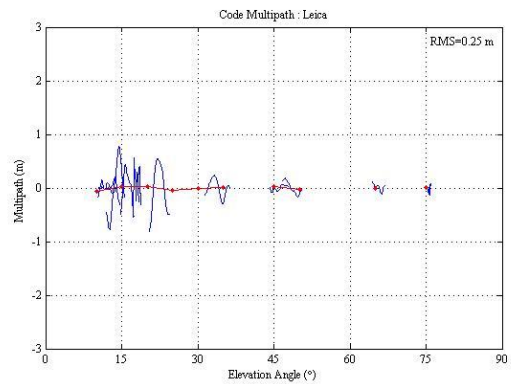


Εικόνα 5. 38 Πολυανάκλαση κώδικα

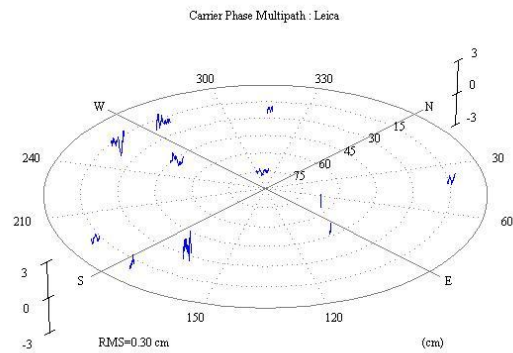
Εικόνα 5.38



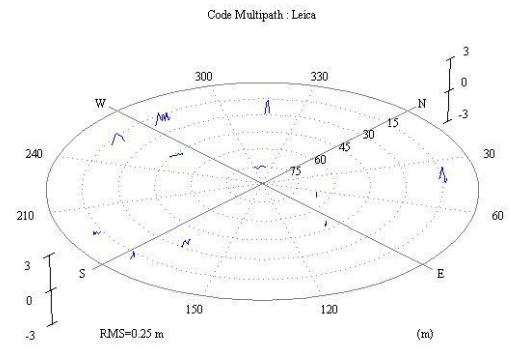
Εικόνα 5. 39 Σήματος σε σχέση με γωνία



Εικόνα 5. 40 Κώδικα σε σχέση με γωνία

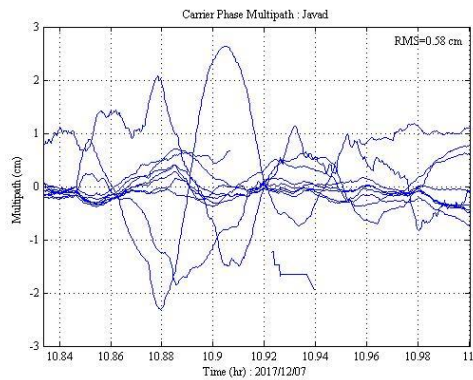


Εικόνα 5. 41 Skyplot σήματος

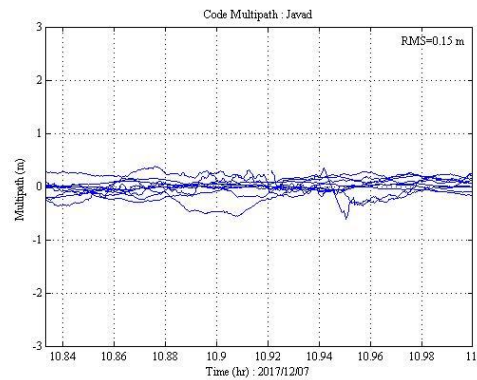


Εικόνα 5. 42 Skyplot κώδικα

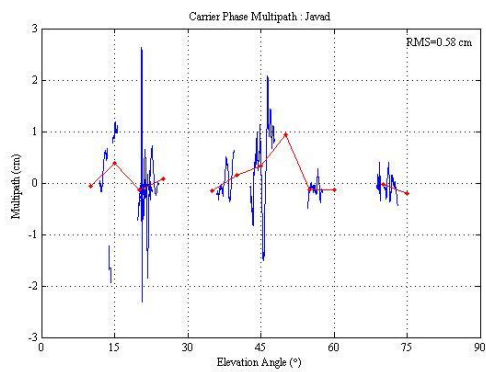
Τα διαγράμματα για τον δέκτη Javad με την ανακλαστική επιφάνεια είναι:



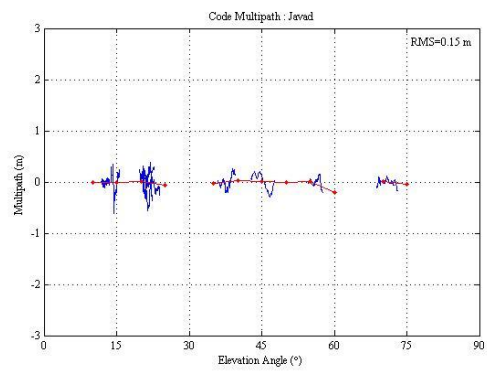
Εικόνα 5. 43 Πολυανάκλαση σήματος



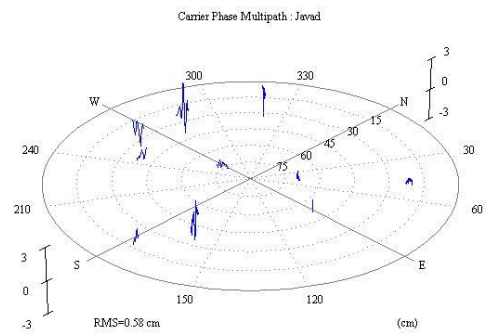
Εικόνα 5. 44 Πολυανάκλαση κώδικα



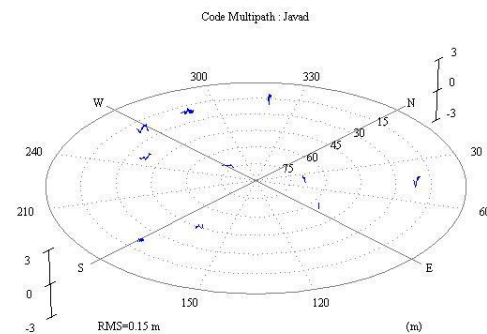
Εικόνα 5. 45 Σήματος σε σχέση με γωνία



Εικόνα 5. 46 Κώδικα σε σχέση με γωνία

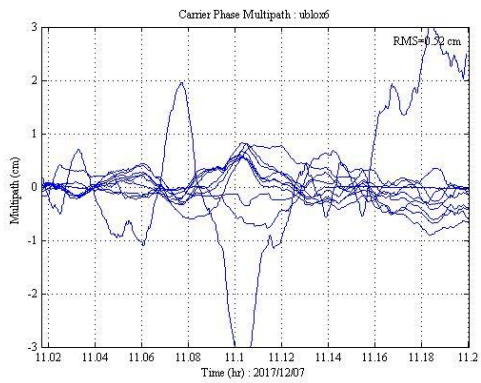


Εικόνα 5. 47 Skyplot σήματος

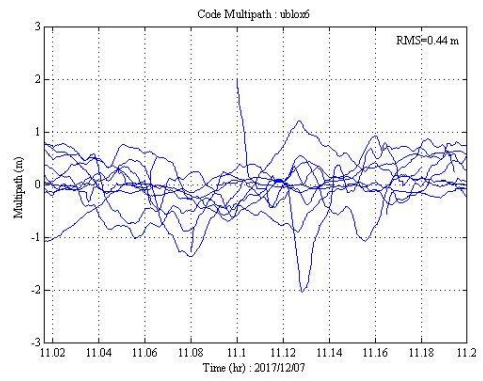


Εικόνα 5. 48 Skyplot κώδικα

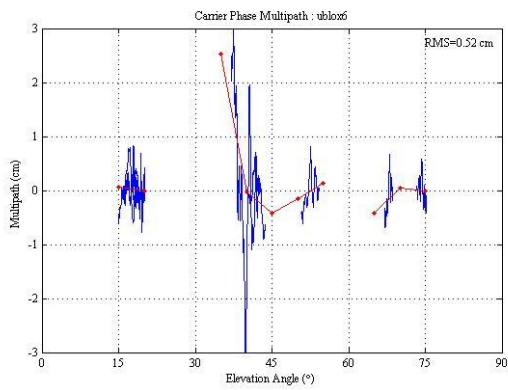
Για τον δέκτη ublox 6 τα διαγράμματα που δημιουργήθηκαν είναι:



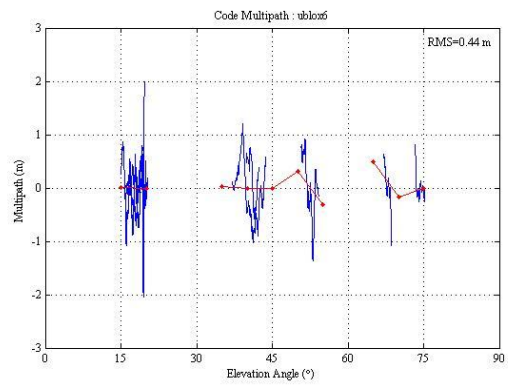
Εικόνα 5. 49 Πολυανάκλαση σήματος



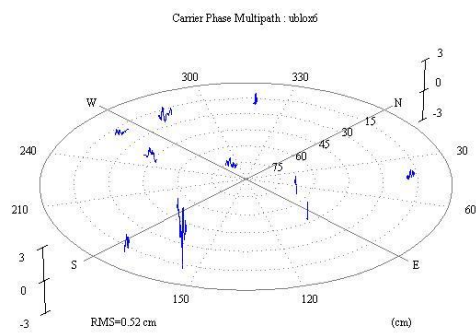
Εικόνα 5. 50 Πολυανάκλαση κώδικα



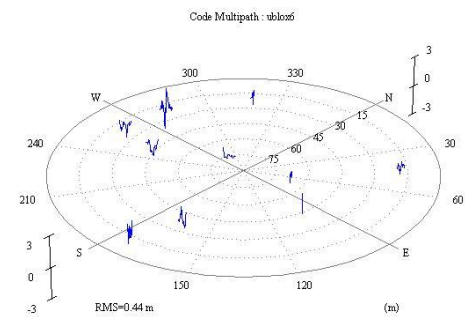
Εικόνα 5. 51 Σήματος σε σχέση με γωνία



Εικόνα 5. 52 Κώδικα σε σχέση με γωνία

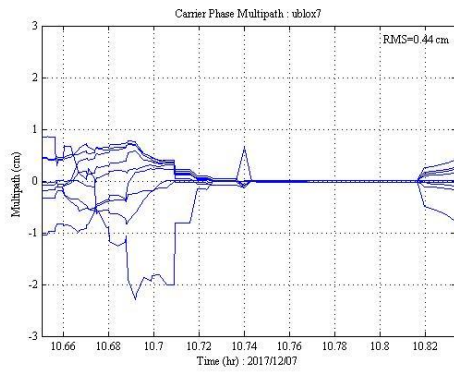


Εικόνα 5. 53 Skyplot σήματος

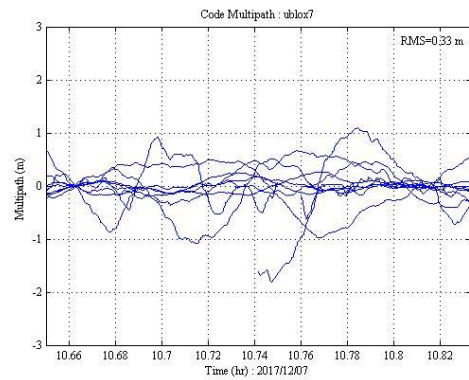


Εικόνα 5. 54 Skyplot κώδικα

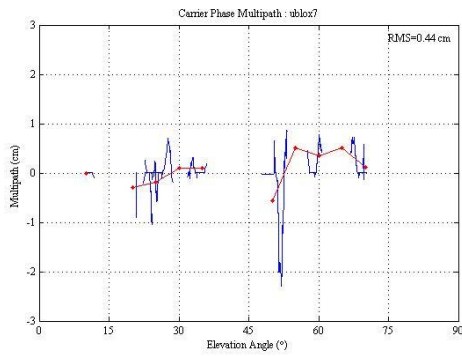
Για τον δέκτη ublox 7 τα διαγράμματα που προκύπτουν είναι:



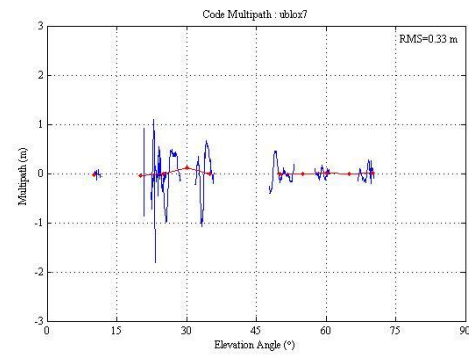
Εικόνα 5. 55 Πολυανάκλαση σήματος



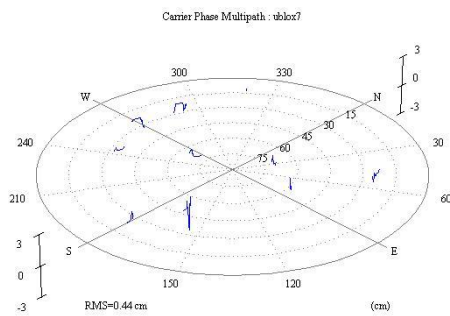
Εικόνα 5. 56 Πολυανάκλαση κώδικα



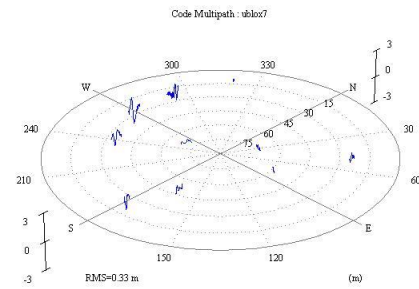
Εικόνα 5. 57 Σήματος σε σχέση με γωνία



Εικόνα 5. 58 Κώδικα σε σχέση με γωνία



Εικόνα 5. 59 Skyplot σήματος



Εικόνα 5. 60 Skyplot κώδικα

Στον πίνακα 5.3 δίνονται τα RMS των σφαλμάτων πολυανάκλασης σήματος και κώδικα. Συγκρίνοντας τις αντίστοιχες τιμές με τους πίνακες 5.1 και 5.2 είναι ξεκάθαρο ότι η εσκεμμένη εισαγωγή πρόσθετου σφάλματος με τη χρήση της ανακλαστικής επιφάνειας λίγο επηρέασε τα RMS των σφαλμάτων. Ενώ το σφάλμα πολυανάκλασης σήματος παρουσιάζει κάπως μικρότερες τιμές τα αντίστοιχα σφάλματα κώδικα είναι περίπου ίδια. Οι γεωδαιτικές κεραιές φαίνεται ότι έχουν φιλτράρει επιτυχώς το εσκεμμένο σφάλμα και επομένως οι τιμές των RMS με και χωρίς το εσκεμμένο σφάλμα δε διαφοροποιούνται σημαντικά.

Τύπος Δέκτη	RMS σήματος (cm)	RMS κώδικα (cm)
Trimble 5800	0.7	13
Leica 1200	0.3	25
Javad Triumph	0.58	15
Ublox 6	0.52	44
Ublox 7	0.44	33

Πίνακας 5. 3 RMS σφαλμάτων πολυανάκλασης σήματος για κάθε τύπο δέκτη

Οι διαφορές των Ublox δεκτών σε σχέση με τους γεωδαιτικούς παρουσιάζεται στους παρακάτω πίνακες όπου περιέχουν τον λόγο μεταβολής των μέσων όρων των σφαλμάτων.

Για τον Ublox 6 δίνονται στον πίνακα 5.4.

Ublox 6				
Δέκτης	Μεταβολή Μέσου όρου			
	RMS Σήματος	RMS Κώδικα	RMS Σήματος Με Επιπλέον Σφάλμα	RMS Κώδικα Με Επιπλέον Σφάλμα
Trimble 5800	-0,27	5.55	-0.26	2.38
Leica 1200	3.67	1.57	0.73	0.76
Javad Triumph	-0,04	2.69	-0.10	1.93

Πίνακας 5. 4 Μεταβολές μέσου όρου του Ublox 6 σε σχέση με τους γεωδαιτικούς

Για τον Ublox 7 δίνονται στον πίνακα 5.5.

Ublox 7				
Δέκτης	Μεταβολή Μέσου όρου			
	RMS Σήματος	RMS Κώδικα	RMS Σήματος Με Επιπλέον Σφάλμα	RMS Κώδικα Με Επιπλέον Σφάλμα
Trimble 5800	-0.51	2.44	-0.37	1.54
Leica 1200	2.16	0.35	0.46	0.32
Javad Triumph	-0.35	0.94	-0.08	1.2

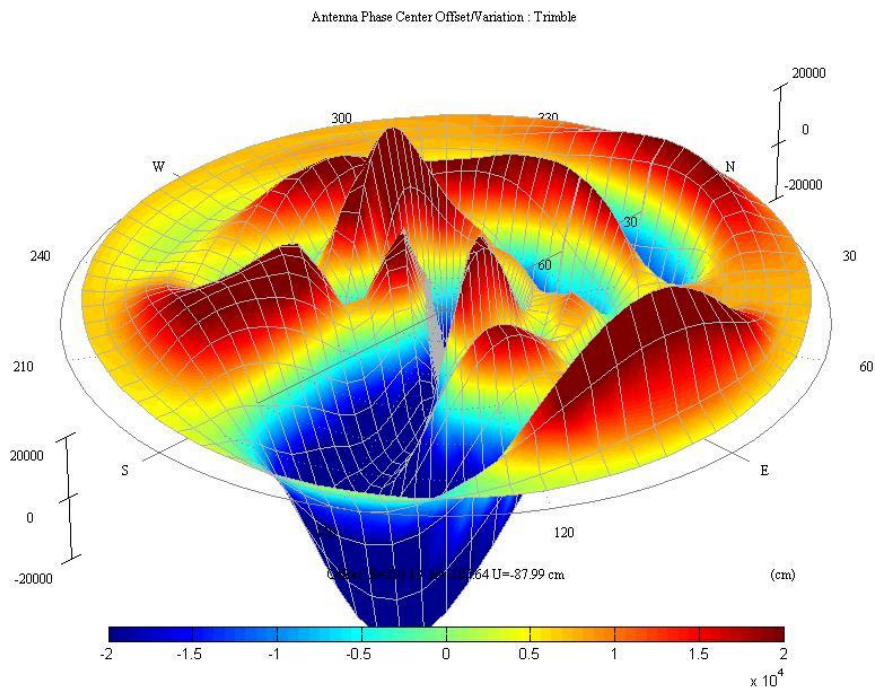
Πίνακας 5. 5 Μεταβολές μέσου όρου του Ublox 7 σε σχέση με τους γεωδαιτικούς

5.3.4 ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΚΕΝΤΡΟΥ ΦΑΣΗΣ ΚΕΡΑΙΑΣ

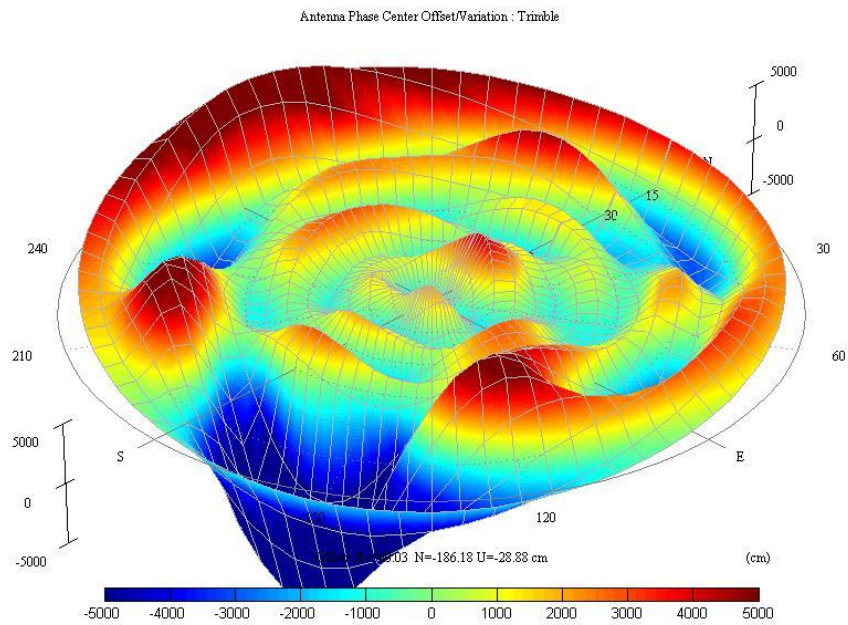
Ο καθορισμός θέσης με χρήση δεκτών GNSS σχετίζεται με το ηλεκτρικό κέντρο φάσης της κεραίας. Είναι το σημείο όπου φαίνεται ότι τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία από όλες τις προσπίπτουσες ακτίνες συσσωρεύονται στη φάση. Ιδανικά το κέντρο φάσης είναι ένα ενιαίο σημείο στο χώρο για όλες τις διευθύνσεις του σήματος και σε όλες τις συχνότητες. Εντούτις, μια κεραία στην πραγματικότητα παρουσιάζει πολλαπλά σημεία φάσης ή ένα κέντρο φάσης που εμφανίζεται να «απωθείται» από την κεραία καθώς η συχνότητα και η γωνία του δορυφορικού σήματος που δέχεται ο δέκτης ποικίλλουν.

Με χρήση του antrplot δημιουργήθηκαν διαγράμματα για τη μεταβολή του κέντρου φάσης της κεραίας (pcv- phase center variation) του δέκτη. Σε αυτό παρουσιάζει σε skyplot τη τιμή του pcv ανάλογα με τη θέση που προέρχεται το σήμα. Όπως και προηγουμένως έτσι και σε αυτή τη περίπτωση έγινε ένα διάγραμμα από μετρήσεις χωρίς παρέμβαση και ένα από μετρήσεις με προσπάθεια εισαγωγής εσκεμένου σφάλματος πολυανάκλασης. Τα αποτελέσματα για κάθε δέκτη είναι τα παρακάτω.

PCV διαγράμματα του δέκτη Trimble

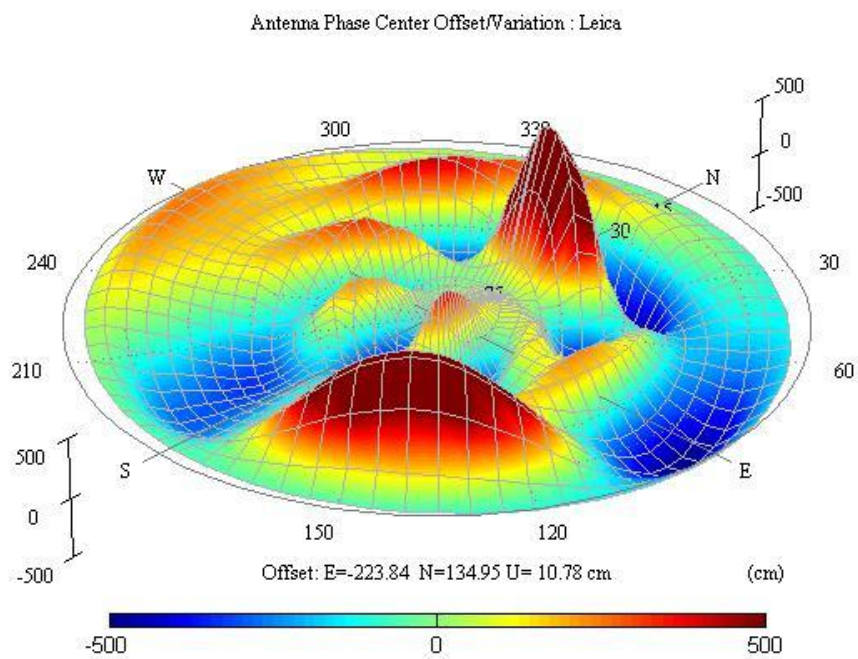


Εικόνα 5. 61 Διάγραμμα μεταβολής κέντρου φάσης κεραίας Trimble

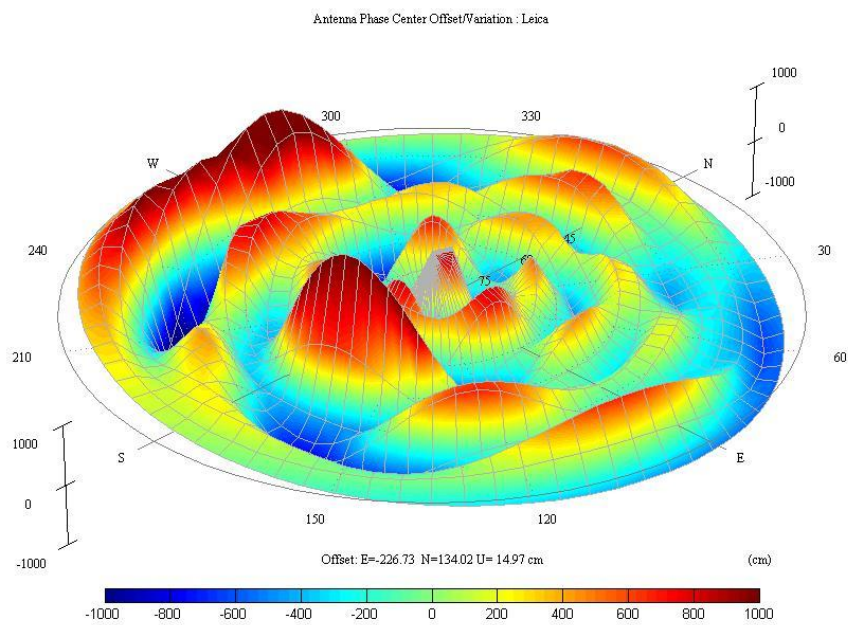


Εικόνα 5. 62 Διάγραμμα μεταβολής κέντρου φάσης κεραίας Trimble με εσκεμένο σφάλμα

PCV διαγράμματα του δέκτη Leica

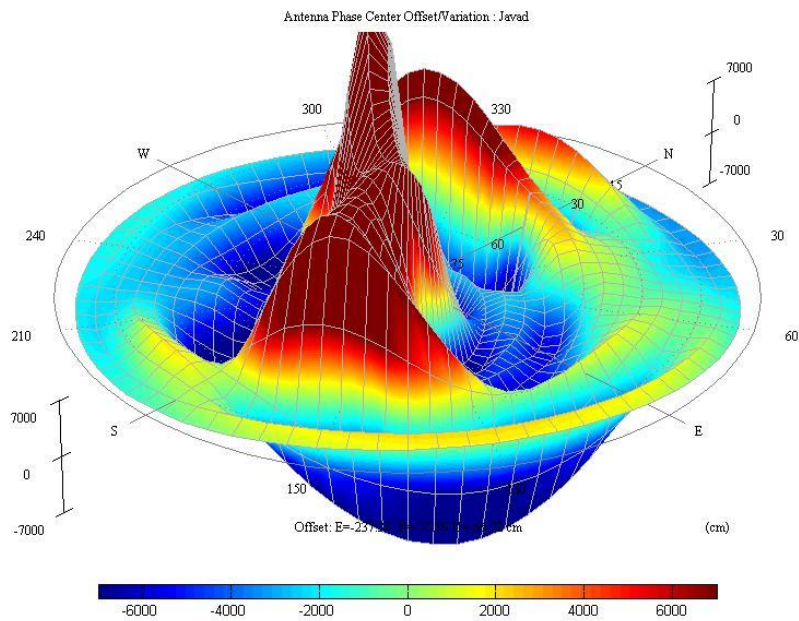


Εικόνα 5. 63 Διάγραμμα μεταβολής κεντρου φάσης κεραίας Leica

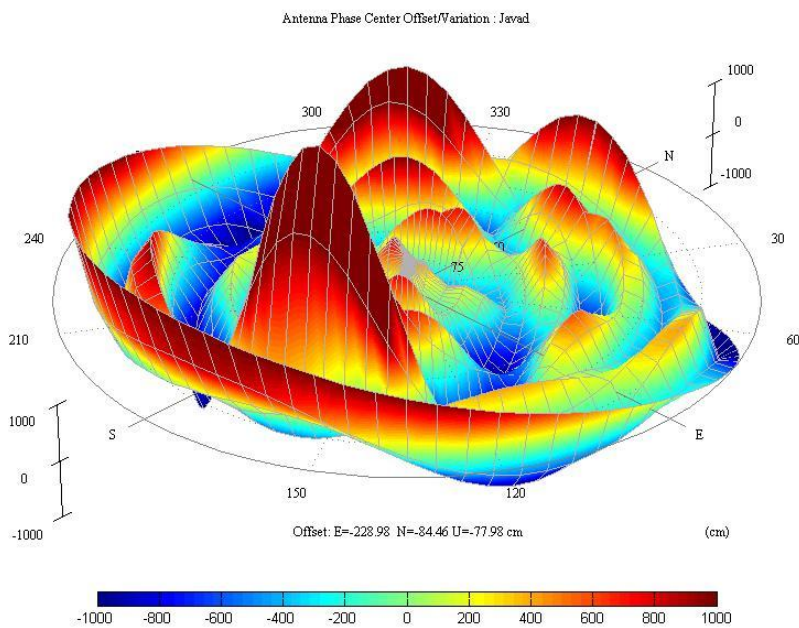


Εικόνα 5. 64 Διάγραμμα μεταβολής κέντρου φάσης κεραίας Leica με εσκεμένο σφάλμα

PCV διαγράμματα για τον δέκτη Javad

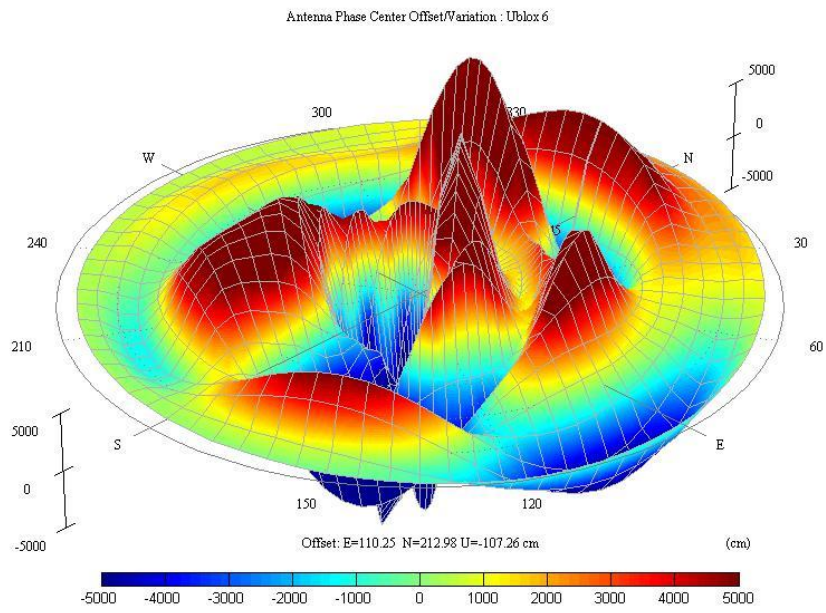


Εικόνα 5. 65 Διάγραμμα μεταβολής κντρου φάσης κεραίας Javad

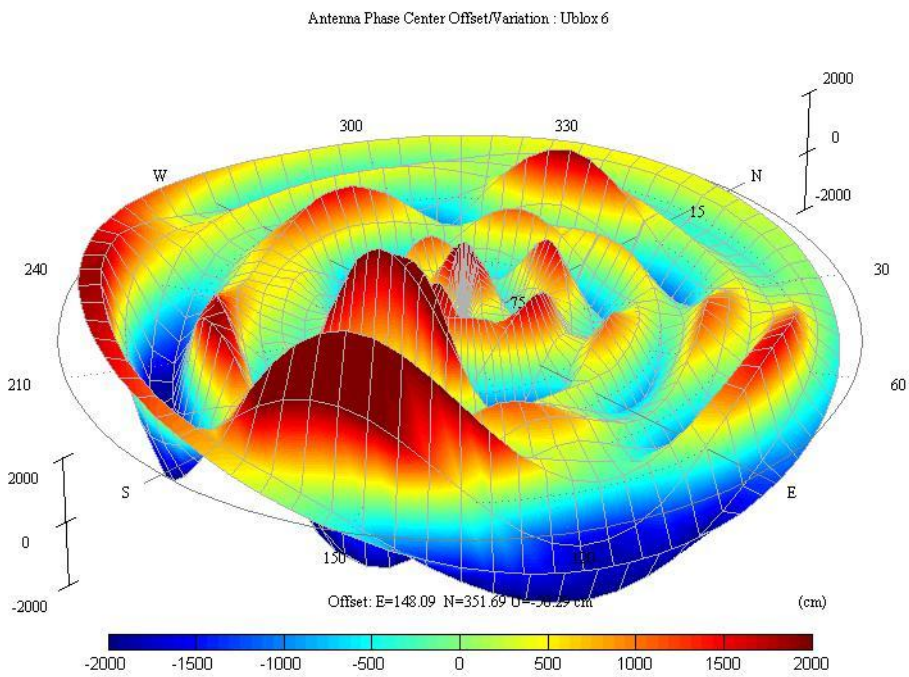


Εικόνα 5. 66 Διάγραμμα μεταβολής κέντρου φάσης κεραίας Javad με εσκέμενο σφάλμα

PCV διάγραμμα για τον δέκτη Ublox 6

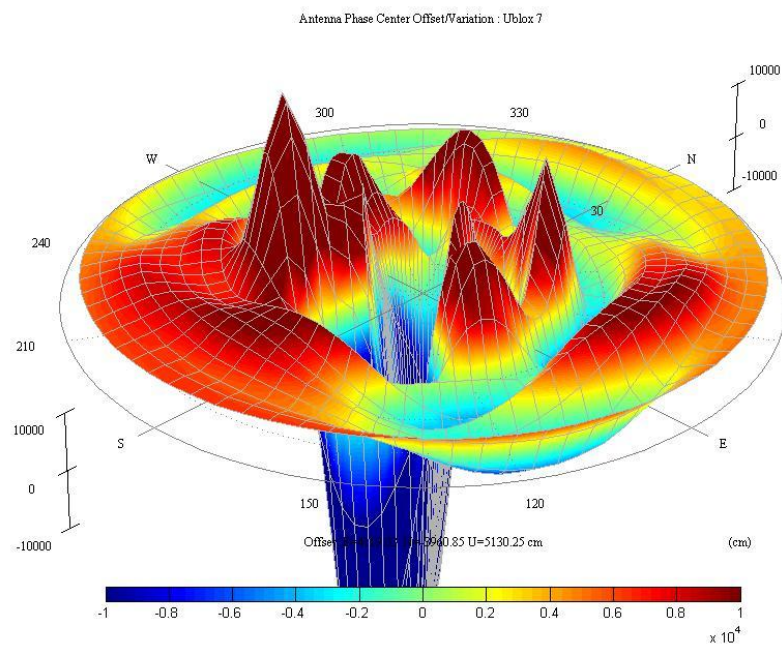


Εικόνα 5. 67 Διάγραμμα μεταβολής κέντρου φάσης κεραίας Ublox 6

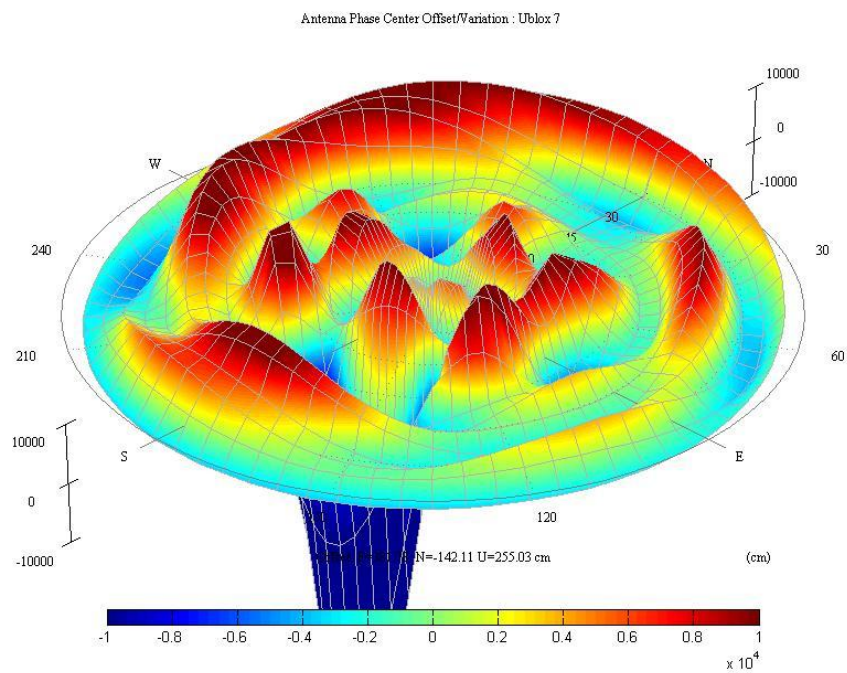


Εικόνα 5. 68 Διάγραμμα μεταβολής κεντρου φάσης κεραίας Ublox 6 με εσκεμένο σφάλμα

PCV διάγραμμα για τον δέκτη Ublox 7



Εικόνα 5. 69 Διάγραμμα μεταβολής κέντρου φάσης κεραίας Ublox 7



Εικόνα 5. 70 Διάγραμμα μεταβολής κέντρου φάσης κεραίας Ublox 7 με εσκεμένο σφάλμα

Τα διαγράμματα αυτά είναι σε διαφορετικές κλίμακες, τα μεγέθη των τιμών του διαγράμματος φαίνονται πάνω σε αυτό και είναι σε εκατοστά (cm). Για να καθοριστεί η κλίμακα του διαγράμματος πρέπει στην εντολή που θα γραφτεί στη Matlab για να κάνει σχεδίαση το `antplot` να προστεθεί η παράμετρος `range` (-range) μαζί με έναν αριθμό. Αυτός ο αριθμός εμφανίζεται και στο διάγραμμα σαν κλίμακα και το προσαρμόζει ανάλογα με την επιλογή του χρήστη.

Παρατηρείται ότι τα διαγράμματα έχουν πολλές διαφορές μεταξύ τους το οποίο είναι λογικό αφού το `pcv` αλλάζει όχι μόνο από κεραία σε κεραία αλλά και στην ίδια κεραία σε διαφορετικές εργασίες. Μια γενική παρατήρηση στα πιο πάνω διαγράμματα είναι ότι στα περισσότερα υπάρχουν κάποιες ακραίες τιμές σε συγκεκριμένα σημεία που είναι πολύ μεγαλύτερες από αυτές του υπόλοιπου διαγράμματος. Ακόμη στη θέση που παρατηρήθηκε ότι ένας δορυφόρος είχε σήμα πολύ μεγάλου σφάλματος φαίνεται σε πολλά από τα διαγράμματα `pcv` να δημιουργείται μια έντονη κορυφή δηλαδή μια μεγάλη τιμή. Οι μέσοι όροι των `pcv` που υπολογίστηκαν από αυτές τις μετρήσεις φαίνονται στον Πίνακα 5.6.

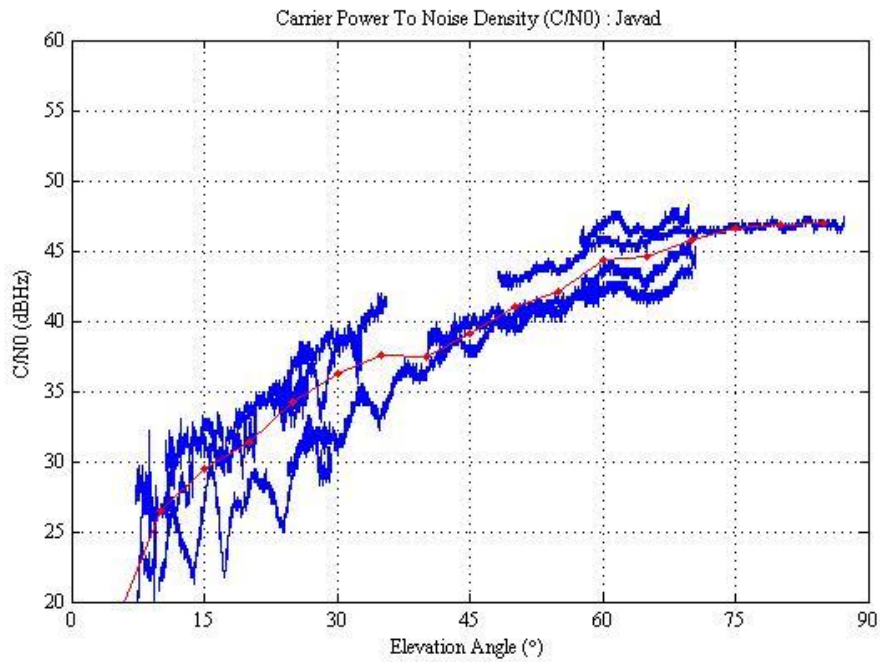
Τύπος Δέκτη	PCV (cm)	PCV Με Σφάλμα (cm)
Trimble 5800	15.42	2.52
Leica 1200	0.22	0.43
Javad Triumph	6.68	0.74
Ublox 6	4.13	1.03
Ublox7	12.64	8.53

Πίνακας 5. 6 PCV του κάθε δέκτη με και χωρίς εσκεμένο σφάλμα

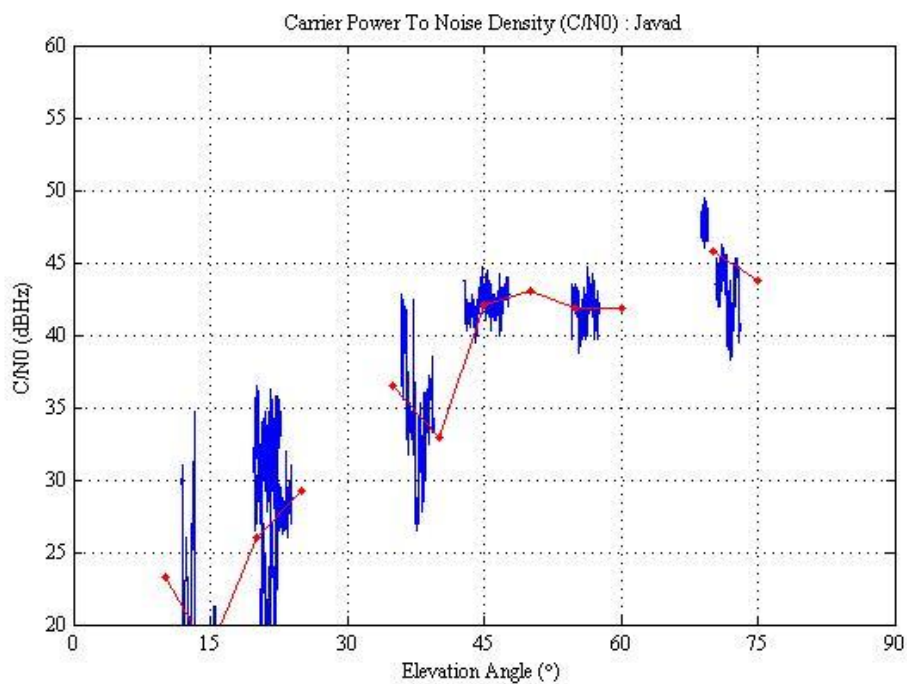
Όπως φαίνεται στα διαγράμματα και στον πίνακα 5.6, στις γεωδαιτικές κεραίες GNSS υψηλής απόδοσης, οι μεταβολές στο κέντρο φάσης στο αζιμούθιο είναι μικρές της τάξεως των μερικών χιλιοστών. Πολλές γεωδαιτικές κεραίες έχουν ήδη βαθμονομηθεί και υπάρχουν διαθέσιμοι πίνακες για τα σφάλματα των κέντρων φάσεων για αυτές τις κεραίες (<https://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/>).

Εκτός από τα διαγράμματα που παρουσιάστηκαν νωρίτερα το Anttool μπορεί να κάνει σχεδίαση και άλλων διαγραμμάτων τα οποία είναι σχετικά με τον θόρυβο που δέχεται ο δέκτης κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Πιο συγκεκριμένα αυτά είναι δύο και απεικονίζουν το C/N_0 (Carrier-to-Noise Dencity) δηλαδή τον λόγο της ισχύος του φέροντος σήματος προς το λόγο της ισχύος του θορύβου. Το πρώτο διάγραμμα απεικονίζει αυτόν τον λόγο σε σχέση με τη γωνία που δέχεται το σήμα ο δέκτης και το δεύτερο απεικονίζει τον λόγο σε skyplot. Αυτά τα διαγράμματα δημιουργήθηκαν μόνο για τους δέκτες Javad, ublox 6 και ublox 7.

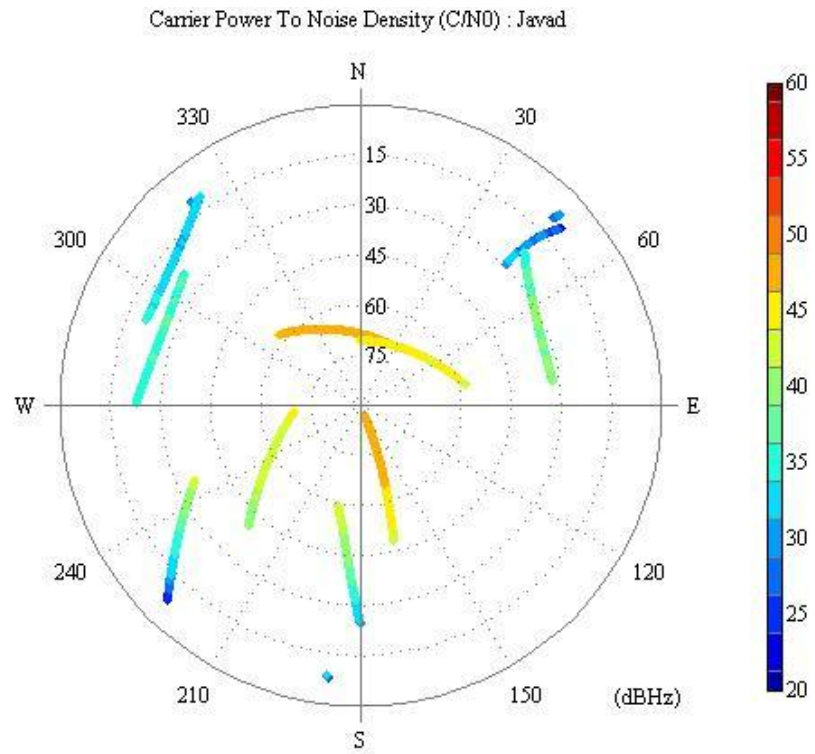
Τα αποτελέσματα για τον δέκτη Javad με και χωρίς την εισαγωγή εσκεμένου σφάλματος πολυανάκλασης είναι τα παρακάτω.



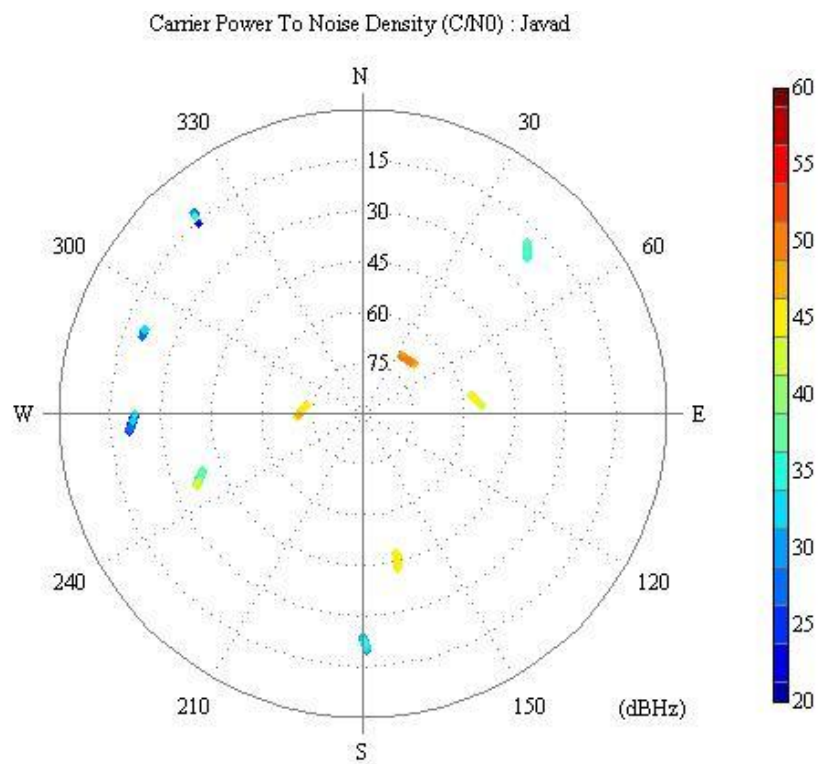
Εικόνα 5. 71 Διάγραμμα C/N₀ σε σχέση με τη γωνία λήψης του σήματος



Εικόνα 5. 72 Διάγραμμα C/N₀ σε σχέση με τη γωνία λήψης του σήματος με εσκεμένο σφάλμα πολυανάκλασης

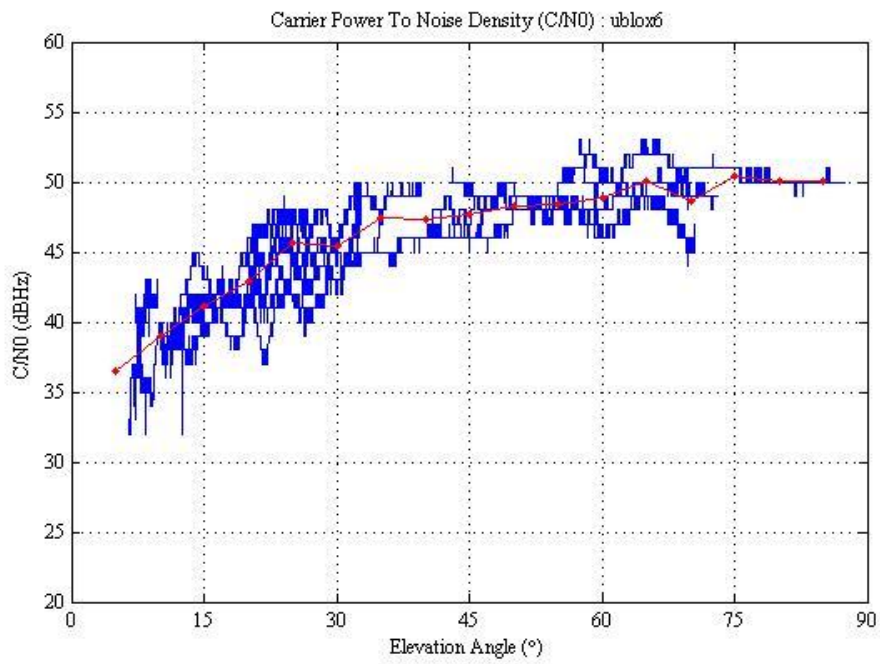


Εικόνα 5. 73 C/N₀ σε skyplot

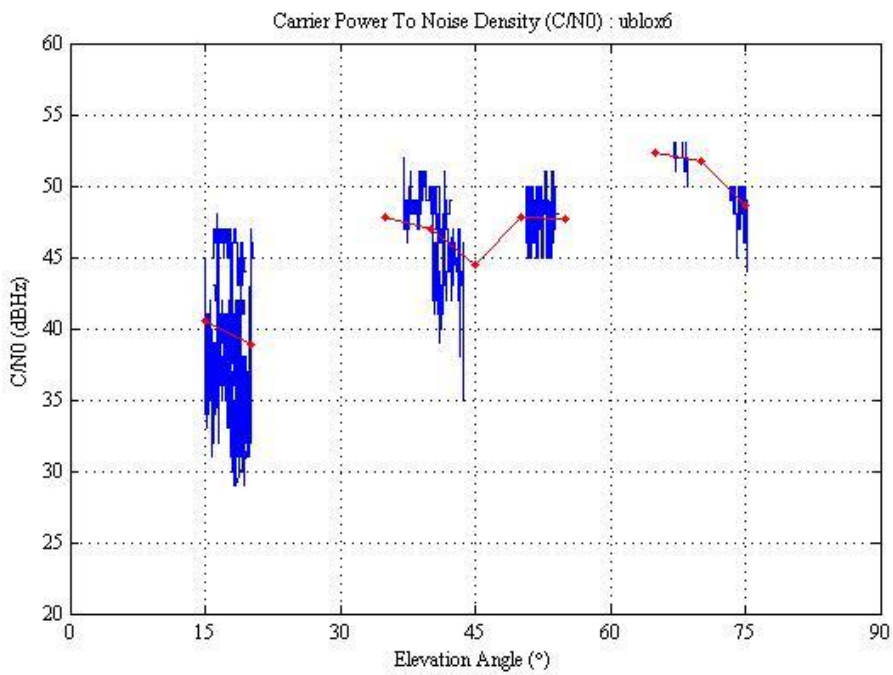


Εικόνα 5. 74 C/N₀ σε skyplot με εσκεμένο σφάλμα πολυανάκλασης

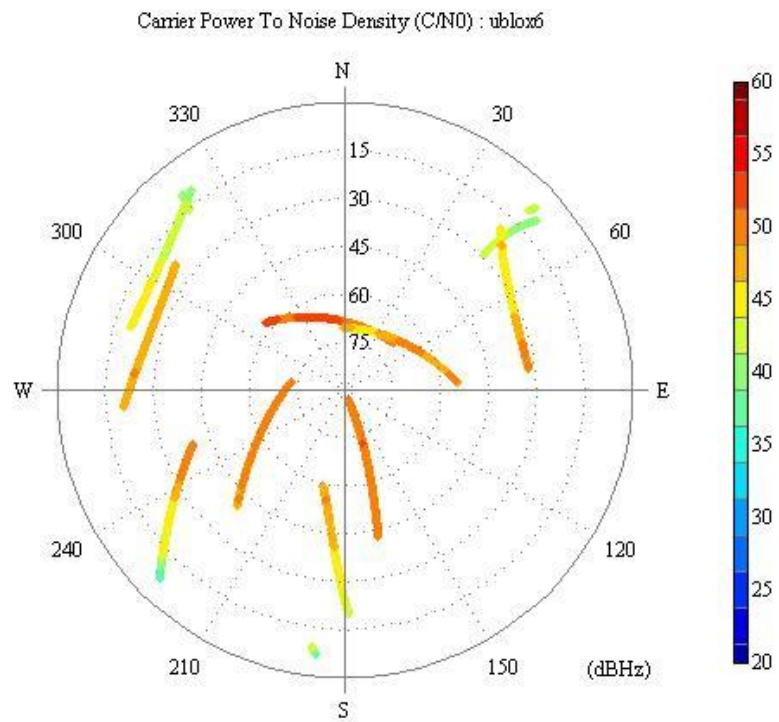
Για τον δέκτη ublox 6 τα διαγράμματα που δημιουργήθηκαν είναι.



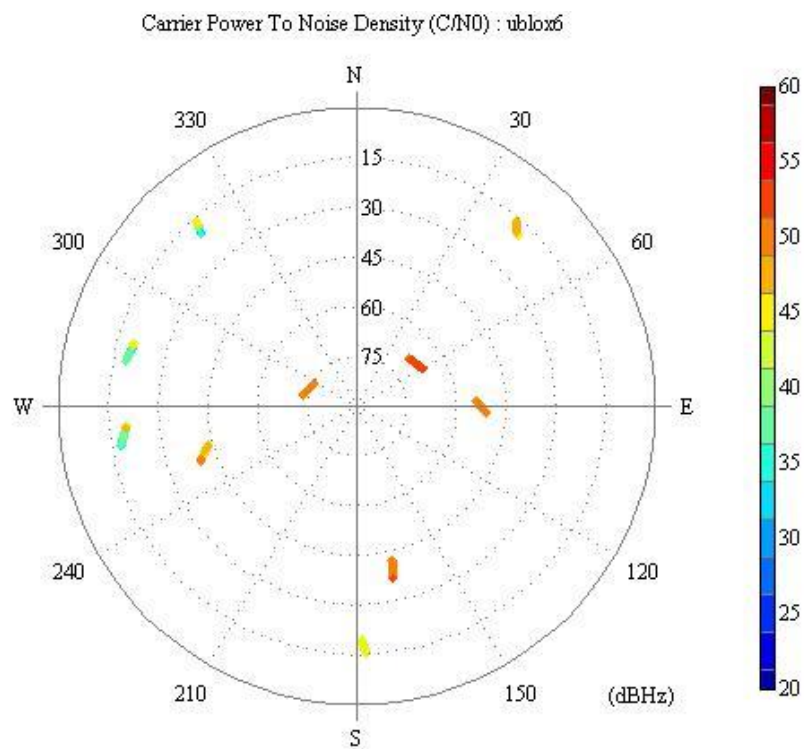
Εικόνα 5. 75 Διάγραμμα C/N₀ σε σχέση με τη γωνία λήψης του σήματος



Εικόνα 5. 76 Διάγραμμα C/N₀ σε σχέση με τη γωνία λήψης του σήματος με εσκεμένο σφάλμα

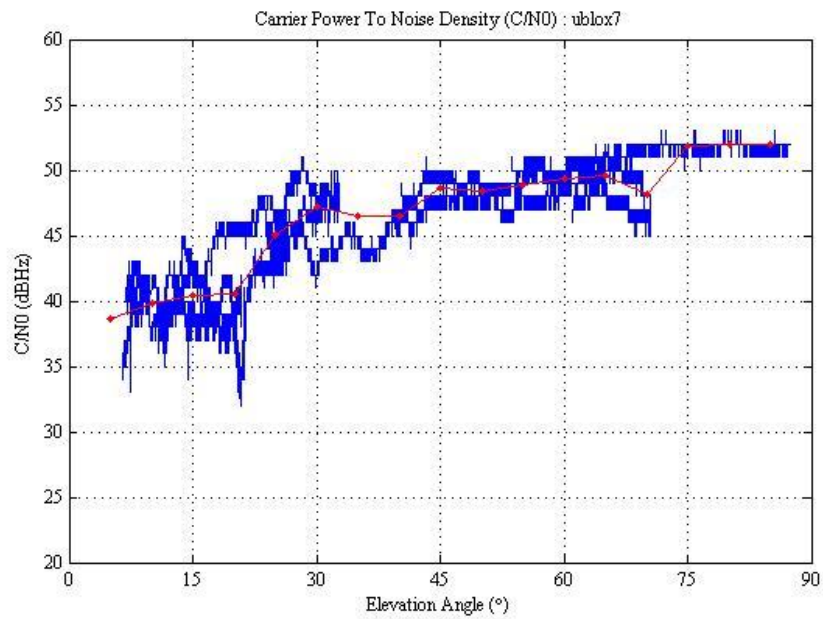


Εικόνα 5. 77 C/N₀ σε skyplot

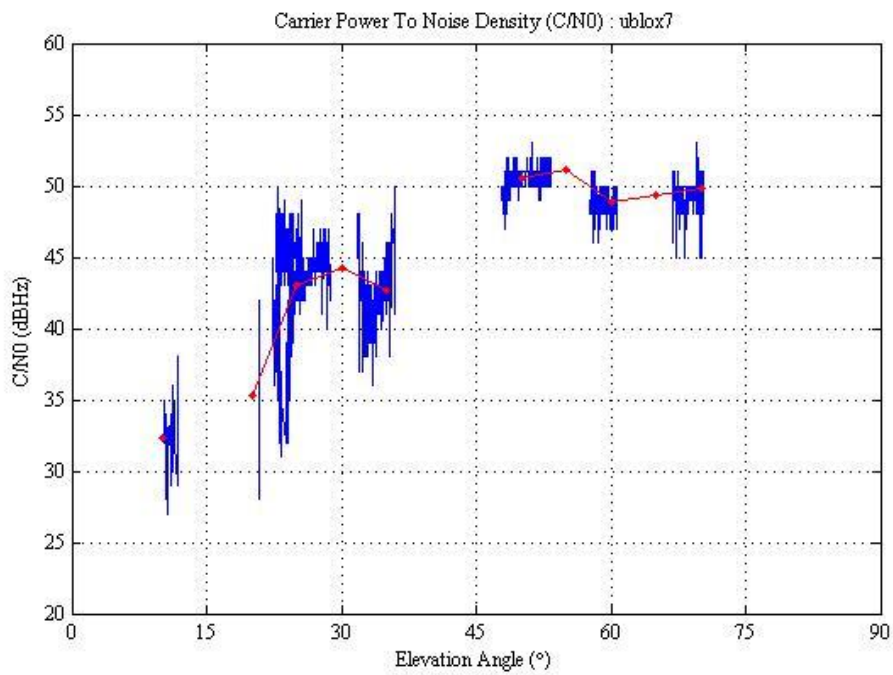


Εικόνα 5. 78 C/N₀ σε skyplot με εσκεμένο σφάλμα πολυανάκλασης

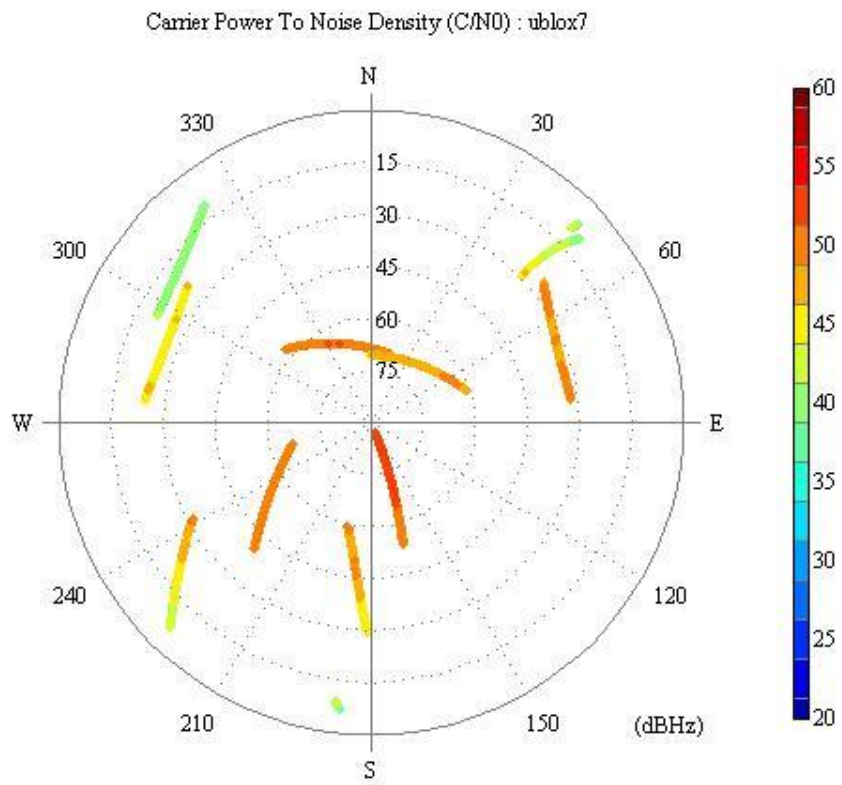
Τέλος τα διαγράμματα που δημιουργήθηκαν για τον δέκτη ublox 7 είναι.



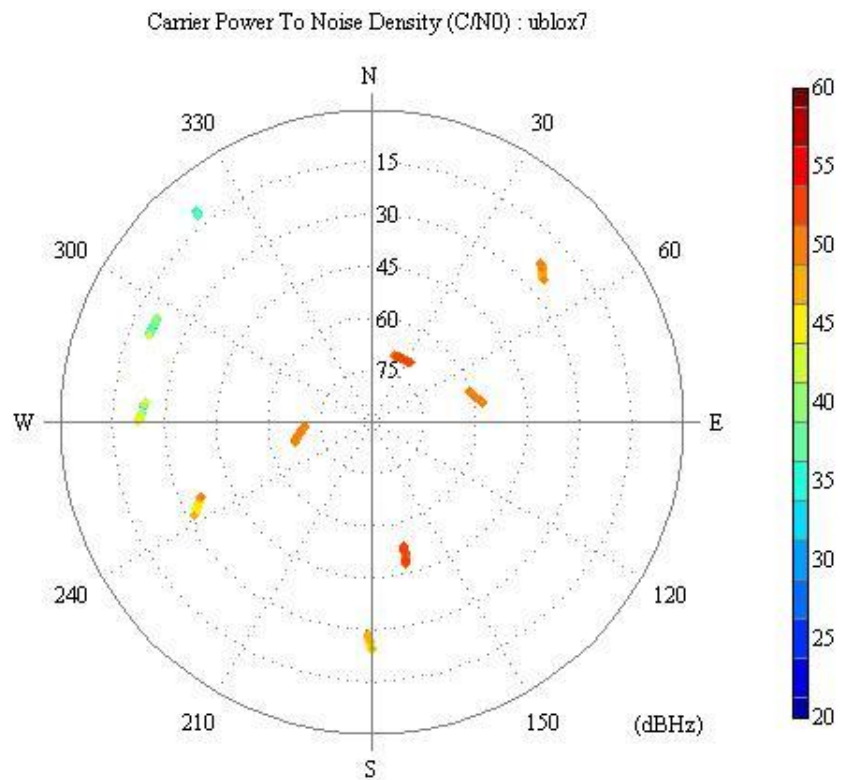
Εικόνα 5. 79 Διάγραμμα C/N₀ σε σχέση με τη γωνία λήψης του σήματος



Εικόνα 5. 80 Διάγραμμα C/N₀ σε σχέση με τη γωνία λήψης του σήματος με εσκεμένο σφάλμα πολυανάκλασης



Εικόνα 5. 81 C/N₀ σε skyplot



Εικόνα 5. 82 C/N₀ σε skyplot με εσκεμένο σφάλμα πολυανάκλασης

Από τα διαγράμματα αυτά φαίνεται πάλι ότι το αποτέλεσμα χωρίς το εσκεμένο σφάλμα αλλά και με αυτό είναι πολύ κοντινό. Στο πρώτο διάγραμμα, δηλαδή το C/N₀ σε σχέση με τη γωνία λήψης, είναι εμφανές ότι ο λόγος αυτός μεταβάλλεται με τον ίδιο τρόπο καθώς αλλάζει η γωνία και στις δύο περιπτώσεις για όλους τους δέκτες παρόλο που στα διαγράμματα με το εσκεμένο σφάλμα υπάρχει λιγότερη πληροφορία. Επίσης και στα επόμενα διαγράμματα, σε skyplot, στο οποίο παρουσιάζεται η τιμή αυτή και για τον κάθε δορυφόρο χωρίστα φαίνεται ότι και στις δύο περιπτώσεις το σήμα του ίδιου δορυφόρου παρουσιάζει κοντινή τιμή λόγου του σήματος προς το θόρυβο.

Κεφάλαιο 6 – Συμπεράσματα-Προτάσεις

6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό δίνονται τα βασικά συμπεράσματα της διαδικασίας που πραγματοποιήθηκε από την συλλογή δεδομένων μέχρι την εξαγωγή των τελικών αποτελεσμάτων. Αναφέρονται προβλήματα που συναντήθηκαν τόσο κατά τη διαδικασία των μετρήσεων όσο και κατά την επεξεργασία αυτών. Τέλος δίνονται προτάσεις για τη συνέχιση της εργασίας.

6.2 Συλλογή Μετρήσεων

- Για την πραγματοποίηση της διαδικασίας του ελέγχου των κεραιών GNSS χρησιμοποιήθηκαν πέντε διαφορετικοί τύποι δεκτών, τόσο γεωδαιτικών όσο και δεκτών πλοήγησης. Ως δέκτης αναφοράς για όλους χρησιμοποιήθηκε ένας δέκτης Trimble 5800 με δική του κεραία (η οποία είναι βαθμονομημένη με το πρότυπο κεραίας choke ring Dorne Margolin και έχει δημοσιευμένα χαρακτηριστικά βαθμονόμησης).
- Χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της σχετικής βαθμονόμησης, δηλαδή έλεγχος των κεραιών ως προς κεραία με γνωστά χαρακτηριστικά.
- Η μεθοδολογία συλλογής μετρήσεων από όλους τους δέκτες έγινε σύμφωνα με διεθνείς πρακτικές βαθμονόμησης και ελέγχου κεραιών σε διεθνή κέντρα όπως το National Geodetic Survey (NGS) του NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) της Αμερικής.
- Η συλλογή των δεδομένων με τους γεωδαιτικούς δέκτες ήταν ομαλή. Οι δέκτες ublox λόγω του ότι διαθέτουν εξωτερικές κεραίες, χρειάστηκε για την καταγραφή των μετρήσεων να χρησιμοποιηθεί φορητός υπολογιστής. Έγινε σύνδεση του κάθε δέκτη με την κεραία του με καλώδιο και σύνδεση επίσης με καλώδιο στον υπολογιστή που θα καταγράφει τις μετρήσεις.
- Χρήσιμο είναι να σημειώνονται οι ώρες που ξεκινάει και σταματάει η λειτουργία των δεκτών όταν υπάρχουν πολλές σειρές μετρήσεων για την ευκολότερη εκ των υστέρων επεξεργασία των μετρήσεων.
- Για την εισαγωγή επιπλέον σφάλματος πολυανάκλασης δημιουργήθηκε τεχνητά ένα περιβάλλον με χρήση ανακλαστικής επιφάνειας η οποία τοποθετήθηκε κοντά στους δέκτες κατά τη διάρκεια των μετρήσεων.

6.3 Επεξεργασία των Μετρήσεων

- Για την επεξεργασία των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκαν δύο ελεύθερα λογισμικά, το RTKLIB και το ANTTTOOL.
- Τα δεδομένα από τους δέκτες έπρεπε να μετατραπούν σε μορφή RINEX προκειμένου να γίνει η επεξεργασία τους στα δύο λογισμικά.
- Για να γίνει σύγκριση της απόδοσης των δεκτών με την χρήση της ανακλαστικής επιφάνειας με την απόδοση χωρίς αυτήν χρειάστηκε να διασπαστεί το κάθε αρχείο μετρήσεων σε ένα αρχείο που έχει τις μετρήσεις της χρονικής διάρκειας χωρίς την εισαγωγή επιπλέον σφάλματος και σε ένα με την εισαγωγή επιπλέον σφάλματος. Αυτό έγινε σε όλα τα αρχεία εκτός από αυτό του δέκτη αναφοράς.
- Κατά την επεξεργασία με το ANTTTOOL χρειάστηκε καλή οργάνωση με τα αρχεία, τόσο των μετρήσεων όσο και των αποτελεσμάτων, γιατί ήταν πολλοί δέκτες και προέκυπταν πολλά για τον καθένα
- Απαιτήθηκε παρέμβαση στον κώδικα του προγράμματος ANTTTOOL διότι αρχικά δεν γινόταν επεξεργασία των μετρήσεων καθώς συναντούσε ένα πρόβλημα στις συντεταγμένες του δέκτη αναφοράς (που δεν ήταν απαραίτητο να δοθούν). Επομένως έγινε μια μικρή τροποποίηση του προγράμματος, δηλαδή υπολογίστηκαν οι συντεταγμένες του δέκτη αναφοράς από το RTKLIB και στη συνέχεια έγινε εισαγωγή τους στον κώδικα του προγράμματος.
- Στην χρήση του ANTTTOOL για την εξαγωγή των διαγραμμάτων χρειάζεται να παρέμβει ο χρήστης για τον καθορισμό των παραμέτρων προκειμένου η κλίμακα των διαγραμμάτων να είναι η επιθυμητή.

6.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

- Τα αποτελέσματα από την χρήση του ANTTTOOL είναι διαγράμματα που παρουσιάζουν με διαφορετικούς τρόπους το σφάλμα πολυανάκλασης του σήματος και του κώδικα δηλαδή ως προς το χρόνο, ως προς τη γωνία λήψης του σήματος και ως προς τη θέση των δορυφόρων. Ακόμη δημιουργήθηκαν και διαγράμματα που απεικόνιζαν τον λόγο της ισχύος του σήματος ως προς τον θόρυβο. Τέλος παράχθηκε διάγραμμα που απεικόνιζε τη μεταβολή του κέντρου φάσης του κάθε δέκτη.
- Από τα διαγράμματα αυτά φάνηκε ότι οι γεωδαιτικοί δέκτες έχουν μικρότερα σφάλματα από τους δέκτες Ublox παρόλο που ο δέκτης Trimble εμφάνισε κάποια ακραία σφάλματα που επηρέασαν τον μέσο όρο. Ο δέκτης ublox 7 με την κεραία Tallysman TW 2410 είχε καλή απόδοση καθώς όχι μόνο είχε καλύτερα αποτελέσματα από τον Ublox 6 αλλά ήταν και κοντά στους γεωδαιτικούς δέκτες.
- Οι τιμές των RMS για το σφάλμα πολυανάκλασης που υπολογίστηκαν για τους δέκτες με τις αντίστοιχες κεραίες τους έδειξαν ότι για τις μετρήσεις φάσης οι τιμές κυμαίνονται από 0.3 έως 1.5 cm ενώ για τις μετρήσεις κώδικα κυμαίνονται από 9 έως 60 cm.
- Η εισαγωγή εσκεμμένου σφάλματος πολυανάκλασης δεν προκάλεσε αξιοσημείωτη μεταβολή στις τιμές των RMS τόσο για μετρήσεις φάσης όσο και κώδικα για κάθε κεραία.
- Για τη μεταβολή του κέντρου φάσης της κεραίας τα αποτελέσματα είχαν μεγαλύτερη ποικιλία. Υπήρχαν πιο μεγάλες διαφορές μεταξύ των δεκτών καθώς εμφανίζονταν μεγαλύτερες μεταβολές. Στα διαγράμματα φάνηκε να υπάρχουν πολλές ακραίες τιμές που επηρέασαν το μέσο όρο και τα σφάλματα. Παρόλα αυτά και σε αυτή τη περίπτωση φαίνεται οι γεωδαιτικές κεραίες να έχουν καλύτερη απόδοση από τις Ublox όπως είναι λογικό. Η τιμή του σφάλματος κυμάνθηκε από 0.2 έως 15 cm.

6.5 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

- Κατά την επεξεργασία με το RTKLIB οι δορυφόροι με μικρές γωνίες ανύψωσης οι οποίοι προκαλούν μεγάλο θόρυβο στις μετρήσεις, θα πρέπει να απομακρύνονται πριν τα δεδομένα εισαχθούν στο πρόγραμμα ANTTTOOL.
- Να επαληθευτούν τα πειράματα συλλογής δεδομένων με εικοσιτετράωρη διάρκεια τουλάχιστον καθώς και με άλλα δορυφορικά συστήματα GNSS (π.χ. GLONASS) ώστε να παρατηρηθεί η συμπεριφορά των συστηματικών σφαλμάτων (όπως το σφάλμα πολυανάκλασης) και να φανεί η συμπεριφορά του κέντρου φάσης της κεραίας σε διαφορετικές ώρες της μέρας.
- Να γίνει σύγκριση με μια απόλυτη μέθοδο ελέγχου κεραιών για τους ίδιους τύπους δεκτών που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία.

Βιβλιογραφία

Ελληνική βιβλιογραφία

Φωτίου Α. Ι. και Πικριδάς Χ. Κ. (2012) GPS και γεωδαιτικές Εφαρμογές. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη

Ξένη βιβλιογραφία

Dawidowicz K (2010) Antenna Phase Center Variations Corrections in Processing of GPS Observations With Use of Commercial Software. Technical Sciences No 13, Y 2010, pp 120-132

Gebre D (2018) Evaluation of low-cost centimeter-level accuracy OEM GNSS receivers. Minnesota Department of Transportation Research Services & Library

Gurtner W (1997) RINEX: The Receiver Independent Exchange Format, Version 2

Mader G (1999) GPS Antenna Calibration at the National Geodetic Survey. GPS Solutions Vol 3, No 1, pp50-58.

Menge F, Seeber G, Volksen C, Wubbena G, Schmitz M (1998) Results of Absolute Field Calibration of GPS Antenna PCV. Proc ION-GPS98, Nashville, pp 31-38

Moernaut G, Orban D (2009) “GNSS Antennas” An Introduction to Band-width, Gain Pattern, Polarization, and All That. GPS World, Feb 2009

Rothacher M, Schaer S, Mervart L, Beutler G (1995) Determination of Antenna Phase Center Variations Using GPS Data. IGS Workshop 1995, May 15-17, Postdam Germany

Takasu T, and Yasuda A (2008) Evaluation of RTK-GPS Performance with Low-Cost Single-Frequency GPS Receivers. International Symposium on GPS\GNSS 2008, November 11-14, Tokyo International Exchange Center Japan

Wisniewski B, Bruniecki K, Moszynski M (2013) Evaluation of RTKLIB’s Positioning Accuracy Using Low-cost GNSS Receiver and ASG-EUPOS. TransNav: International journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation 7.1

Wubbena G, Schmitz M, Menge F, Seeber G, Volksen C (1997) A New Approach for Field Calibration of Absolute GPS Antenna Phase Center Variations. NAVIGATION: Journal of the institute of Navigation, Vol. 44, No 2, Summer 1997 USA

Διαδικτυακές Αναφορές

(Τελευταίες αναγνώσεις Ιούλιος 2017)

GPS Errors and Biases

<http://what-when-how.com/gps/gps-errors-and-biases-part-1/>

National Geodetic Survey

<https://www.ngs.noaa.gov>

RTKLIB: An Open Source Program Package for GNSS Positioning

<http://www.rtklib.com>

Trimble

<http://www.trimble.com/>

Trimble: Antenna Phase Centers

http://www.trimble.com/OEM_ReceiverHelp/V4.44/en/AntennaPhaseCenters.html

ublox

<https://www.u-blox.com/en>

UNAVCO

<http://www.unavco.org>

Plots of Absolute Antenna Calibration

<http://kb.unavco.org/kb/category/gnss-and-related-equipment/gnss-antennas>