



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Πτυχιακή Εργασία

**Ανάπτυξη λογισμικού για την αξιολόγηση της ποιότητας γεωδαιτικών
μετρήσεων GNSS**

Φοιτητής: Σλαβάκης Χαράλαμπος

ΑΜ: 11079

Επιβλέπων Καθηγητής

Γιαννίου Μιχαήλ

Καθηγητής ΠΑ.Δ.Α

Αθήνα-Αιγάλεω, Οκτώβριος 2024



**UNIVERSITY OF WEST ATTICA
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF SURVEYING AND GEOINFORMATICS ENGINEERING**

Thesis

**Development of software for quality evaluation of geodetic GNSS
observations**

Student: Slavakis Charalampos

Registration Number: 11079

Supervisor

Gianniou Michail

Professor of UNI.W.A

Athens - Egaleo, October 2024

Η Πτυχιακή Εργασία έγινε αποδεκτή και βαθμολογήθηκε από την εξής τριμελή επιτροπή:

| (Όνοματεπώνυμο), (βαθμίδα) | (Όνοματεπώνυμο), (βαθμίδα) | (Όνοματεπώνυμο), (βαθμίδα) |
|-------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|
| Γιαννίου Μιχαήλ Καθηγητής | Παγούνης Βασίλειος Καθηγητής | Ανδριτσάνος Βασίλειος Καθηγητής |
| (Υπογραφή) | (Υπογραφή) | (Υπογραφή) |

Copyright © Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ και Σλαβάκης Χαράλαμπος, Οκτώβριος, 2024

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

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα του και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις θέσεις του επιβλέποντος, της επιτροπής εξέτασης ή τις επίσημες θέσεις του Τμήματος και του Ιδρύματος.

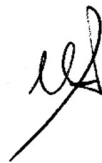
ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Σλαβάκης Χαράλαμπος του Ιωάννη, με αριθμό μητρώου 11079, φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανικών Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής, **δηλώνω υπεύθυνα ότι:**

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο Δηλόν
Σλαβάκης Χαράλαμπος



ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την παρούσα πτυχιακή εργασία ολοκληρώνεται ο κύκλος των σπουδών μου στο Τμήμα Μηχανικών Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Μιχαήλ Γιαννίου, για την υποστήριξη και την καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια εκπόνησης αυτής της εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τους φίλους μου για τη συμπαράσταση και τη στήριξή τους καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το δορυφορικό σύστημα πλοήγησης Galileo διαθέτει ήδη μεγάλο αριθμό δορυφόρων και χρησιμοποιείται καθημερινά σε διάφορες εφαρμογές. Για τον λόγο αυτό, έχει ενδιαφέρον η σύγκριση της ποιότητας των μετρήσεών του με αυτές του συστήματος GPS. Παράλληλα, παρατηρείται η αυξανόμενη χρήση δεκτών χαμηλότερου κόστους σε σχέση με τους γεωδαιτικούς δέκτες που κυριαρχούν στις επαγγελματικές εφαρμογές. Στο πλαίσιο αυτό, το Εργαστήριο Γεωδαισίας-Τοπογραφίας-GNSS του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής (ΠΑ.Δ.Α.) έχει εγκαταστήσει έναν μόνιμο σταθμό αναφοράς που χρησιμοποιεί γεωδαιτικό δέκτη, καθώς και δύο επιπλέον δέκτες, έναν μεσαίου και έναν χαμηλού κόστους, για ερευνητικούς σκοπούς.

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, αναπτύχθηκε λογισμικό για τη συγκριτική αξιολόγηση των πρωτογενών μετρήσεων των συστημάτων GNSS. Το λογισμικό αυτό έχει τη δυνατότητα να αναλύει το σηματοθορυβικό λόγο (SNR) καθώς επίσης και να ανιχνεύει σφάλματα ολίσθησης κύκλων (cycle slips), συμβάλλοντας έτσι στην καλύτερη κατανόηση των παραμέτρων που επηρεάζουν την ποιότητα των μετρήσεων υπό διάφορες συνθήκες.

Πραγματοποιήθηκαν δύο μελέτες για την αξιολόγηση του λογισμικού και των δεκτών. Η πρώτη μελέτη έλαβε χώρα στην περιοχή της Αγίας Παρασκευής, όπου συγκρίθηκαν δύο γεωδαιτικοί δέκτες. Ο ένας δέκτης τοποθετήθηκε σε ταράτσα κτηρίου χωρίς εμπόδια, ενώ ο δεύτερος τοποθετήθηκε διαδοχικά κάτω από δύο δέντρα, με στόχο να διερευνηθεί η επίδραση των εμποδίων στην ποιότητα των μετρήσεων σε σύγκριση με την καταγραφή σε ανοικτό περιβάλλον. Η δεύτερη μελέτη διεξήχθη στο Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής (ΠΑ.Δ.Α.), όπου χρησιμοποιήθηκαν οι τρεις εγκατεστημένοι δέκτες διαφορετικού κόστους για να μελετηθεί κατά πόσο το κόστος του δέκτη επηρεάζει την ποιότητα των μετρήσεων. Τα αποτελέσματα από την ανάλυση των δεδομένων που συλλέχθηκαν επαλήθευσαν τη σωστή λειτουργία του λογισμικού που αναπτύχθηκε και ανέδειξαν τη συσχέτιση μεταξύ κόστους δέκτη και ποιότητας μετρήσεων.

Λέξεις κλειδιά

GNSS, Galileo, GPS, Σηματοθορυβικός λόγος, Ολίσθηση κύκλων, MATLAB

ABSTRACT

The satellite navigation system Galileo has already a many operational satellites and is used regularly in various daily applications. For this reason, it is interesting to compare the quality of its measurements with those of the GPS system. At the same time, there is an increasing use of low-cost receivers, which are considerably cheaper compared to the geodetic receivers that dominate professional applications. In this context, the Geodesy-Surveying-GNSS Laboratory of the University of West Attica (UniWA) has installed a permanent reference station operating on a geodetic receiver, as well as two less expensive receivers, one of medium and one of low cost, for research purposes.

In the context of this work, software was developed for the comparative evaluation of the raw measurements of GNSS systems. This software has the ability to analyze the signal-to-noise ratio (SNR) as well as to detect cycle slips, thus contributing to a better understanding of the parameters that affect the quality of measurements under various conditions.

Two studies were conducted to evaluate the software and the receivers. The first study took place in the area of Agia Paraskevi, where two geodetic receivers were compared. One receiver was placed on the roof of an building that offers unobstructed sky view, while the second one was placed successively under two trees, with the aim of investigating the effect of obstacles on the quality of the measurements. The second study was conducted at the University of Western Attica, where three installed receivers of different costs were used to assess role of the receiver cost on the quality of the measurements. The results from the analysis of the collected data verified the correct operation of the developed software and highlighted the correlation between receiver cost and measurement quality.

Keywords

GNSS, Galileo, GPS, Signal to Noise Ratio, Cycle slips, MATLAB

| | |
|--|----|
| ΠΕΡΙΛΗΨΗ | 6 |
| ABSTRACT | 7 |
| ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ | 10 |
| 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ | 11 |
| 2 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ | 12 |
| 2.1 GNSS και γεωδαιτικές εφαρμογές..... | 12 |
| 2.1.1 GPS | 13 |
| 2.1.2 GLONASS | 13 |
| 2.1.3 Galileo..... | 14 |
| 2.1.4 BeiDou | 14 |
| 2.2 Γεωδαιτικές μετρήσεις GNSS | 15 |
| 2.3 Ποιότητα μετρήσεων GNSS..... | 16 |
| 2.3.1 Θόρυβος μέτρησης – SNR..... | 16 |
| 2.3.2 Διακοπές λήψης (loss of lock) – Ολίσθηση κύκλων | 17 |
| 2.3.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα των μετρήσεων | 18 |
| 2.4 Μέθοδοι ανίχνευσης και διόρθωσης ολίσθησης κύκλων..... | 19 |
| 2.4.1 Μέθοδος Ionospheric Residual | 20 |
| 2.4.2 Μέθοδος των διαφορών | 21 |
| 2.4.3 Άλλες μέθοδοι..... | 23 |
| 2.5 Διαθέσιμα λογισμικά για τον εντοπισμό ολίσθησης κύκλων..... | 25 |
| 3 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΠΟΥ ΑΝΑΠΤΥΧΘΗΚΕ | 27 |
| 3.1 Εισαγωγή στο Matlab και στο Λογισμικό..... | 27 |
| 3.2 Πηγαίος κώδικας και εκτέλεση λογισμικού..... | 28 |
| 3.3 Case 1: Snr Analysis | 31 |
| 3.4 Case 2: Cycle Slip Detection..... | 37 |
| 4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ | 46 |
| 4.1 Ανάλυση SNR | 46 |
| 4.1.1 Περιοχή μελέτης | 46 |
| 4.1.2 Στοιχεία εξοπλισμού | 51 |
| 4.1.3 Σύγκριση αποτελεσμάτων..... | 52 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 4.2 | Προσδιορισμός Ολίσθησης Κύκλων (Cycle Slips)..... | 54 |
| 4.2.1 | Σύγκριση μετρήσεων κάτω από δέντρα..... | 54 |
| 4.2.1.1 | Περιοχή μελέτης και εξοπλισμός..... | 55 |
| 4.2.1.2 | Μέθοδος Ionospheric Residual..... | 55 |
| 4.2.1.3 | Μέθοδος Διαφορών..... | 68 |
| 4.2.2 | Σύγκριση δεκτών χαμηλού κόστους..... | 76 |
| 4.2.2.1 | Περιοχή μελέτης..... | 76 |
| 4.2.2.2 | Στοιχεία εξοπλισμού..... | 79 |
| 4.2.2.3 | Μέθοδος Ionospheric Residual..... | 82 |
| 4.2.2.4 | Μέθοδος Διαφορών..... | 94 |
| 4.2.3 | Σύγκριση μεθόδων προσδιορισμού ολίσθησης κύκλων..... | 102 |
| 4.2.4 | Σύγκριση ανάμεσα στα δορυφορικά συστήματα GPS - Galileo..... | 104 |
| 4.2.5 | Σύγκριση των σημάτων στους δέκτες μεσαίου και χαμηλού κόστους..... | 106 |
| 5 | ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ | 108 |
| | ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ - ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΕΣ ΠΗΓΕΣ | 110 |
| | ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α΄ | 111 |

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

| | |
|---------|---|
| GNSS | Global Navigation Satellite System |
| GPS | Global Positioning System |
| GLONASS | GLObal Navigation Satellite System |
| BDS | BeiDou Navigation Satellite System |
| SNR | Signal to Noise Ratio |
| DOP | Dilution of Precision |
| RFI | Radio Frequency Interferences |
| BPSK | Binary Phase Shift Keying |
| BOC | Binary Offset Carrier |
| TMBOC | Time-Multiplexed Binary Offset Carrier |
| CBOC | Composite Binary Offset Carrier |
| AltBOC | Alternate Binary Offset Carrier |
| PIR | Phase Ionospheric Residual |
| FBMWA | Forward and Backward Moving Window Averaging |
| IOD | Ionospheric Delay |
| TEQC | Toolkit for GPS/GLONASS Data Editing Quality Checking and Translation |

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα Παγκόσμια Δορυφορικά Συστήματα Πλοήγησης (GNSS) έχουν καθιερωθεί ως βασική τεχνολογία για ακριβείς γεωδαιτικές μετρήσεις, παρέχοντας τη δυνατότητα προσδιορισμού θέσης με ακρίβεια χιλιοστών σε παγκόσμια κλίμακα. Συστήματα όπως το GPS, το GLONASS, το Galileo και το BeiDou χρησιμοποιούνται σε ποικίλες εφαρμογές, όπως η τοπογραφία, η πλοήγηση, η γεωφυσική έρευνα και η παρακολούθηση γεωδυναμικών φαινομένων. Ωστόσο, οι μετρήσεις GNSS επηρεάζονται από διάφορα σφάλματα, όπως το φαινόμενο πολλαπλών διαδρομών (multipath), οι ατμοσφαιρικές επιδράσεις και οι ολισθήσεις κύκλων, τα οποία μειώνουν την ακρίβεια και την αξιοπιστία των δεδομένων.

Ο σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η ανάπτυξη λογισμικού για τη συγκριτική αξιολόγηση της ποιότητας των πρωτογενών γεωδαιτικών μετρήσεων GNSS. Το λογισμικό, το οποίο αναπτύχθηκε στο περιβάλλον MATLAB, παρέχει δυνατότητες ανάλυσης και οπτικοποίησης του σηματοθορυβικού λόγου (SNR) καθώς και του εντοπισμού ολισθήσεων κύκλων έτσι ώστε να υπάρξει καλύτερη κατανόηση των παραμέτρων που επηρεάζουν την ακρίβεια των μετρήσεων υπό διάφορες συνθήκες.

Είναι γνωστό ότι η τιμές του σηματοθορυβικού λόγου αντανακλούν άμεσα την ποιότητα των μετρήσεων. Έτσι, ένας βασικός στόχος του λογισμικού που αναπτύχθηκε ήταν να αναπαριστά γραφικά τις τιμές του SNR για όλο το διάστημα της μέτρησης, για όποιο δορυφόρο και για όποιο από τα σήματα που εκπέμπει ο συγκεκριμένος δορυφόρος επιλέξει ο χρήστης. Σε ότι αφορά τον εντοπισμό ολισθήσεων κύκλων, ο στόχος ήταν να μπορεί ο χρήστης να κάνει τον έλεγχο σε επίπεδο ενός δέκτη, καθώς η πιο συνηθισμένη μέθοδος είναι αυτή των διαφορών η οποία όμως προϋποθέτει την ύπαρξη δύο δεκτών, οπότε δεν προκύπτει άμεσα, σε ποιόν από τους δύο δέκτες έχει συμβεί η ολισθήση κύκλων. Η μέθοδος των διαφορών πάντως αξιοποιήθηκε στο πλαίσιο της εργασίας για διασταύρωση των αποτελεσμάτων του λογισμικού, καθώς είναι μία ιδιαίτερα αξιόπιστη μέθοδος, αν και δεν μπορεί να εφαρμοστεί όταν διαθέτουμε μετρήσεις ενός μόνο δέκτη.

Στόχος της εργασίας είναι η χρήση των δυνατοτήτων του λογισμικού για την ανάλυση δεδομένων από δύο διαφορετικές μελέτες που πραγματοποιήθηκαν. Η πρώτη μελέτη είχε ως στόχο τη σύγκριση των δεδομένων ανάμεσα σε δύο ίδιους γεωδαιτικούς δέκτες υψηλής ποιότητας, πραγματοποιήθηκε στην περιοχή της Αγίας Παρασκευής, όπου ο ένας τοποθετήθηκε σε ταράτσα κτηρίου ώστε να υπάρχουν όσο το δυνατόν λιγότερα εμπόδια και multipath. Ο δεύτερος δέκτης τοποθετήθηκε διαδοχικά κάτω από δύο δέντρα, προκειμένου να αναλυθεί κατά πόσο η παρουσία φυλλωμάτων επηρεάζει την ποιότητα των μετρήσεων.

Η δεύτερη μελέτη επικεντρώνεται στη σύγκριση των δεδομένων μεταξύ δεκτών διαφορετικού κόστους. Η μελέτη αυτή πραγματοποιήθηκε στο Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής (ΠΑ.Δ.Α.), όπου υπάρχει εγκατεστημένος ένας μόνιμος σταθμός αναφοράς που χρησιμοποιεί γεωδαιτικό δέκτη, καθώς και δυο δέκτες, ένας μεσαίου και ένας χαμηλού κόστους. Η σύγκριση αυτή πραγματοποιήθηκε με αφορμή την αυξανόμενη χρήση δεκτών χαμηλού κόστους σε γεωδαιτικές εφαρμογές και έχει ως στόχο την αξιολόγηση της συσχέτισης μεταξύ κόστους δέκτη και ποιότητας μετρήσεων.

2 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

2.1 GNSS και γεωδαιτικές εφαρμογές

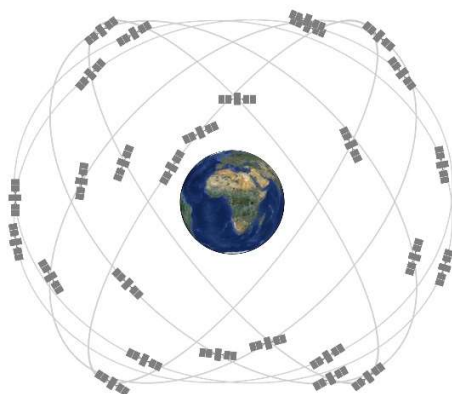
Τα Παγκόσμια Δορυφορικά Συστήματα Πλοήγησης (Global Navigation Satellite Systems, GNSS) είναι μια τεχνολογία που επιτρέπει τον προσδιορισμό θέσης και χρόνου οπουδήποτε στον πλανήτη, χρησιμοποιώντας σήματα από δορυφόρους σε τροχιά γύρω από τη Γη. Εκτός από τις απλές χρήσεις τους, τα GNSS χρησιμοποιούνται ευρέως και σε γεωδαιτικές εφαρμογές που απαιτούν ακριβή δεδομένα προσδιορισμού θέσης. Βασικές εφαρμογές περιλαμβάνουν τις τοπογραφικές μετρήσεις, όπου τα συστήματα GNSS επιτρέπουν την ακριβή καταγραφή σημείων και αποστάσεων με τεχνικές όπως ο στατικός και ο κινηματικός προσδιορισμός θέσης, προσφέροντας ακρίβεια mm σε τοπογραφικές εφαρμογές. Επιπλέον, χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση γεωδυναμικών φαινομένων, όπως η κίνηση των τεκτονικών πλακών, σεισμών και καθιζήσεων, παρέχοντας σημαντικά δεδομένα για τη γεωλογία και τη γεωφυσική. Άλλες εφαρμογές περιλαμβάνουν τη χαρτογράφηση και τα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS), όπου τα GNSS βοηθούν στη συλλογή και ανάλυση γεωχωρικών δεδομένων, επιτρέποντας την ακριβή απεικόνιση περιοχών και τη διαχείριση γης. Υπάρχουν τέσσερα κύρια συστήματα GNSS που είναι σε λειτουργία, το καθένα αναπτυγμένο από διαφορετικές χώρες τα οποία απεικονίζονται στην Εικόνα 2.1 και παρουσιάζονται παρακάτω.



Εικόνα 2.1 Τα τέσσερα βασικά GNSS (www.bodet-time.com)

2.1.1 GPS

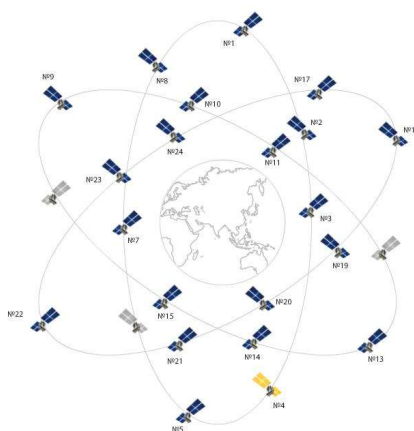
Το GPS (Global Positioning System) αναπτύχθηκε από τις ΗΠΑ και είναι το πιο γνωστό και διαδεδομένο δορυφορικό σύστημα. Ξεκίνησε να σχεδιάζεται τη δεκαετία του 1970 και το σύστημα κηρύχθηκε πλήρως λειτουργικό το 1993. Το σύστημα αποτελείται σήμερα από 31 δορυφόρους που βρίσκονται σε μεσαίας περί τη Γη τροχιά (βλ. Εικόνα 2.2), καθώς και από ένα παγκόσμιο δίκτυο εδάφους (το Τμήμα Ελέγχου) που παρακολουθεί και ελέγχει τους δορυφόρους (Teunissen, 2017).



Εικόνα 2.2: Αστερισμός δορυφόρων GPS (gps.gov)

2.1.2 GLONASS

Το GLONASS (Global Navigation Satellite System) είναι ένα δορυφορικό σύστημα που αναπτύχθηκε από την πρώην Σοβιετική Ένωση και προσφέρει παρόμοιες υπηρεσίες με το GPS. Η ανάπτυξη του ξεκίνησε τη δεκαετία του 1970 και ο πρώτος δοκιμαστικός δορυφόρος εκτοξεύτηκε το 1982. Το σύστημα έγινε πλήρως λειτουργικό το 1995 με 24 δορυφόρους (Εικόνα 2.3). Παρά τις προκλήσεις που αντιμετώπισε στις αρχές του 2000 με τον περιορισμένο αριθμό ενεργών δορυφόρων για κοντά μια δεκαετία, το GLONASS έφτασε ξανά στο πλήρες επίπεδο κάλυψης το (Teunissen, 2017).



Εικόνα 2.3: Αστερισμός δορυφόρων GLONASS (esa.int)

2.1.3 Galileo

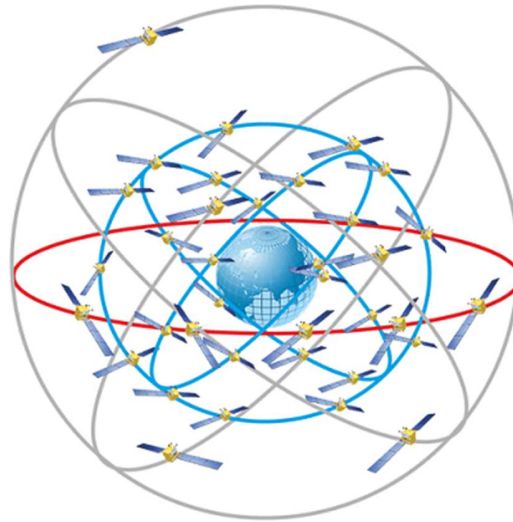
Το Galileo είναι το παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα πλοήγησης που έχει αναπτυχθεί στην Ευρώπη, αποτελείται σήμερα από 25 λειτουργικούς δορυφόρους (από ένα σύνολο 32 δορυφόρων που βρίσκονται σε τροχιά) συνολικά, όπου όλοι εκτός από δύο, βρίσκονται σε τρία κυκλικά επίπεδα μεσαίας περί τη Γη τροχιάς (Εικόνα 2.4). Βρίσκεται υπό πολιτικό έλεγχο και παρέχει τις αρχικές του υπηρεσίες από τον Δεκέμβριο του 2016. Είναι διαλειτουργικό με τα συστήματα GPS και GLONASS, τα παγκόσμια δορυφορικά συστήματα πλοήγησης των ΗΠΑ και της Ρωσίας (European Space Agency, 2024), (European Union Agency for the Space Programme, 2024).



Εικόνα 2.4: Αστερισμός δορυφόρων Galileo (gmv.com)

2.1.4 BeiDou

Το BeiDou (BDS) είναι το δορυφορικό σύστημα πλοήγησης που αναπτύχθηκε από την Κίνα και παρέχει παρόμοιες υπηρεσίες με το GPS και το GLONASS. Η ανάπτυξή του ξεκίνησε τη δεκαετία του 1990, και το σύστημα έχει εξελιχθεί από μια περιφερειακή υπηρεσία που κάλυπτε την Κίνα και την περιοχή Ασίας-Ειρηνικού σε ένα πλήρως λειτουργικό παγκόσμιο σύστημα. Η αρχική έκδοση του συστήματος, γνωστή ως BDS-1, παρείχε περιφερειακή κάλυψη, αλλά από το 2020 το BeiDou έχει επεκταθεί σε παγκόσμια κλίμακα με τη χρήση περισσότερων από 30 δορυφόρων (Εικόνα 2.5), παρέχοντας ακριβή δεδομένα θέσης, χρόνου και ταχύτητας σε διάφορους χρήστες ανά τον κόσμο (Lu et al., 2020).

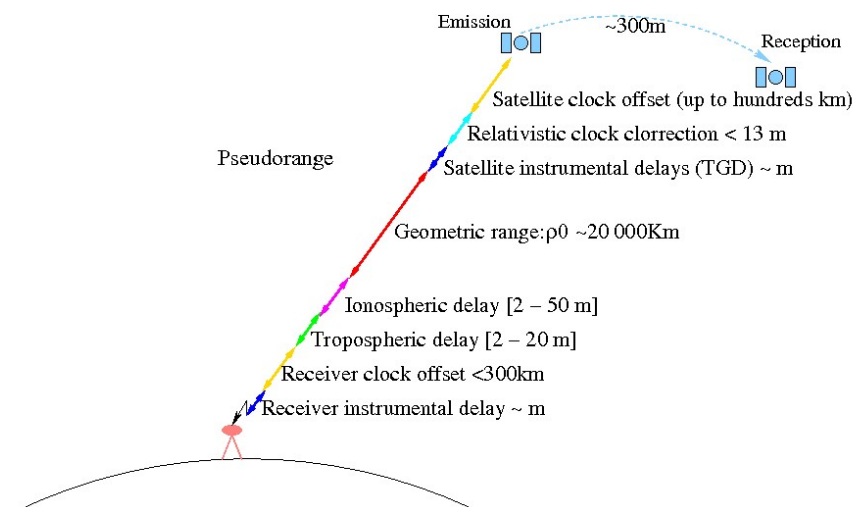


Εικόνα 2.5: Αστερισμός δορυφόρων BeiDou (everythingrf.com)

2.2 Γεωδαιτικές μετρήσεις GNSS

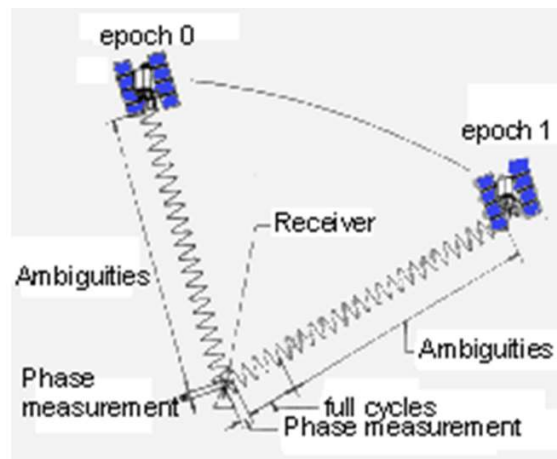
Οι μετρήσεις GNSS χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες: τις Μετρήσεις Κώδικα (Pseudorange Measurements) και τις Μετρήσεις Φάσης Φέροντος Σήματος (Carrier Phase Measurements).

Οι μετρήσεις κώδικα (Pseudorange Measurements) βασίζονται στον υπολογισμό της ψευδοαπόστασης, δηλαδή της εκτιμώμενης απόστασης μεταξύ του δορυφόρου και του δέκτη, με βάση τον χρόνο που χρειάζεται το σήμα να φτάσει από τον δορυφόρο στον δέκτη. Οι μετρήσεις απόστασης με τον κώδικα ονομάζονται ψευδοαποστάσεις γιατί περιέχουν σημαντικότερα σφάλματα λόγω των σφαλμάτων των χρονομέτρων των δορυφόρων και των δεκτών, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.6. Αυτές οι μετρήσεις προσφέρουν σχετικά χαμηλότερη ακρίβεια και χρησιμοποιούνται κυρίως σε εφαρμογές όπως η πλοήγηση αυτοκινήτων.



Εικόνα 2.6: Μετρήσεις κώδικα δέκτη (gssc.esa.int)

Από την άλλη πλευρά, οι μετρήσεις φάσης του φέροντος σήματος (Carrier Phase Measurements) είναι πιο ακριβείς και χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές όπως η γεωδαισία, όπου απαιτείται ακρίβεια χιλιοστού. Η μέθοδος βασίζεται στη μέτρηση της διαφοράς φάσης ανάμεσα στο σήμα που παράγεται από το δέκτη και στο σήμα που εκπέμπεται από το δορυφόρο, επιτρέποντας τον ακριβή υπολογισμό αποστάσεων (Εικόνα 2.7).



Εικόνα 2.7: Διάγραμμα της μέτρησης φάσης (gssc.esa.int)

Ωστόσο, οι μετρήσεις GNSS μπορεί να επηρεαστούν από διάφορα σφάλματα, που επηρεάζουν την ακρίβεια των δεδομένων. Αυτά περιλαμβάνουν την ολίσθηση κύκλων (cycle slips), η οποία είναι ασυνέχειες στη λήψη της φάσης του σήματος με μέγεθος ενός ή περισσότερων κύκλων λόγω προβλημάτων στη λήψη του σήματος, όπως παρεμβολές ή εμπόδια. Άλλα σφάλματα περιλαμβάνουν τα σφάλματα ιονόσφαιρας και τροπόσφαιρας, όπου η διέλευση του σήματος μέσω της ατμόσφαιρας μπορεί να προκαλέσει καθυστερήσεις ή διαταραχές που επηρεάζουν την ακρίβεια. Επιπλέον, τα σφάλματα ρολογιού του δέκτη και του δορυφόρου επηρεάζουν τη χρονική ακρίβεια των μετρήσεων. Το φαινόμενο του (multipath), όπου το σήμα ανακλάται σε επιφάνειες προτού φτάσει στον δέκτη, μπορεί επίσης να προκαλέσει σημαντικά σφάλματα. Τέλος, τα σφάλματα γεωμετρίας δορυφόρων (DOP) σχετίζονται με τη διάταξη των δορυφόρων στον ουρανό και μπορεί να επηρεάσουν την ακρίβεια των μετρήσεων, ειδικά όταν οι δορυφόροι είναι κοντά μεταξύ τους (Teunissen, 2017).

2.3 Ποιότητα μετρήσεων GNSS

Η ποιότητα των μετρήσεων GNSS εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, οι οποίοι μπορούν να επηρεάσουν την ακρίβεια και την αξιοπιστία των δεδομένων θέσης που λαμβάνονται από το σύστημα.

2.3.1 Θόρυβος μέτρησης – SNR

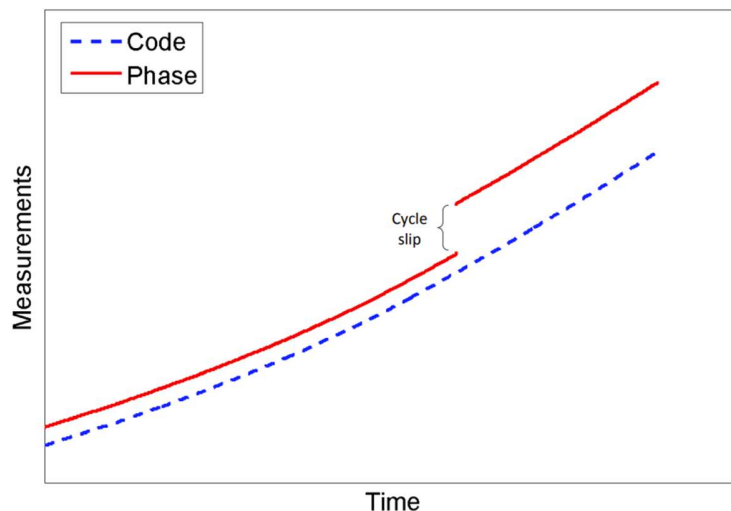
Ο θόρυβος μέτρησης GNSS είναι ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την ποιότητα των δεδομένων, και συνδέεται στενά με τον λόγο σήματος προς θόρυβο (SNR: Signal to Noise ratio). Το SNR μετρά την ισχύ του σήματος σε σχέση με τον θόρυβο που το συνοδεύει, και χρησιμοποιείται ως

δείκτης για την αξιολόγηση της ποιότητας των μετρήσεων. Όταν το SNR είναι υψηλό τότε δείχνει ότι το σήμα GNSS είναι ισχυρό και έχει λιγότερο θόρυβο, κάτι που οδηγεί σε ακριβέστερες μετρήσεις. Σε αυτές τις περιπτώσεις, τα σφάλματα όπως η ολίσθηση κύκλων (cycle slips) ή το φαινόμενο multipath είναι λιγότερο πιθανά. Συνήθως παρατηρείται σε ανοικτές περιοχές χωρίς εμπόδια και με καλή ατμοσφαιρική διαύγεια. Όταν το SNR είναι χαμηλό, το σήμα είναι πιο επιρρεπές σε θόρυβο, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε ανακρίβειες, όπως απώλεια σήματος ή διακοπές λήψης (Loss of Lock). Το χαμηλό SNR είναι συχνότερο σε περιοχές με εμπόδια, όπως κτίρια, δέντρα, ή κάτω από δύσκολες καιρικές συνθήκες (Liu et al., 2023).

2.3.2 Διακοπές λήψης (loss of lock) – Ολίσθηση κύκλων

Ο όρος loss of lock (απώλεια σήματος) αναφέρεται στην κατάσταση όπου ο δέκτης GPS χάνει προσωρινά την ικανότητά του να παρακολουθεί και να καταγράφει συνεχώς τη φάση του σήματος από τον δορυφόρο. Αυτό το φαινόμενο μπορεί να προκληθεί από διάφορους παράγοντες, όπως φυσικά εμπόδια (π.χ., κτίρια ή βουνά), ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές ή απότομες κινήσεις του δέκτη. Η απώλεια αυτή διακόπτει την ομαλή λήψη των δεδομένων και συνδέεται με σφάλματα λόγω ολίσθησης κύκλων (cycle slips), όπου χάνονται κύκλοι του φέροντος κύματος και απαιτείται να αποκατασταθεί η διαδικασία καταγραφής τους (Xu, 2007).

Η ολίσθηση κύκλων (cycle slips) αναφέρεται σε μια διακοπή στη συνεχή καταγραφή της φάσης του σήματος κατά τη λήψη δεδομένων GPS. Αυτή η διακοπή προκαλεί ένα ξαφνικό "άλμα" στις παρατηρήσεις της φάσης (βλ. Εικόνα 2.8), το οποίο αντιστοιχεί σε έναν ακέραιο αριθμό κύκλων. Αυτό το γεγονός διαταράσσει τη συνέχεια των δεδομένων της φάσης και δυσχεραίνει την επίλυση της ασάφειας στις μετρήσεις του GPS. (Xu, 2007).



Εικόνα 2.8: Ολίσθηση κύκλων (Karaim et al, 2014)

2.3.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα των μετρήσεων

Οι μετρήσεις GNSS επηρεάζονται από διάφορους παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν την ακρίβεια και την αξιοπιστία τους. Οι κυριότεροι παράγοντες περιλαμβάνουν την ποιότητα του δέκτη και της κεραίας, τις ατμοσφαιρικές επιδράσεις (ιονόσφαιρα, τροπόσφαιρα), τις ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές, και τα χαρακτηριστικά του σήματος GNSS.

Ποιότητα Δέκτη και Κεραίας

Όπως θα αναλυθεί και παρακάτω στην παρούσα πτυχιακή, η ποιότητα του δέκτη GNSS και της κεραίας παίζει καθοριστικό ρόλο στην αξιοπιστία των μετρήσεων. Ένας υψηλής ποιότητας δέκτης με προηγμένες δυνατότητες φιλτραρίσματος και επεξεργασίας σήματος μπορεί να βελτιώσει την ακρίβεια των μετρήσεων μειώνοντας τα σφάλματα που προέρχονται από θορύβους και παρεμβολές.

Ατμοσφαιρικές Επιπτώσεις: Ιονόσφαιρα και Τροπόσφαιρα

Η ατμόσφαιρα της Γης επηρεάζει σημαντικά τα σήματα GNSS, κυρίως μέσω της ιονόσφαιρας και της τροπόσφαιρας. Η ιονόσφαιρα, που περιέχει φορτισμένα σωματίδια, μπορεί να καθυστερήσει ή να διασκορπίσει το σήμα, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια έντονης ηλιακής δραστηριότητας ή γεωμαγνητικών καταιγίδων. Αυτό προκαλεί διαφορές στο χρόνο άφιξης του σήματος, επηρεάζοντας την ακρίβεια της θέσης. Αντίστοιχα, η τροπόσφαιρα προκαλεί καθυστερήσεις λόγω της υγρασίας και της πυκνότητας της ατμόσφαιρας, ειδικά σε περιοχές με έντονες καιρικές συνθήκες.

Ηλεκτρομαγνητικές Παρεμβολές (RFI)

Οι ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές (RFI: Radio Frequency Interferences) προέρχονται από άλλες ηλεκτρονικές συσκευές ή από ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως τα ραδιοκύματα, που μπορεί να προκαλέσουν θόρυβο ή παρεμβολές στο σήμα GNSS. Αυτές οι παρεμβολές μπορούν να οδηγήσουν σε απότομες διακοπές της λήψης σήματος ή και στην εμφάνιση ολίσθησης κύκλων ή ακόμα και σε αδυναμία λήψης των σημάτων από το δέκτη. Για την αντιμετώπιση των παρεμβολών, οι δέκτες χρησιμοποιούν προηγμένες τεχνικές φιλτραρίσματος και παρακολούθησης σήματος (Kim et al, 2014).

Χαρακτηριστικά Σήματος GNSS

Επιπλέον, με βάση το άρθρο των Γιαννίου, Mastoris, κ.ά., (2022), η απόδοση των σημάτων GNSS εξαρτάται από τον ρυθμό του κωδικού εύρους (ranging code) και από τη μέθοδο διαμόρφωσης. Το BPSK, που χρησιμοποιείται στα παλαιότερα σήματα του GPS, του GLONASS, και του BeiDou-2, προσφέρει αξιοπιστία, ενώ οι σύγχρονες τεχνικές αναδιαμόρφωσης, όπως το BOC και οι παραλλαγές του (TMBOC, CBOC, AltBOC), βελτιώνουν την ακρίβεια και την ανθεκτικότητα των σημάτων, προσφέροντας καλύτερη απόδοση σε σύγχρονα συστήματα GNSS, όπως το Galileo.

Γενικά η ποιότητα του σήματος GNSS επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, όπως η συχνότητα του σήματος, η γεωμετρία των δορυφόρων και η θέση τους στον ουρανό. Τα σήματα που προέρχονται από δορυφόρους χαμηλής γωνίας ανύψωσης είναι πιο πιθανό να επηρεαστούν από θόρυβο και παρεμβολές. Επίσης, τα σήματα πολλαπλών συχνοτήτων (dual-frequency) μπορούν να προσφέρουν υψηλότερη ακρίβεια, διότι επιτρέπουν τη διόρθωση των ατμοσφαιρικών επιδράσεων με μεγαλύτερη ακρίβεια σε σύγκριση με τα σήματα μίας συχνότητας (Kim et al, 2014).

2.4 Μέθοδοι ανίχνευσης και διόρθωσης ολίσθησης κύκλων

Στα πρώτα στάδια της χρήσης του GPS, οι στατικές εφαρμογές αποτέλεσαν το κύριο πεδίο ενδιαφέροντος για την ανίχνευση της ολίσθησης κύκλων (cycle slips). Οι στατικές παρατηρήσεις, όπου οι μετρήσεις πραγματοποιούνται σε σταθερά σημεία, επιτρέπουν την εφαρμογή πιο απλών μεθόδων ανίχνευσης λόγω της περιορισμένης δυναμικής των δεδομένων. Μία από τις πρώτες και πιο διαδεδομένες μεθόδους είναι η μέθοδος (Phase Ionospheric Residual, PIR), η οποία χρησιμοποιήθηκε κυρίως για τη στατική ανίχνευση της ολίσθησης κύκλων (cycle slips). Η μέθοδος αυτή, αναπτύχθηκε αρχικά από τον Goad το 1985, και βασίζεται στην ανάλυση του Ionospheric Residual. Η πολυωνυμική προσαρμογή (Polynomial Fitting), εισήχθη από τους Lichtenegger και Hofmann-Wellenhof το 1989, και εφαρμόζεται κυρίως στις στατικές μετρήσεις. Αυτή η μέθοδος βασίζεται στην προσαρμογή των δεδομένων σε ένα πολυώνυμο, επιτρέποντας την ανίχνευση διαφορών που υποδηλώνουν την ύπαρξη ολίσθησης κύκλων. Μια άλλη σημαντική μέθοδος, η μέθοδος (High-Order and Time-Difference Method), προτάθηκε από τον Kleusberg το 1993 και χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό ολίσθησης κύκλων με βάση τις διαφορές μεταξύ διαδοχικών παρατηρήσεων. Αυτή η μέθοδος είναι αποτελεσματική στις στατικές συνθήκες, αλλά μπορεί να εμφανίζει περιορισμούς όταν εφαρμόζεται σε περιπτώσεις με έντονες μεταβολές.

Με την ανάπτυξη των τεχνολογιών GPS και την ανάγκη για ακριβείς κινηματικές μετρήσεις, αναπτύχθηκαν πιο σύνθετες μέθοδοι για την ανίχνευση και τη διόρθωση της ολίσθησης κύκλων, οι οποίες είναι κατάλληλες για τις απαιτήσεις των κινηματικών συνθηκών. Η μέθοδος φιλτραρίσματος Kalman είναι από τις πιο διαδεδομένες στις κινηματικές εφαρμογές. Αυτή η μέθοδος εφαρμόζεται σε πραγματικό χρόνο και χρησιμοποιείται ευρέως λόγω της ικανότητας της να εντοπίζει και να διορθώνει την ολίσθηση κύκλων ενώ ο δέκτης βρίσκεται σε κίνηση. Ο αλγόριθμος Kalman συνδυάζει τις μετρήσεις φάσης και κώδικα για τον προσδιορισμό και τη διόρθωση της ολίσθησης κύκλων, κάτι που τον καθιστά ιδανικό για εφαρμογές με πολλές μεταβολές. Η γραμμική συνδυαστική μέθοδος Melbourne-Wübbena είναι επίσης εξαιρετικά χρήσιμη, καθώς είναι ανεξάρτητη από τη γεωμετρία του δορυφορικού συστήματος και την ιονόσφαιρα, καθιστώντας την κατάλληλη για συνθήκες ταχείας ιονοσφαιρικής μεταβολής, οι οποίες είναι συχνές στις κινηματικές μετρήσεις. Τέλος, ο αλγόριθμος εξομάλυνσης (Forward and Backward Moving Window Averaging, FBMWA) είναι μία πρόσφατη

εξέλιξη που επιτρέπει την ανίχνευση ακόμα και των μικρότερων ολισθήσεων κύκλων με μεγάλη ακρίβεια σε κινηματικές συνθήκες.

Η εξέλιξη των μεθόδων ανίχνευσης και διόρθωσης της ολίσθησης κύκλων αντικατοπτρίζει την προσαρμογή των τεχνικών στις αυξημένες απαιτήσεις των σύγχρονων γεωδαιτικών και κινηματικών μετρήσεων. Καθώς οι εφαρμογές του GPS επεκτείνονται και απαιτούνται υψηλότερα επίπεδα ακρίβειας, οι μέθοδοι αυτές συνεχίζουν να εξελίσσονται, εξασφαλίζοντας τη βέλτιστη απόδοση ακόμη και στις πιο απαιτητικές συνθήκες.

2.4.1 Μέθοδος Ionospheric Residual

Η μέθοδος Ionospheric Residual αποτελεί μια αποτελεσματική τεχνική για την ανίχνευση και διόρθωση της ολίσθησης κύκλων (cycle slips) στα δεδομένα GNSS, ειδικά όταν χρησιμοποιούνται πολλαπλές συχνότητες. Οι ολισθήσεις κύκλου προκαλούν προβλήματα στις μετρήσεις φάσης, επηρεάζοντας την ακρίβεια του προσδιορισμού θέσης. Η μέθοδος βασίζεται στην ανάλυση των υπολοίπων που προκαλούνται από την ιονόσφαιρα όταν οι φάσεις των σημάτων σε διαφορετικές συχνότητες συγκρίνονται μεταξύ τους.

Όταν τα σήματα περνούν μέσω της ιονόσφαιρας, εισάγονται σφάλματα που εξαρτώνται από τη συχνότητα, και αυτά τα σφάλματα δεν μπορούν να αφαιρεθούν εντελώς. Σε ένα ιδανικό περιβάλλον κενού, το ιονοσφαιρικό σφάλμα θα ήταν μηδενικό. Ωστόσο, λόγω της ιονόσφαιρας, το Ionospheric Residual υπάρχει και μεταβάλλεται αργά με την πάροδο του χρόνου καθώς ο δορυφόρος κινείται και οι συνθήκες στην ιονόσφαιρα αλλάζουν (Roberts, 2017).

Το Ionospheric Residual υπολογίζεται με βάση τη διαφορά φάσης μεταξύ δύο διαφορετικών συχνοτήτων, όπως οι L1 και L2 για το GPS. Η εξίσωση που το περιγράφει είναι η εξής:

$$IR_a = \phi_a - \phi_b \cdot \left(\frac{f_a}{f_b}\right) + \epsilon \quad (1)$$

Όπου στην εξίσωση (1) ϕ_a και ϕ_b είναι οι φάσεις των σημάτων στις συχνότητες f_a και f_b αντίστοιχα, και ϵ είναι τα σφάλματα που προκύπτουν από την ιονόσφαιρα, την τροπόσφαιρα, τον θόρυβο του δέκτη, καθώς και από την αέρεια ασάφεια φάσης (Roberts, 1997). Όταν τα δεδομένα δεν εμφανίζουν ολίσθηση κύκλων, οι τιμές του Ionospheric Residual μεταξύ διαδοχικών χρονικών στιγμών είναι πολύ παρόμοιες.

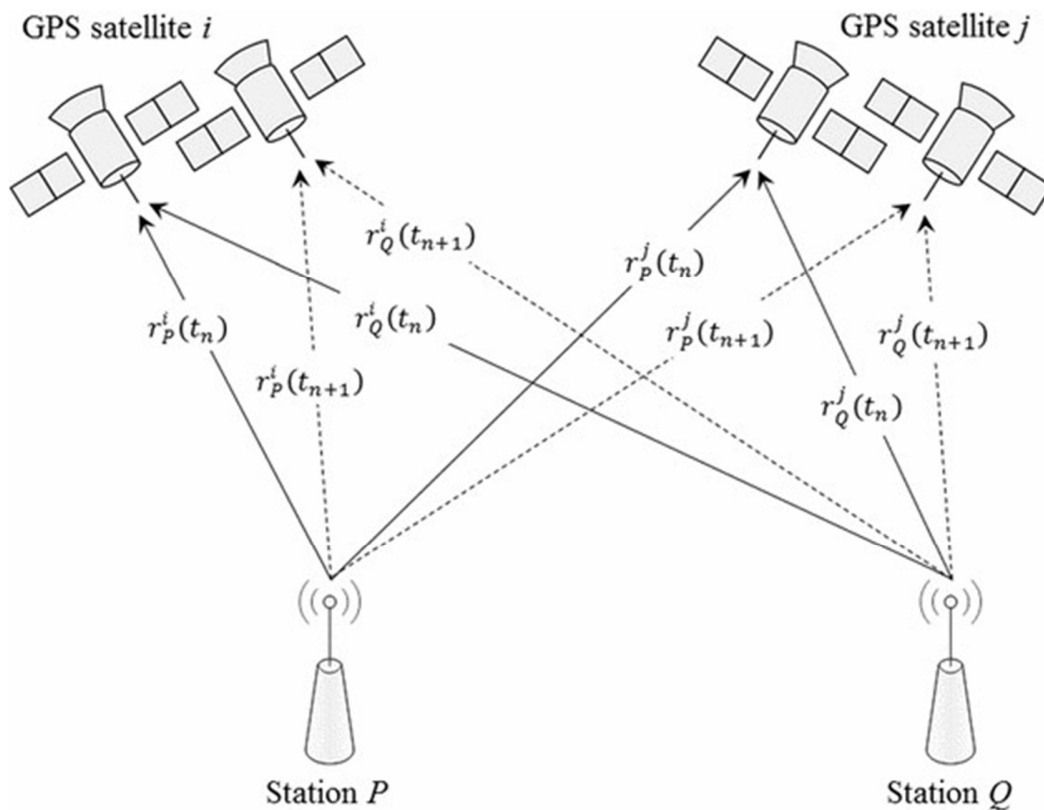
Η παρουσία ολίσθησης κύκλων προκαλεί απότομη μεταβολή στο Ionospheric Residual. Αυτό επιτρέπει τον εντοπισμό της ολίσθησης κύκλων, καθώς η μέθοδος συγκρίνει το Ionospheric Residual μεταξύ δύο διαδοχικών χρονικών στιγμών (εποχών) χρησιμοποιώντας την εξίσωση:

$$\delta IR = \left(\phi_a - \phi_b \cdot \frac{f_a}{f_b}\right)_i - \left(\phi_a - \phi_b \cdot \frac{f_a}{f_b}\right)_{i-1} \quad (2)$$

Αν μια ολίσθηση κύκλων έχει συμβεί μεταξύ δύο εποχών i και $i - 1$, τότε μία ή και οι δύο φάσεις ϕ_a ή ϕ_b θα έχουν επηρεαστεί, οδηγώντας σε απότομη αλλαγή στο Ionospheric Residual. Αυτή η μέθοδος είναι ιδιαίτερα χρήσιμη όταν συνδυάζεται με πολλαπλές συχνότητες και μπορεί να εφαρμοστεί σε συνδυασμό με άλλες τεχνικές για την ακριβή ανίχνευση και διόρθωση της ολίσθησης κύκλων (Roberts, 2017).

2.4.2 Μέθοδος των διαφορών

Άλλη μία μέθοδος που χρησιμοποιείται για την ανίχνευση αυτών των σφαλμάτων, χρησιμοποιούνται οι απλές, διπλές και τριπλές διαφορές των μετρήσεων, οι οποίες επιτρέπουν την εξάλειψη διαφορών σφαλμάτων και την ενίσχυση των χαρακτηριστικών που αναδεικνύουν τις ολισθήσεις κύκλου (Εικόνα 2.9).



Εικόνα 2.9: Απλές, Διπλές, Τριπλές Διαφορές (Jia et al., 2016)

Απλές Διαφορές

Η απλές διαφορές (single differences) υπολογίζονται μεταξύ των παρατηρήσεων φάσης από δύο δέκτες που παρακολουθούν το ίδιο δορυφόρο. Αυτή η διαφορά μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εξάλειψη κοινών σφαλμάτων, όπως τα σφάλματα του δορυφόρου.

$$SD_i^{P-Q,m}(t_1) = \lambda_m^{-1} (r_i^{P-Q}(t_1) - c\delta t^{P-Q} + d^{P-Q}(t_1) + \varepsilon_i^{P-Q,m}(t_1)) + N_i^{P-Q,m}(t_1) \quad (3)$$

Στην εξίσωση (3), $SD_i^{PQ,m}(t_1)$ είναι η απλή διαφορά για τον δορυφόρο i , που παρατηρείται από τους δέκτες P και Q στη συχνότητα m , r_i^P και r_i^Q είναι οι αποστάσεις από τον δορυφόρο i στους δέκτες P και Q αντίστοιχα, λ_m είναι το μήκος κύματος της συχνότητας m , δt^{P-Q} είναι η διαφορά στο ρολόι μεταξύ των δεκτών P και Q , $d^{P-Q}(t_1)$ είναι η διαφορά στην καθυστέρηση του υλισμικού (hardware) των δεκτών, $\varepsilon_i^{P-Q,m}(t_1)$ είναι τα σφάλματα πολλαπλής διαδρομής και θορύβου και $N_i^{PQ,m}(t_1)$ είναι η ακέραιη ασάφεια (integer ambiguity) για τη συγκεκριμένη διαφορά.

Διπλές Διαφορές

Η διπλές διαφορές (double differences) υπολογίζονται ως η διαφορά μεταξύ των απλών διαφορών που λαμβάνονται για δύο διαφορετικούς δορυφόρους, παρατηρούμενους από δύο διαφορετικούς δέκτες. Η διπλή διαφορά εξαλείφει επιπλέον τα σφάλματα της ιονόσφαιρας και του δέκτη, αφήνοντας μόνο τα σφάλματα που σχετίζονται με την τροχιά του δορυφόρου και τα σφάλματα πολλαπλής διαδρομής (multipath) (Jia et al., 2016).

$$DD_{i-j}^{PQ,m}(t_1) = \lambda_m^{-1} (\varepsilon_{i-j}^{P-Q,m}(t_1) + N_{i-j}^{P-Q,m}(t_1)) \quad (4)$$

Όπου στην εξίσωση (4), $DD_{i-j}^{PQ,m}(t_1)$ είναι η διπλή διαφορά μεταξύ των δορυφόρων i και j , μεταξύ των δεκτών P και Q στη συχνότητα m , $\varepsilon_{i-j}^{P-Q,m}(t_1)$ περιλαμβάνει τα σφάλματα πολλαπλής διαδρομής και θορύβου και $N_{i-j}^{P-Q,m}(t_1)$ είναι η διαφορά ακέραιης ασάφειας.

Τριπλές Διαφορές

Οι τριπλές διαφορές (triple differences) υπολογίζονται ως η διαφορά των διπλών διαφορών που λαμβάνονται σε διαδοχικές εποχές (epochs). Η τριπλή διαφορά εξαλείφει την ασάφεια των ακέραιων κύκλων (integer ambiguity) και εντοπίζει την ολίσθηση κύκλων με τη σύγκριση των διαφορών σε συνεχόμενες χρονικές στιγμές. Αυτό καθιστά τις τριπλές διαφορές ιδιαίτερα αποτελεσματικές για τον εντοπισμό απότομων αλλαγών στα δεδομένα, όπως η ολίσθηση κύκλων (Jia et al., 2016).

$$TD_{i-j}^{PQ,m}(t_{2-1}) = \lambda_m^{-1} (\varepsilon_{i-j}^{P-Q,m}(t_{2-1})) \quad (5)$$

Όπου στην εξίσωση (5) $TD_{i-j}^{PQ,m}(t_{2-1})$ είναι η τριπλή διαφορά μεταξύ των δορυφόρων i και j , που παρατηρούνται από τους δέκτες P και Q στη συχνότητα m , υπολογισμένη μεταξύ των εποχών t_1 και t_2 και $\varepsilon_{i-j}^{P-Q,m}(t_{2-1})$ είναι τα σφάλματα πολλαπλής διαδρομής και θορύβου για τους δορυφόρους i και j .

Οι απλές, διπλές και τριπλές διαφορές παρέχουν μια ιεραρχική προσέγγιση για την ανίχνευση και τη διόρθωση της ολίσθησης κύκλων, επιτρέποντας την απομόνωση και την ανάλυση των χαρακτηριστικών εκείνων των δεδομένων που υποδεικνύουν την παρουσία τέτοιων σφαλμάτων. Ειδικά η τριπλές διαφορές είναι εξαιρετικά αποτελεσματικές για την αναγνώριση μικρών ολισθήσεων κύκλου, που μπορεί να μην εντοπίζονται από τις απλές ή διπλές διαφορές.

2.4.3 Άλλες μέθοδοι

Αλγόριθμος Forward and Backward Moving Window Averaging (FBMWA)

Ο αλγόριθμος Forward and Backward Moving Window Averaging (FBMWA) αποτελεί μια μέθοδο για την ανίχνευση της ολίσθησης κύκλων (cycle slips) στις μετρήσεις GNSS, η οποία χρησιμοποιείται κυρίως σε εφαρμογές μετ-επεξεργασίας. Ο αλγόριθμος λειτουργεί με τη διαδικασία εξομάλυνσης σε δύο κατευθύνσεις, προς τα εμπρός και προς τα πίσω, για έναν καθορισμένο αριθμό χρονικών στιγμών (epochs). Αυτή η διπλής κατεύθυνσης προσέγγιση ενισχύει την ικανότητα του αλγορίθμου να μειώνει τον θόρυβο στις μετρήσεις, καθιστώντας τον ιδιαίτερα αποτελεσματικό στην ανίχνευση των ολισθήσεων κύκλων. Η αρχή του FBMWA είναι ότι πραγματοποιεί εξομάλυνση των διαφορών φάσης στις μετρήσεις σε δύο κατευθύνσεις για τον υπολογισμό των ολισθήσεων κύκλων. Ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί παραμέτρους όπως η απόσταση μεταξύ των παρατηρήσεων και ο αριθμός των εποχών για τη βέλτιστη ανίχνευση των ολισθήσεων (Hieu et al., 2014).

Η βασική εξίσωση που περιγράφει τον αλγόριθμο είναι:

$$\Delta\phi = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\varphi_i^{forward} + \varphi_i^{backward}) \quad (6)$$

Όπου $\Delta\phi$ είναι η διαφορά φάσης, $\varphi_i^{forward}$ και $\varphi_i^{backward}$ είναι οι μετρήσεις φάσης προς τα εμπρός και προς τα πίσω αντίστοιχα και n είναι ο αριθμός των εποχών.

Αλγόριθμος Kalman

Ο αλγόριθμος Kalman αποτελεί έναν από τους πιο διαδεδομένους αλγόριθμους για την ανίχνευση και διόρθωση των ολισθήσεων κύκλων (cycle slips) σε μετρήσεις GNSS. Χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της κατάστασης ενός συστήματος που εξελίσσεται με το χρόνο και υπόκειται σε τυχαίο θόρυβο. Ο αλγόριθμος βασίζεται στη συνεχή εκτίμηση των παραμέτρων του συστήματος και την προσαρμογή της εκτίμησης με βάση τα νέα δεδομένα που λαμβάνονται. Στην περίπτωση των GNSS, χρησιμοποιείται για να ανιχνεύσει σφάλματα στις μετρήσεις, όπως η ολίσθηση κύκλων, συνδυάζοντας δυναμικές προβλέψεις με τις μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο. Ο Kalman λειτουργεί με δύο βασικά στάδια: την πρόβλεψη (prediction) και την ενημέρωση (update). Στο πρώτο στάδιο, το σύστημα προβλέπει την επόμενη κατάσταση με βάση το τρέχον μοντέλο, ενώ στο δεύτερο στάδιο η πρόβλεψη βελτιώνεται με βάση τα δεδομένα που λαμβάνονται (Hieu et al., 2014).

Η μαθηματική μορφή του αλγορίθμου είναι ως εξής:

Πρόβλεψη κατάστασης:

$$x_{k|k-1} = F_{k,k-1}x_{k-1|k-1} + B_{k-1}u_{k-1} \quad (7)$$

Πρόβλεψη διακύμανσης σφάλματος:

$$P_{k|k-1} = F_{k,k-1}P_{k-1|k-1}F_{k,k-1}^T + G_{k-1}Q_{k-1}G_{k-1}^T \quad (8)$$

Ενημέρωση μετρήσεων (με την εισαγωγή νέων δεδομένων):

$$K_k = P_{k|k-1}H_k^T(H_kP_{k|k-1}H_k^T + R_k)^{-1} \quad (9)$$

$$x_{k|k} = x_{k|k-1} + K_k(y_k - H_kx_{k|k-1}) \quad (10)$$

$$P_{k|k} = P_{k|k-1} - K_kH_kP_{k|k-1} \quad (11)$$

Polynomial Fitting

Ο αλγόριθμος της πολυωνυμικής προσαρμογής (Polynomial Fitting) είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιείται ευρέως για την ανίχνευση της ολίσθησης κύκλων στις μετρήσεις φάσης φορέα των GNSS. Αυτή η μέθοδος είναι απλή και εύκολη στην προγραμματιστική εφαρμογή, αλλά επηρεάζεται από τα σφάλματα των παρατηρήσεων και τους ρυθμούς δειγματοληψίας (Wang et al., 2016).

Το μοντέλο της πολυωνυμικής προσαρμογής περιγράφεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$\tilde{u}_i = a_0 + a_1(t_1 - t_0) + a_2(t_1 - t_0)^2 + \dots + a_n(t_i - t_0)^n \quad (12)$$

Αφού γίνουν οι πρώτες παρατηρήσεις και υπολογιστούν οι συντελεστές, η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη των μελλοντικών τιμών φάσης. Εάν οι παρατηρηθείσες και προβλεπόμενες τιμές αποκλίνουν σημαντικά, μπορεί να υπάρχει ολίσθηση κύκλων.

2.5 Διαθέσιμα λογισμικά για τον εντοπισμό ολίσθησης κύκλων

G-Nut/Anubis

Το G-Nut/Anubis είναι ένα λογισμικό ανοικτού κώδικα που τρέχει σε λογισμικό Linux, αναπτύχθηκε από το Geodetic Observatory Pecny (GOP) στο Research Institute of Geodesy, Topography and Cartography (RIGTC) της Τσεχίας, με στόχο την ποιοτική και ποσοτική ανάλυση δεδομένων GNSS. Η ανάπτυξή του ξεκίνησε το 2011, και έχει εξελιχθεί σε ένα εργαλείο για τον έλεγχο της ποιότητας των δεδομένων, την ανίχνευση ολισθήσεων κύκλων (cycle slips) και τη διαχείριση παρατηρήσεων GNSS από συστοιχίες δορυφόρων, όπως GPS, Galileo, BeiDou και GLONASS. Για την εύρεση της ολίσθησης κύκλων χρησιμοποιεί την μέθοδο Melbourne-Wübbena η οποία εντοπίζει απότομες αλλαγές στις φάσεις των σημάτων GNSS (Vaclavonic et al., 2016).

TEQC

Το TEQC (Toolkit for GPS/GLONASS Data Editing, Quality Checking, and Translation) αναπτύχθηκε από τη UNAVCO το 1996 και αποτέλεσε ένα βασικό εργαλείο για την επεξεργασία, τη μετάφραση και τον ποιοτικό έλεγχο δεδομένων GNSS. Χρησιμοποιείται ευρέως για την ανίχνευση ολίσθησης κύκλων (cycle slips), την ανάλυση πολλαπλών διαδρομών (multipath) και την αξιολόγηση της ποιότητας των δεδομένων GNSS. Χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό και την επεξεργασία σφαλμάτων στις μετρήσεις, με ιδιαίτερη έμφαση στη διόρθωση της ολίσθησης κύκλων (cycle slips). Η ανίχνευση της ολίσθησης κύκλων βασίζεται στον υπολογισμό του ρυθμού αλλαγής της καθυστέρησης της ιονόσφαιρας (IOD - Ionospheric Delay) (Estey & Meertens, 1999).

Λογισμικό σε Matlab για την ανίχνευση ολίσθησης κύκλων σε GPS δέκτες

Το MATLAB λογισμικό για την επεξεργασία των cycle slips στο GPS παρουσιάστηκε από τον Zhen Dai το 2012. Το λογισμικό αυτό επικεντρώνεται στην ανίχνευση και διόρθωση των cycle slips για τα σήματα GPS L1 και L2. Υποστηρίζει τη χρήση αλγορίθμων για επεξεργασία σε πραγματικό χρόνο. Το λογισμικό επιτρέπει στον χρήστη να ρυθμίζει παραμέτρους αλγορίθμων και να προσθέτει συνθετικά cycle slips για σκοπούς δοκιμής. Χρησιμοποιεί τις μεθόδους High-Order and Time-Difference Method και Polyominal Fitting για την ανίχνευση της ολίσθησης κύκλων. Για τη βελτίωση της ανίχνευσης των cycle slips, συνδυάζοντας μεθόδους φάσης και κώδικα. Οι μετρήσεις Doppler ενσωματώνονται επίσης καθώς είναι λιγότερο ευαίσθητες στην ολίσθηση κύκλων (Dai, 2012).

Κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας πτυχιακής, το λογισμικό χρησιμοποιήθηκε για την επαλήθευση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από το λογισμικό που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο της μελέτης. Ωστόσο, το λογισμικό αυτό σε κάποιες περιπτώσεις αποδείχθηκε αναξιόπιστο, καθώς τα αποτελέσματα που παρήχθησαν δεν ήταν συνεπή με τις παραμέτρους που είχαν οριστεί εξ αρχής.

3 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΠΟΥ ΑΝΑΠΤΥΧΘΗΚΕ

3.1 Εισαγωγή στο Matlab και στο Λογισμικό

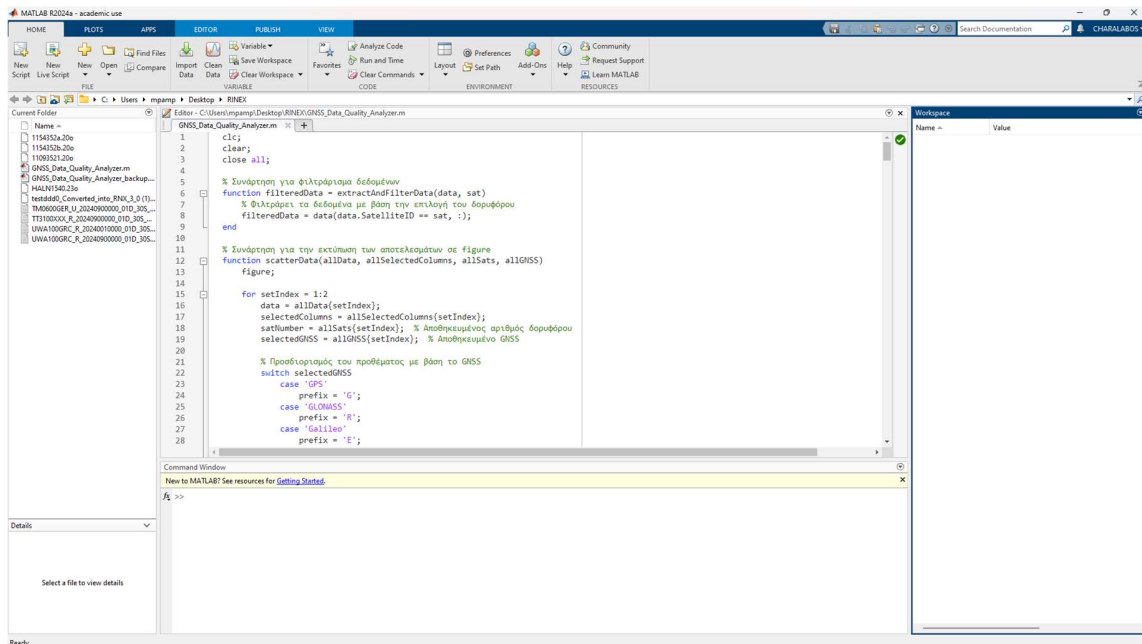
Το κεφάλαιο αυτό παρουσιάζει το λογισμικό που αναπτύχθηκε για την ανάλυση της ποιότητας των δεδομένων GNSS χρησιμοποιώντας το περιβάλλον MATLAB. Το MATLAB είναι ένα ισχυρό εργαλείο που χρησιμοποιείται ευρέως για την ανάλυση δεδομένων, τον προγραμματισμό και την επίλυση προβλημάτων μηχανικής και επιστήμης. Η γλώσσα προγραμματισμού MATLAB παρέχει ένα φιλικό προς τον χρήστη περιβάλλον με εύκολη πρόσβαση σε μια ευρεία γκάμα λειτουργιών για ανάλυση δεδομένων, οπτικοποίηση και υπολογιστική μαθηματική υποστήριξη.

Σημαντικό εργαλείο του MATLAB για την επεξεργασία δεδομένων GNSS είναι το Navigation Toolbox. Το Navigation Toolbox προσφέρει αλγόριθμους και εργαλεία για την προσομοίωση, την ανάλυση και την οπτικοποίηση δεδομένων πλοήγησης. Περιλαμβάνει λειτουργίες για την επεξεργασία δεδομένων από διαφορετικά συστήματα δορυφορικής πλοήγησης και παρέχει εργαλεία για την ανάλυση της απόδοσης των συστημάτων αυτών, όπως ο υπολογισμός της ακρίβειας θέσης.

Το λογισμικό που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο αυτής της εργασίας εκμεταλλεύεται τις δυνατότητες του MATLAB και του Navigation Toolbox για την επεξεργασία και την ανάλυση της ποιότητας των δεδομένων GNSS από αρχεία RINEX. Το λογισμικό αυτό προσφέρει δύο κύριες λειτουργίες, την ανάλυση και οπτικοποίηση των τιμών του σηματοθορυβικού λόγου (SNR Analysis) και την ανίχνευση ολίσθησης κύκλων (Cycle Slip Detection). Είναι σχεδιασμένο να είναι φιλικό προς τον χρήστη, παρέχοντας διαδραστικά μενού για την επιλογή αρχείων και παραμέτρων ανάλυσης.

3.2 Πηγαίος κώδικας και εκτέλεση λογισμικού

Η ονομασία του λογισμικού είναι GNSS_data_Quality_Analyzer. Το σύνολο του πηγαίου κώδικα δίνεται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α΄. Στη συνέχεια του κεφαλαίου παρουσιάζονται αναλυτικά οι λειτουργίες του λογισμικού. Για την εκκίνηση του λογισμικού στο περιβάλλον Matlab, ο χρήστης πρέπει να επιλέξει το πλήκτρο Run (Εικόνα 3.1).



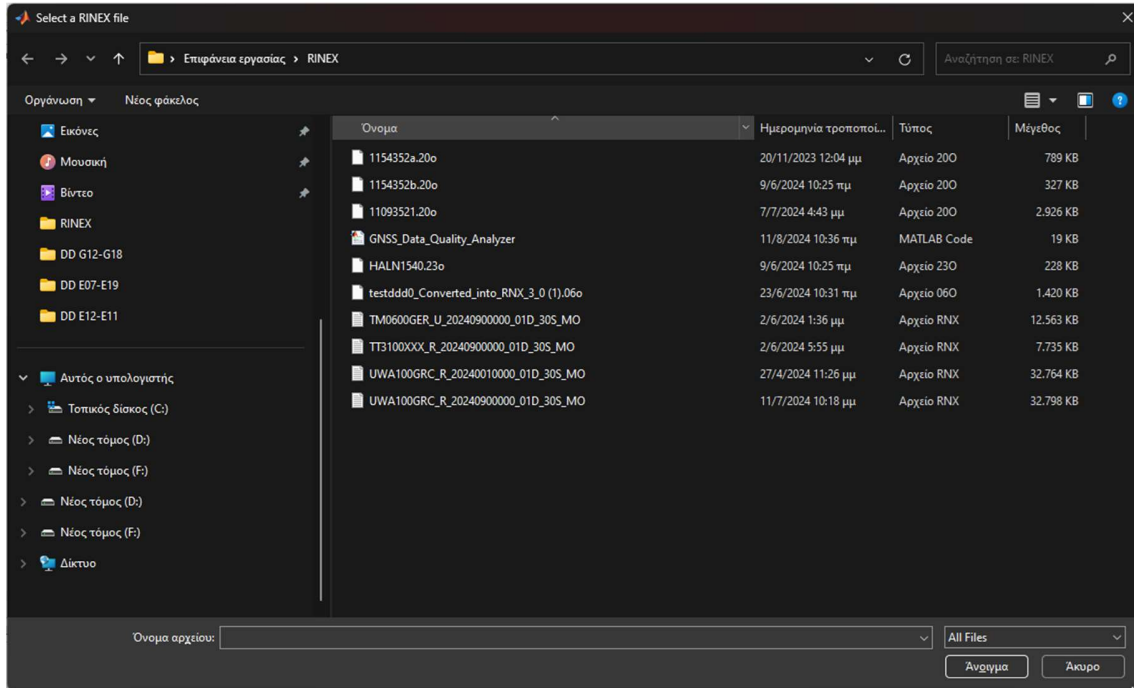
Εικόνα 3.1: Εκκίνηση λογισμικού

Μετά την εκκίνηση του λογισμικού, εκτελείται η εντολή `uigetfile` (Εικόνα 3.2) και εμφανίζεται ένα παράθυρο περιήγησης αρχείων των Windows, το οποίο ζητά από τον χρήστη να επιλέξει το αρχείο RINEX για την επεξεργασία των δεδομένων (Εικόνα 3.3). Αφού πραγματοποιηθεί επιλογή του αρχείου, η εντολή `uigetfile` αποθηκεύει το όνομα του αρχείου καθώς και τη διαδρομή του (path) για την εύρεση του αρχείου.

Για τη σωστή λειτουργία του λογισμικού, το αρχείο που πρέπει να επιλεγεί είναι αυτό που περιέχει τις παρατηρήσεις των δορυφόρων (RINEX observation file). Η ύπαρξη αρχείου εφημερίδων (RINEX navigation file) δεν απαιτείται καθώς το λογισμικό δεν χρησιμοποιεί στοιχεία των εφημερίδων των δορυφόρων.

```
% Επιλογή αρχείου απο τον χρήστη
[file, path] = uigetfile('*.rnx', 'Select a RINEX file');
```

Εικόνα 3.2: Πηγαίος κώδικας για την εντολή `uigetfile`

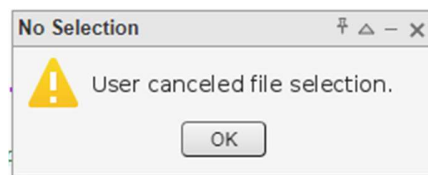


Εικόνα 3.3: Παράθυρο για την επιλογή αρχείου Rinex

Σε περίπτωση που ακυρωθεί η επιλογή αρχείου εμφανίζεται στον χρήστη μήνυμα ενημέρωσης μέσω ξεχωριστού παραθύρου (βλ. κώδικα Εικόνας 3.4), όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.5.

```
% Έλεγχος αν έχει ακυρωθεί η επιλογή
if isequal(file, 0)
    msgbox('User canceled file selection.', 'No Selection', 'warn');
    return;
end
```

Εικόνα 3.4: Πηγαίος κώδικας για την ακύρωση επιλογής αρχείου

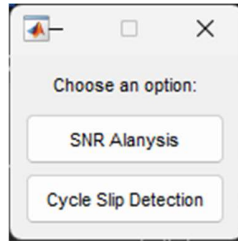


Εικόνα 3.5: Παράθυρο ενημέρωσης χρήστη για την ακύρωση αρχείου

Στην συνέχεια, με την χρήση της εντολής menu (Εικόνα 3.6) εμφανίζεται ένα ξεχωριστό παράθυρο μέσω του οποίου δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να επιλέξει ανάμεσα σε δυο εφαρμογές, την SNR Analysis και την Cycle Slips Detection (Εικόνα 3.7).

```
% Επιλογή του task
Epilogh = menu('Choose an option:', 'SNR Alanysis', 'Cycle Slip Detection');
```

Εικόνα 3.6 Πηγαίος κώδικας για την εντολή menu

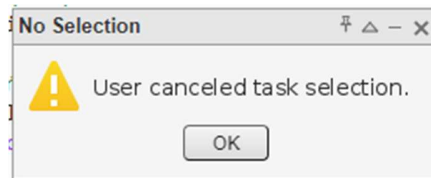


Εικόνα 3.7: Παράθυρο επιλογής εφαρμογής

Ανάλογα με την επιλογή που κάνει ο χρήστης, χρησιμοποιείται η εντολή `switch`, η οποία είναι μια συνθηματική εντολή. Αυτή η εντολή χρησιμοποιείται για την εκτέλεση μιας ενέργειας όταν ικανοποιείται μια συγκεκριμένη συνθήκη. Στην προκειμένη περίπτωση, υπάρχουν δύο `cases`: το `SNR Analysis` και το `Cycle Slip Detection`. Ανάλογα με την επιλογή του χρήστη, το πρόγραμμα προχωρά στο αντίστοιχο `case`, το οποίο περιέχει ξεχωριστό κώδικα για τις δύο αυτές εφαρμογές. Σε περίπτωση που ο χρήστης ακυρώσει την επιλογή της εφαρμογής, εμφανίζεται παράθυρο το οποίο τον ενημερώνει για την ακύρωση όπως φαίνεται στις Εικόνες 3.8 και 3.9.

```
if Epilogh == 0
    msgbox('User canceled task selection.', 'No Selection', 'warn');
    return;
end
```

Εικόνα 3.8: Πηγαίος κώδικας για την ακύρωση της επιλογής εφαρμογής



Εικόνα 3.9: Παράθυρο ενημέρωσης για την ακύρωση επιλογής εφαρμογής

3.3 Case 1: Snr Analysis

Σε περίπτωση επιλογής της εφαρμογής SNR Analysis, αρχικά, με τη χρήση της συνάρτησης `fullfile` και των δεδομένων που αποθηκεύτηκαν κατά την επιλογή του αρχείου RINEX, δημιουργείται το μονοπάτι προς το αρχείο και μέσω της εντολής `rinexread` το λογισμικό διαβάζει το αρχείο (Εικόνα 3.10).

```
% Path του αρχείου
filePath = fullfile(path, file);

% Διαβάζει το Rinex
data = rinexread(filePath);
```

Εικόνα 3.10: Πηγαίος κώδικας για την ανάγνωση του αρχείου RINEX

Στη συνέχεια, σε έναν βρόχο που εκτελείται δύο φορές, καθώς απαιτείται ένα ζεύγος δορυφόρων για την εκτέλεση της ανάλυσης SNR, χρησιμοποιείται η εντολή `menu` για την εμφάνιση ενός παραθύρου επιλογών. Αυτό το παράθυρο επιτρέπει την επιλογή του συστήματος GNSS όπως φαίνεται στις Εικόνες 3.11 και 3.12. Σημειώνεται ότι, τα GNSS που δίνονται προς επιλογή είναι αυτά που περιέχονται στο αρχείο RINEX που επέλεξε ο χρήστης.

```
for setIndex = 1:2
    try
        % Εμφάνιση διαθέσιμων GNSS επιλογών
        gnssOptions = fieldnames(data);
        gnssChoice = menu('Choose a GNSS:', gnssOptions);
```

Εικόνα 3.11: Πηγαίος κώδικας για την επιλογή GNSS

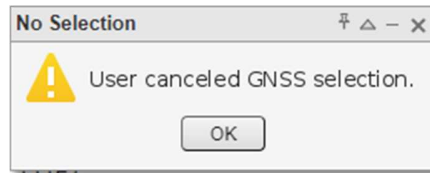


Εικόνα 3.12: Παράθυρο επιλογής GNSS

Σε περίπτωση που ο χρήστης ακυρώσει την επιλογή GNSS, εμφανίζεται παράθυρο το οποίο ενημερώνει τον χρήστη για την ακύρωση όπως φαίνεται στις Εικόνες 3.13 και 3.14.

```
% Έλεγχος ότι ο χρήστης ακύρωσε την επιλογή του GNSS
if gnssChoice == 0
    msgbox('User canceled GNSS selection.', 'No Selection', 'warn');
    return;
end
```

Εικόνα 3.13: Πηγαίος κώδικας για την ακύρωση της επιλογής GNSS



Εικόνα 3.14: Παράθυρο ενημέρωσης για την ακύρωση επιλογής GNSS

Αφού πραγματοποιηθεί η επιλογή του GNSS, μέσω της εντολής menu και ενός νέου παραθύρου, ζητείται από τον χρήστη να επιλέξει τον δορυφόρο (Εικόνες 3.15 και 3.16). Σημειώνεται ότι, οι δορυφόροι που δίνονται προς επιλογή είναι αυτοί που περιέχονται στο αρχείο RINEX που επέλεξε ο χρήστης.

```
% Εμφάνιση διαθέσιμων δορυφόρων για το επιλεγμένο GNSS
satOptions = unique(data.(selectedGNSS).SatelliteID);

% Μετατροπή των επιλεγμένων δορυφόρων σε cell array για να
% εμφανίζεται στον χρήστη σε menu
satOptionsStr = cellstr(num2str(satOptions));

satChoice = menu('Choose a satellite:', satOptionsStr);
```

Εικόνα 3.15: Πηγαίος κώδικας για την επιλογή των δορυφόρων

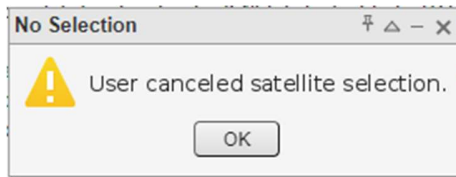


Εικόνα 3.16: Παράθυρο για την επιλογή του δορυφόρου

Σε περίπτωση που ο χρήστης ακυρώσει την επιλογή δορυφόρου, εμφανίζεται παράθυρο το οποίο ενημερώνει τον χρήστη για την ακύρωση όπως φαίνεται στις Εικόνες 3.17 και 3.18.

```
% Έλεγχος αν ο χρήστης έχει ακυρώσει την επιλογή
if satChoice == 0
    msgbox('User canceled satellite selection.', 'No Selection', 'warn');
    return;
end
```

Εικόνα 3.17: Πηγαίος κώδικας για την ακύρωση της επιλογής δορυφόρων



Εικόνα 3.18: Παράθυρο ενημέρωσης για την ακύρωση επιλογής δορυφόρου

Αφού γίνει η επιλογή του δορυφόρου, τα δεδομένα φιλτράρονται μέσω της συνάρτησης `filteredData`, η οποία έχει οριστεί στην αρχή του κώδικα (Εικόνα 3.19). Στη συνέχεια, με τη χρήση της εντολής `listdlg`, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει τα σήματα που θέλει να συγκρίνει, από μια λίστα που περιέχει στήλες με πληροφορίες σχετικά με τις τιμές SNR του σήματος. Οι στήλες αυτές ξεκινούν με το γράμμα "S" και ακολουθούν την κωδικοποίηση που χρησιμοποιείται για το SNR από το πρότυπο RINEX για την έκδοση 3.05 (I. Romero, 2020). Εάν δεν υπάρχουν διαθέσιμες στήλες που να πληρούν τα κριτήρια, εμφανίζεται μήνυμα που ενημερώνει τον χρήστη ότι δεν υπάρχουν διαθέσιμες στήλες για επιλογή και η διαδικασία τερματίζεται (Εικόνες 3.20 και 3.21).

```
% Συνάρτηση για φιλτράρισμα δεδομένων
function filteredData = extractAndFilterData(data, sat)
    % Φιλτράρει τα δεδομένα με βάση την επιλογή του δορυφόρου
    filteredData = data(data.SatelliteID == sat, :);
end
```

Εικόνα 3.19: Πηγαίος κώδικας function `filteredData`

```
% Φιλτράρισμα των δεδομένων ανάλογα με τις επιλογές του χρήστη
filteredData = extractAndFilterData(data.(selectedGNSS), sat);

% Εμφάνιση διαθέσιμων στηλών για το επιλεγμένο GNSS
columnOptions = fieldnames(filteredData);

% Φιλτράρισμα στηλών που ξεκινούν με "S" και έχουν 3 χαρακτήρες
validColumns = columnOptions(startsWith(columnOptions, 'S') & strlength(columnOptions) == 3);

% Έλεγχος αν υπάρχουν έγκυρες στήλες
if isempty(validColumns)
    disp('No valid columns starting with "S" and having 3 characters.');
```

Εικόνα 3.20: Πηγαίος κώδικας για την εμφάνιση των διαθέσιμων στηλών σε λίστα

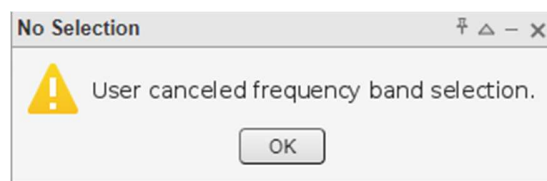


Εικόνα 3.21: Λίστα για την επιλογή του σήματος για SNR Analysis

Σε περίπτωση που ο χρήστης ακυρώσει την επιλογή δορυφόρου, εμφανίζεται παράθυρο το οποίο ενημερώνει τον χρήστη για την ακύρωση (Εικόνες 3.22 και 3.23.)

```
% Έλεγχος αν ο χρήστης έχει ακυρώσει την επιλογή των στηλών  
if isempty(columnIndices)  
    msgbox('User canceled frequency band selection.', 'No Selection', 'warn');  
    return;  
end
```

Εικόνα 3.22: Πηγαίος κώδικας για την ακύρωση επιλογής σήματος



Εικόνα 3.23: Παράθυρο ενημέρωσης για την ακύρωση επιλογής σήματος

Κλείνοντας το βρόχο for, εντός του βρόχου περιλαμβάνεται η συνθήκη try-catch, η οποία χρησιμοποιείται για τη διαχείριση πιθανών σφαλμάτων κατά την εκτέλεση της διαδικασίας. Συγκεκριμένα, το τμήμα try εκτελεί τον κώδικα κανονικά, αλλά αν προκύψει κάποιο σφάλμα (error), η εκτέλεση δεν διακόπτεται. Αντίθετα, η ροή του προγράμματος περνά στο τμήμα catch (βλ. Εικόνα 3.24), όπου εμφανίζεται μήνυμα που ενημερώνει τον χρήστη για το σφάλμα και τον λόγο που το προκάλεσε.

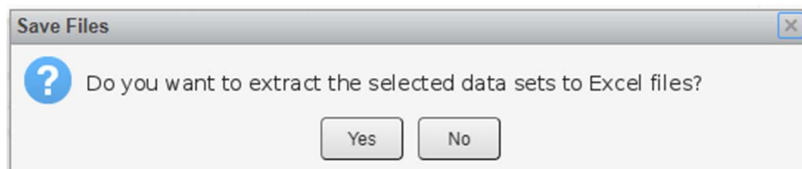
```
| catch exception
    fprintf('Error reading or processing file: %s\n', file);
    disp(exception.message)
end
end
```

Εικόνα 3.24: Πηγαίος κώδικας για το τμήμα catch

Μέσω της εντολής questdlg γίνεται η ερώτηση στον χρήστη για την αποθήκευση των επιλεγμένων στοιχείων σε ένα αρχείο excel (Εικόνες 3.25 και 3.26).

```
% Ερώτηση αν ο χρήστης θέλει να αποθηκεύσει τα δεδομένα σε excel
extractFiles = questdlg('Do you want to extract the selected data sets to Excel files?', 'Save Files', 'Yes', 'No', 'No');
if isequal(extractFiles, 'Yes')
    % Αποθήκευση τα δεδομένα στο excel
    for setIndex = 1:2
        excelFileName = sprintf('Set_%d_Data.xlsx', setIndex);
        writetimetable(allData{setIndex}, excelFileName);
        fprintf('Set %d data saved to Excel: %s\n', setIndex, excelFileName);
    end
end
```

Εικόνα 3.25: Πηγαίος κώδικας για την αποθήκευση των δεδομένων σε αρχείο excel



Εικόνα 3.26: Παράθυρο ερώτησης για την αποθήκευση των δεδομένων σε αρχείο excel

Τέλος, ο κώδικας του πρώτου case κλείνει με την εμφάνιση δυο γραφημάτων με τα επιλεγμένα σήματα του κάθε δορυφόρου έτσι ώστε να πραγματοποιηθεί η σύγκριση μεταξύ τους. Αυτό πραγματοποιείται με την συνάρτηση scatterData όπου έχει οριστεί στην αρχή του κώδικα (Εικόνες 3.27 και 3.28).

Ανάπτυξη λογισμικού για την αξιολόγηση της ποιότητας γεωδαιτικών μετρήσεων GNSS

```

% Συνάρτηση για την εκτύπωση των αποτελεσμάτων σε figure
function scatterData(allData, allSelectedColumns, allSats, allGNSS)
figure;

for setIndex = 1:2
    data = allData{setIndex};
    selectedColumns = allSelectedColumns{setIndex};
    satNumber = allSats{setIndex}; % Αποθηκευμένος αριθμός δορυφόρου
    selectedGNSS = allGNSS{setIndex}; % Αποθηκευμένο GNSS

    % Προσδιορισμός του προθέματος με βάση το GNSS
    switch selectedGNSS
        case 'GPS'
            prefix = 'G';
        case 'GLONASS'
            prefix = 'R';
        case 'Galileo'
            prefix = 'E';
        case 'BeiDou'
            prefix = 'C';
    end

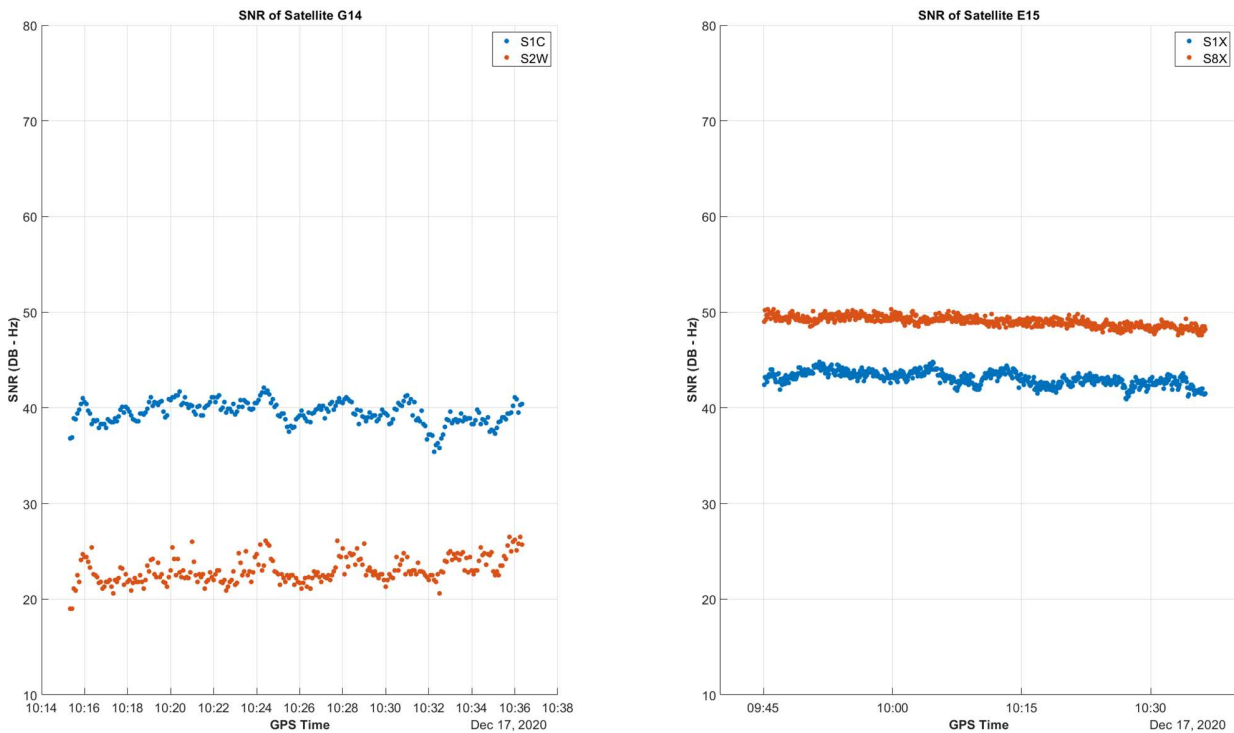
    % Subplot για κάθε σετ
    subplot(1, 2, setIndex);
    hold on;

    for i = 1:length(selectedColumns)
        scatter(data.Time, data.(selectedColumns{i}), 'filled', ...
            'DisplayName', sprintf('%s', selectedColumns{i}));
    end

    xlabel('GPS Time', 'FontWeight', 'bold');
    ylabel('SNR (DB - Hz)', 'FontWeight', 'bold');
    title(sprintf('SNR of Satellite %s%d', prefix, satNumber));
    legend('Location', 'northeast');
    grid on;
    hold off;
    fontsize(16, "points")
    ylim([10 70]);
end
end

```

Εικόνα 3.27 Πηγαίος κώδικας function για την εμφάνιση των διαγραμμάτων



Εικόνα 3.28 Γραφήματα που παράγει το λογισμικό

3.4 Case 2: Cycle Slip Detection

Σε περίπτωση επιλογής της εφαρμογής Cycle Slip Detection, η αρχική διαδικασία είναι παρόμοια με αυτή της εφαρμογής SNR Analysis. Αφού επιλεγεί το αρχείο, η συνάρτηση fullfile δημιουργεί το μονοπάτι προς το επιλεγμένο αρχείο Rinex (Εικόνα 3.29).

```
case 2
% Κώδικας για τα Cycle Slips
% Path του αρχείου
filePath = fullfile(path, file);
```

Εικόνα 3.29: Πηγαίος κώδικας για την συνάρτηση fullfile

Μέσα στη συνθήκη try, η συνάρτηση rinexread διαβάζει το αρχείο RINEX και εμφανίζει ένα παράθυρο για την επιλογή του συστήματος GNSS από τον χρήστη (Εικόνες 3.30 και 3.31). Σημειώνεται ότι, τα GNSS που δίνονται προς επιλογή είναι αυτά που περιέχονται στο αρχείο RINEX που επέλεξε ο χρήστης. Η συγκεκριμένη εφαρμογή καλύπτει την ανάλυση δεδομένων από τα συστήματα GNSS, GPS, Galileo και BeiDou. Στη συνέχεια, μέσω ενός βρόγχου if, ελέγχεται αν ο χρήστης έχει ακυρώσει την επιλογή του συστήματος GNSS. Σε περίπτωση που η επιλογή έχει ακυρωθεί, εμφανίζεται ένα παράθυρο με μήνυμα που ενημερώνει τον χρήστη ότι η διαδικασία επιλογής έχει ακυρωθεί (Εικόνα 3.32). Αφού πραγματοποιηθεί αυτός ο έλεγχος και δεν έχει τερματιστεί η εφαρμογή λόγω ακύρωσης της επιλογής, το λογισμικό αποθηκεύει το επιλεγμένο σύστημα GNSS.

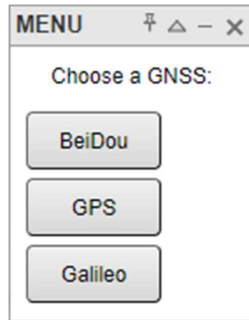
```
try
% Διαβάζει το αρχείο Rinex
data = rinexread(filePath);

% Δίνει τα διαθέσιμα GNSS για επιλογή από τον χρήστη
gnssOptions = fieldnames(data);
gnssOptions = intersect(gnssOptions, {'GPS', 'Galileo', 'BeiDou'});
gnssChoice = menu('Choose a GNSS:', gnssOptions);

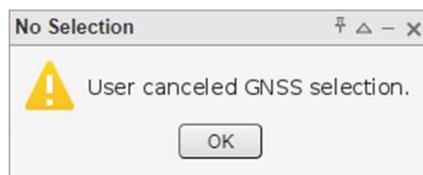
% Έλεγχος αν έχει ακυρωθεί η επιλογή
if gnssChoice == 0
    msgbox('User canceled GNSS selection.', 'No Selection', 'warn');
    return;
end

% Το επιλεγμένο GNSS
selectedGNSS = gnssOptions{gnssChoice};
```

Εικόνα 3.30: Πηγαίος κώδικας για την επιλογή GNSS



Εικόνα 3.32: Παράθυρο για την επιλογή GNSS



Εικόνα 3.31: Παράθυρο ενημέρωσης για την ακύρωση επιλογής GNSS

Στη συνέχεια, εμφανίζεται ένα παράθυρο στον χρήστη για την επιλογή δορυφόρου (Εικόνες 3.33 και 3.34). Σημειώνεται ότι, οι δορυφόροι που δίνονται προς επιλογή είναι αυτοί που περιέχονται στο αρχείο RINEX που επέλεξε ο χρήστης. Μετά την επιλογή, το λογισμικό ελέγχει αν ο χρήστης έχει ακυρώσει τη διαδικασία. Εφόσον η επιλογή δεν έχει ακυρωθεί, το λογισμικό αποθηκεύει τον επιλεγμένο δορυφόρο. Σε περίπτωση ακύρωσης, εμφανίζεται παράθυρο που ενημερώνει τον χρήστη για την ακύρωση της επιλογής (Εικόνα 3.35).

```
% Δίνει τους διαθέσιμους δορυφόρους για επιλογή από τον χρήστη
satOptions = unique(data.(selectedGNSS).SatelliteID);
satOptionsStr = cellstr(num2str(satOptions));
satChoice = menu('Choose a satellite:', satOptionsStr);

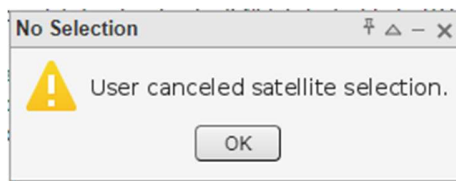
% Έλεγχος αν έχει ακυρωθεί η επιλογή
if satChoice == 0
    msgbox('User canceled satellite selection.', 'No Selection', 'warn');
    return;
end

% Ο επιλεγμένος δορυφόρος
sat = satOptions(satChoice);
```

Εικόνα 3.33: Πηγαίος κώδικας για την επιλογή δορυφόρου



Εικόνα 3.35: Παράθυρο για την επιλογή του δορυφόρου



Εικόνα 3.34: Παράθυρο ενημέρωσης για την ακύρωση επιλογής δορυφόρου

Ακολουθεί το φιλτράρισμα των δεδομένων με βάση τις επιλογές του χρήστη, έτσι ώστε να εμφανιστούν σε παράθυρο οι διαθέσιμες στήλες που ξεκινούν με το γράμμα "L", εμπεριέχουν δεδομένα και αντιστοιχούν στις μετρήσεις φάσης της φέρουσας συχνότητας. Αφού προσδιοριστούν οι στήλες, εμφανίζονται στον χρήστη μέσω παραθύρου για να πραγματοποιήσει την επιλογή του (Εικόνες 3.36 και 3.37). Σε περίπτωση που δεν υπάρχουν διαθέσιμες στήλες με δεδομένα για να εμφανιστούν, εμφανίζεται ένα παράθυρο που ενημερώνει τον χρήστη ότι δεν υπάρχουν διαθέσιμες στήλες για επιλογή. Επίσης, αν ο χρήστης ακυρώσει την επιλογή των στηλών, εμφανίζεται παράθυρο που τον ενημερώνει για την ακύρωση της επιλογής σημάτων (Εικόνες 3.38 και 3.39).

Ανάπτυξη λογισμικού για την αξιολόγηση της ποιότητας γεωδαιτικών μετρήσεων GNSS

```
% Φιλτράρει τα δεδομένα με βάση την επιλογή με τη συνάρτηση
% extractAndFilterData
filteredData = extractAndFilterData(data.(selectedGNSS), sat);

% Δείχνει τις διαθέσιμες στήλες για επιλογή από τον χρήστη
columnOptions = fieldnames(filteredData);
maxColumns = length(columnOptions);
validColumns = cell(1, maxColumns);

%Τσεκάρει ποιές στήλες ξεκινάνε με το γράμμα L και έχουν 3 γραμματα
%έτσι ώστε να μας δώσει τις στήλες με τα δεδομένα των συχνοτήτων
count = 0;
for i = 1:maxColumns
    columnName = columnOptions{i};
    if startsWith(columnName, 'L') && strlength(columnName) == 3 && ...
        ~all(ismissing(filteredData.(columnName)))
        count = count + 1;
        validColumns{count} = columnName;
    end
end

validColumns = validColumns(1:count);

if isempty(validColumns)
    msgbox('No valid columns available for selection.', 'No Columns', 'warn');
    return;
end

% Ζητάει από τον χρήστη να επιλέξει τις συχνοότητες
columnIndices = listdlg('ListString', validColumns, 'PromptString', 'Choose columns for frequencies:', 'SelectionMode', 'multiple');
```

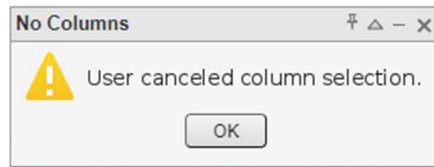
Εικόνα 3.36: Πηγαίος κώδικας για την επιλογή των στηλών που περιέχουν τις μετρήσεις φάσεις



Εικόνα 3.37: Παράθυρο επιλογής σημάτων


```
% Έλεγχος αν ο χρήστης ακύρωσε την επιλογή
if isempty(columnIndices)
    disp('User canceled column selection.');
```

Εικόνα 3.38: Πηγαίος κώδικας για την ακύρωση της επιλογής



Εικόνα 3.39: Παράθυρο ενημέρωσης για την ακύρωση επιλογής σημάτων

Στις πρώτες γραμμές του κώδικα του λογισμικού έχουν οριστεί τα μήκη κύματος για τα σήμα του κάθε συστήματος GNSS (Εικόνα 3.40). Με βάση τις επιλογές του χρήστη στα προηγούμενα βήματα, οι στήλες δεδομένων πολλαπλασιάζονται με το αντίστοιχο μήκος κύματος του επιλεγμένου συστήματος GNSS (Εικόνα 3.41), προκειμένου να μετατραπούν οι μετρήσεις φάσης σε μονάδες μήκους (m).

```
% factors για κάθε συχνότητα
FrequencyBands.GPS.L1 = 0.190293673;
FrequencyBands.GPS.L2 = 0.244210213;
FrequencyBands.GPS.L5 = 0.254828049;
FrequencyBands.Galileo.L1 = 0.190293673;
FrequencyBands.Galileo.L5 = 0.25481722;
FrequencyBands.Galileo.L6 = 0.234441805;
FrequencyBands.Galileo.L7 = 0.24834937;
FrequencyBands.Galileo.L8 = 0.251547001;
FrequencyBands.BeiDou.L1 = 0.192039486;
FrequencyBands.BeiDou.L2 = 0.192039486;
FrequencyBands.BeiDou.L5 = 0.254828049;
FrequencyBands.BeiDou.L6 = 0.236332465;
FrequencyBands.BeiDou.L7 = 0.24834937;
FrequencyBands.BeiDou.L8 = 0.251547001;
```

Εικόνα 3.40: Μήκη κύματος για κάθε GNSS

```

% Με βάση το επιλεγμένο GNSS και τα ονόματα των συχνοτήτων πολλαπλασιάζει τα σωστά
% FrequencyBands
for i = 1:length(selectedColumns)
    columnName = selectedColumns{i};

    if strcmp(selectedGNSS, 'GPS')
        if startsWith(columnName, 'L1')
            factor = FrequencyBands.GPS.L1;
        elseif startsWith(columnName, 'L2')
            factor = FrequencyBands.GPS.L2;
        elseif startsWith(columnName, 'L5')
            factor = FrequencyBands.GPS.L5;
        else
            error('No multiplication factor found for column: %s', columnName);
        end
    elseif strcmp(selectedGNSS, 'Galileo')
        if startsWith(columnName, 'L1')
            factor = FrequencyBands.Galileo.L1;
        elseif startsWith(columnName, 'L5')
            factor = FrequencyBands.Galileo.L5;
        elseif startsWith(columnName, 'L6')
            factor = FrequencyBands.Galileo.L6;
        elseif startsWith(columnName, 'L7')
            factor = FrequencyBands.Galileo.L7;
        elseif startsWith(columnName, 'L8')
            factor = FrequencyBands.Galileo.L8;
        else
            error('No multiplication factor found for column: %s', columnName);
        end
    elseif strcmp(selectedGNSS, 'BeiDou')
        if startsWith(columnName, 'L1')
            factor = FrequencyBands.BeiDou.L1;
        elseif startsWith(columnName, 'L2')
            factor = FrequencyBands.BeiDou.L2;
        elseif startsWith(columnName, 'L5')
            factor = FrequencyBands.BeiDou.L5;
        elseif startsWith(columnName, 'L6')
            factor = FrequencyBands.BeiDou.L6;
        elseif startsWith(columnName, 'L7')
            factor = FrequencyBands.BeiDou.L7;
        elseif startsWith(columnName, 'L8')
            factor = FrequencyBands.BeiDou.L8;
        else
            error('No multiplication factor found for column: %s', columnName);
        end
    end
end

% κάνει τον πολλαπλό
dataTable.(columnName) = filteredData.(columnName) * factor;
end

```

Εικόνα 3.41: Πηγαίος κώδικας για την επιλογή του σωστού μήκους κύματος και του πολλαπλασιασμού

Πραγματοποιείται η αφαίρεση ανάμεσα στις στήλες που έχουν πολλαπλασιαστεί με τα μήκη κύματος έτσι ώστε να προκύψει το Ionospheric Residual. Το λογισμικό έχει την δυνατότητα να πραγματοποιήσει την αφαίρεση ανάμεσα σε όλους τους δυνατούς συνδυασμούς ανάμεσα στις επιλεγμένες στήλες. Επίσης κατά την διαδικασία της αφαίρεσης, ελέγχεται αν υπάρχουν κελιά (εποχές) τα οποία δεν εμπεριέχουν δεδομένα και εξαιρούνται από τη διαδικασία (Εικόνα 3.42).

```
% Δίνει όλους τους δυνατούς συνδυασμούς για την αφαίρεση
combinations = nchoosek(1:length(selectedColumns), 2);
numCombinations = size(combinations, 1);
diffColumnNames = cell(1, numCombinations);

for i = 1:numCombinations
    col1 = selectedColumns{combinations(i, 1)};
    col2 = selectedColumns{combinations(i, 2)};
    L1 = dataTable.(col1);
    L2 = dataTable.(col2);

    % Έλεγχος αν υπάρχουν δεδομένα και κάνει την αφαίρεση
    validIndices = ~ismissing(L1) & ~ismissing(L2);
    if any(validIndices)
        diff = NaN(size(L1));
        diff(validIndices) = L1(validIndices) - L2(validIndices);
        diffColumnName = sprintf('%s - %s', col1, col2);
        dataTable.(diffColumnName) = diff;
        diffColumnNames{i} = diffColumnName;
    end
end

% βγάζει τις άδειες τιμές
diffColumnNames = diffColumnNames(~cellfun('isempty', diffColumnNames));
```

Εικόνα 3.42: Πηγαίος κώδικας για την αφαίρεση

Στη συνέχεια υπολογίζονται οι χρονικές διαφορές του Ionospheric Residual έτσι ώστε να προσδιοριστούν οι ολισθήσεις κύκλων. Το λογισμικό υπολογίζει τις διαφορές μεταξύ διαδοχικών γραμμών και αποθηκεύει τις απόλυτες τιμές των αποτελεσμάτων σε έναν νέο πίνακα (Εικόνα 3.43)

```
figure;
% Κάνει την αφαίρεση από γραμμή σε γραμμή
for i = 1:length(diffColumnNames)
    diffColumnName = diffColumnNames{i};
    dIonRes = NaN(tableHeight, 1);
    if ismember(diffColumnName, dataTable.Properties.VariableNames)
        dIonRes(2:end) = dataTable.(diffColumnName)(2:end) - dataTable.(diffColumnName)(1:end-1);
        dataTable.(['d', diffColumnName]) = abs(dIonRes);
    end
end
```

Εικόνα 3.43 Πηγαίος κώδικας για τις διαφορές των χρονικών στιγμών

Τα αποτελέσματα του πίνακα ελέγχονται για το αν υπερβαίνουν το καθορισμένο όριο με βάση το οποίο διατυπώνεται η ύπαρξη ολίσθησης κύκλων (cycle slips) (Εικόνα 3.44). Όσα αποτελέσματα υπερβαίνουν το όριο αποθηκεύονται και στη συνέχεια εμφανίζονται στο γράφημα με κόκκινο χρώμα μαζί με τις υπόλοιπες τιμές των χρονικών διαφορών, οι οποίες εμφανίζονται με μπλε χρώμα (Εικόνα 3.45). Το λογισμικό παράγει ένα γράφημα για το Ionospheric Residual (Γράφημα 3.1) και ένα γράφημα για τις χρονικές διαφορές μεταξύ διαδοχικών γραμμών (Γράφημα 3.2).

Ανάπτυξη λογισμικού για την αξιολόγηση της ποιότητας γεωδαιτικών μετρήσεων GNSS

```
% Έλεγχος των τιμών που ξεπερνούν το όριο
threshold = 0.5;
exceedThreshold = dataTable.(['d', diffColumnName]) > threshold;
dataTable.(['Cycle Slips_', diffColumnName]) = exceedThreshold;
```

Εικόνα 3.44: Πηγαίος κώδικας για τον έλεγχο των τιμών που ξεπερνούν το όριο

```
% Plotting
subplot(2, length(diffColumnNames), i);
scatter(dataTable.rowTimes, dataTable.(diffColumnName), 'filled');
xlabel('Time');
title(['Satellite ', num2str(sat), ' ', selectedGNSS, ' ', diffColumnName]);
legend('Location', 'northwest');
grid on;

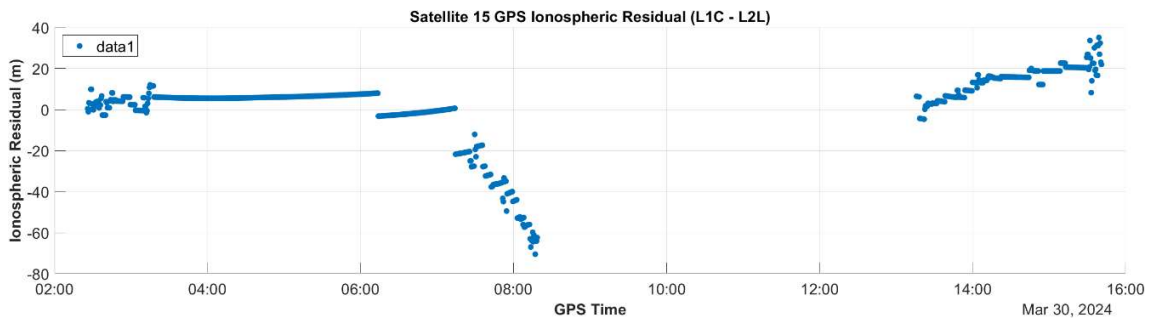
subplot(2, length(diffColumnNames), length(diffColumnNames) + i);
scatter(dataTable.rowTimes, dataTable.(['d', diffColumnName]), 'filled');
hold on;
scatter(dataTable.rowTimes(exceedThreshold), dataTable.(['d', diffColumnName])(exceedThreshold), 'filled', 'MarkerFaceColor', 'red');
xlabel('Time');
title(['Satellite ', num2str(sat), ' ', selectedGNSS, ' d', diffColumnName]);
legend('Location', 'northwest');
grid on;

maxValue = max(dataTable.(['d', diffColumnName]));

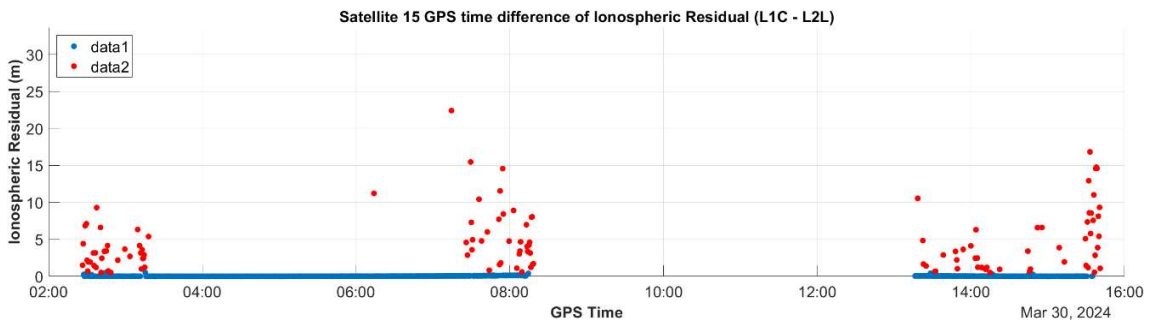
% Όρια για του άξονα Y για το plot
if maxValue < 2
    ylim([0, 2]);
else
    ylim([0, maxValue+10]);
end
end
end

FileName = extractBefore(file, 7);
```

Εικόνα 3.45: Πηγαίος κώδικας για την δημιουργία γραφημάτων



Γράφημα 3.1 Γράφημα που παράγεται από το λογισμικό για το Ionospheric Residual

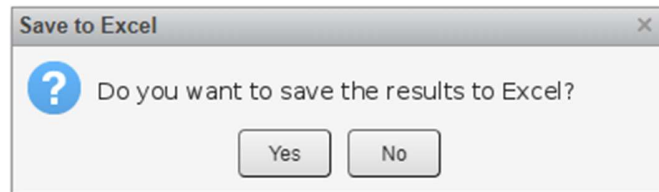


Γράφημα 3.2 Γράφημα που παράγεται από το λογισμικό για τις χρονικές διαφορές του Ionospheric Residual

Τέλος, γίνεται η ερώτηση στον χρήστη αν θέλει να αποθηκεύσει τα αποτελέσματα τα οποία απεικονίζονται και στα διαγράμματα σε αρχείο Excel (Εικόνες 3.46 και 3.47).

```
% Ρωτάει τον χρήστη για αποθήκευση του αρχείου Excel  
answer = questdlg('Do you want to save the results to Excel?', 'Save to Excel', 'Yes', 'No', 'Yes');
```

Εικόνα 3.46: Πηγαίος κώδικας για την ερώτηση αποθήκευσης αποτελεσμάτων σε excel



Εικόνα 3.47: Παράθυρο ερώτησης αποθήκευσης αποτελεσμάτων στο excel

4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

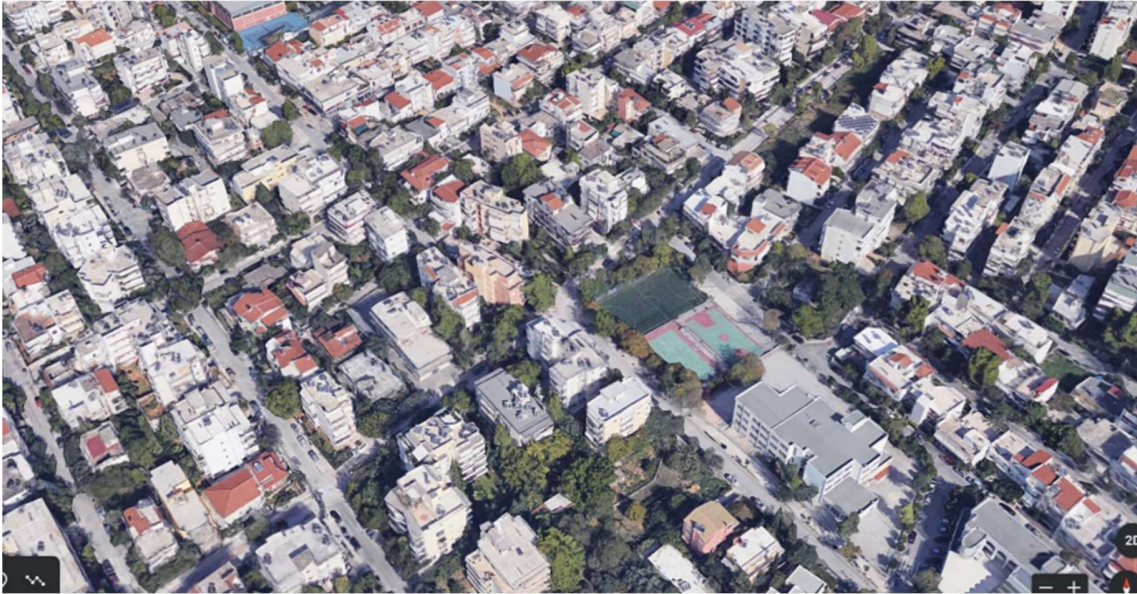
Στο παρόν κεφάλαιο, με τη χρήση των δύο λειτουργιών του λογισμικού, SNR Analysis και Cycle Slip Detection, θα παρουσιαστούν συγκριτικές μελέτες που πραγματοποιήθηκαν, συμβάλλοντας στην επαλήθευση της σωστής λειτουργίας του λογισμικού, στην καλύτερη κατανόηση της αξιολόγησης της ποιότητας των γεωδαιτικών μετρήσεων καθώς και στη διερεύνηση της ποιότητας των μετρήσεων διαφόρων δεκτών. Συγκεκριμένα αναλύθηκαν τα δεδομένα τεσσάρων δεκτών: ενός δέκτη RTK, του μόνιμου σταθμού αναφοράς UWA1 του Εργαστηρίου Γεωδαισίας-Τοπογραφίας-GNSS του ΠΑΔΑ, ενός γεωδαιτικού δέκτη μέσου κόστους και ενός δέκτη χαμηλού κόστους.

4.1 Ανάλυση SNR

Όπως αναφέρθηκε στο θεωρητικό υπόβαθρο, το SNR (Signal-to-Noise Ratio) αντιπροσωπεύει τον λόγο της ισχύος του σήματος προς τον θόρυβο που χαρακτηρίζει τις μετρήσεις GNSS. Η ανάλυση επικεντρώνεται στο πώς η ποιότητα των μετρήσεων ανταποκρίνεται στο SNR, ειδικά σε συνθήκες μειωμένης ορατότητας, όπου το σήμα υποβαθμίζεται λόγω της παρουσίας εμποδίων, όπως τα δέντρα. Παράλληλα, εξετάζεται και η ορθή λειτουργία του λογισμικού.

4.1.1 Περιοχή μελέτης

Η μελέτη έλαβε χώρα στην περιοχή της Αγίας Παρασκευής, όπως απεικονίζεται και στην Εικόνα 4.1, στις 17 Δεκεμβρίου του 2020 και μεταξύ των ωρών 09:38 με 10:28. Στην Εικόνα 4.2 φαίνεται η ακριβής θέση των στάσεων που χρησιμοποιήθηκαν για την μελέτη. Επίσης, στον Πίνακα 4.1 απεικονίζονται οι χρονικές διάρκειες μετρήσεων της κάθε στάσης. Το διάστημα καταγραφής των μετρήσεων είναι 5 sec.



Εικόνα 4.2: Περιοχή μελέτης



Εικόνα 4.1: Προσδιορισμός Θέσης Στάσεων

Πίνακας 4.1: Χρόνοι μέτρησης στάσεων

| 17/12/2020 | ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΑ | ΣΤΑΣΗ 1 | ΣΤΑΣΗ 2 |
|----------------------------|----------------------|---------|---------|
| Ωρα έναρξης | 09:38 | 09:57 | 10:18 |
| Ωρα Λήξης | 10:36 | 10:15 | 10:28 |
| Διάρκεια μέτρησης (min) | 58 | 18 | 10 |

Αρχικά, ένας από τους δέκτες τοποθετήθηκε σε ταράτσα κτηρίου, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4.3, σε σημείο με ανοιχτό ορίζοντα, εξασφαλίζοντας έτσι ότι οι μετρήσεις δεν θα είναι επηρεασμένες από εμπόδια. Αυτή η στάση ονομάστηκε “ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΑ” και οι μετρήσεις της χρησιμοποιήθηκαν ως αναφορά για τη σύγκριση με τις άλλες δύο στάσεις όπως θα φανεί και αργότερα στην σύγκριση των μεθόδων για τον προσδιορισμό της ολίσθησης κύκλων. Για τον λόγο αυτό, ο συγκεκριμένος δέκτης ήταν σε λειτουργία καθ’ όλη τη διάρκεια των μετρήσεων, με χρόνο καταγραφής 58 λεπτά.



Εικόνα 4.3: Στάση “ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΑ”

Ανάπτυξη λογισμικού για την αξιολόγηση της ποιότητας γεωδαιτικών μετρήσεων GNSS

Στην συνέχεια για την ΣΤΑΣΗ 1 ο δέκτης τοποθετήθηκε κάτω από ένα πεύκο, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4.4, όπου τα κλαδιά και το φύλλωμα του ξεκινούσαν σε μεγαλύτερο ύψος από αυτό του δέκτη, με χρόνο καταγραφής 18 λεπτά.



Εικόνα 4.4: Θέση δέκτη στην ΣΤΑΣΗ 1

Ανάπτυξη λογισμικού για την αξιολόγηση της ποιότητας γεωδαιτικών μετρήσεων GNSS

Τέλος, ο δέκτης μεταφέρθηκε και τοποθετήθηκε κάτω από δέντρο με πιο χαμηλό φύλλωμα, σχεδόν στο ύψος του δέκτη, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4.5. Ο χρόνος καταγραφής του δέκτη στην ΣΤΑΣΗ 2 ήταν 10 λεπτά.



Εικόνα 4.5: Θέση δέκτη στην ΣΤΑΣΗ 2

4.1.2 Στοιχεία εξοπλισμού

Για τις μετρήσεις χρησιμοποιήθηκε ένα ζεύγος σύγχρονων γεωδαιτικών δεκτών GNSS. Πιο συγκεκριμένα, πρόκειται για δέκτες Trimble R8s.

Τα βασικά χαρακτηριστικά των δεκτών Trimble R8s που χρησιμοποιήθηκαν είναι:

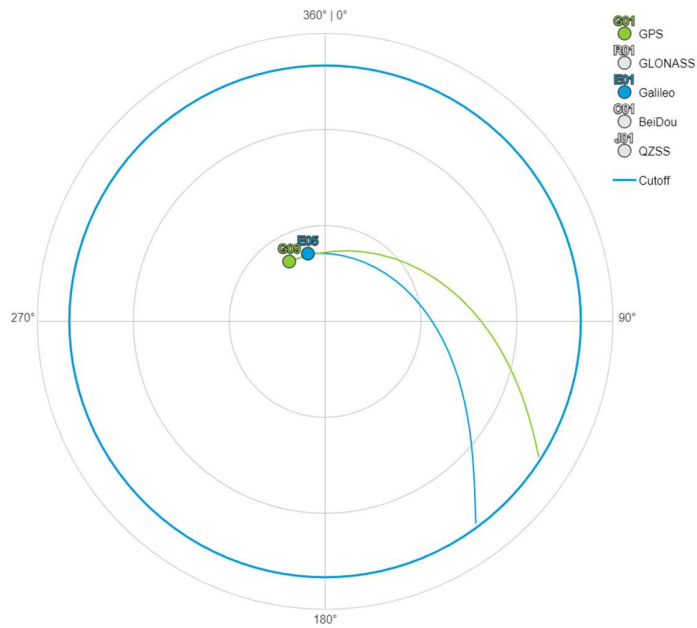
- Δορυφορικά σήματα που καταγράφονται ταυτόχρονα.
 - GPS: L1C/A, L1C, L2C, L2E, L5
 - GLONASS: L1C/A, L1P, L2C/A, L2P, L3
 - SBAS: L1C/A, L5 (Για τους δορυφόρους SBAS που καταγράφουν δεδομένα στο L5)
 - Galileo: E1, E5A, E5B
 - BeiDou (COMPASS): B1, B2
- RTK engine για ταχύτερο initialization τυπικά ταχύτερο των 8 sec.
- Ρυθμός καταγραφής 1 Hz, 2 Hz, 5 Hz, 10 Hz ή 20 Hz επιλέξιμος από το χρήστη.
- Ο δέκτης έχει τη δυνατότητα ταυτόχρονης λειτουργίας σε P-Processing και RTK μετρήσεις.
- Δυνατότητα συνεχών μετρήσεων ανά 15 sec με χρήση κατά μέσο όρο 14 δορυφόρων.
- Αντοχή σε υγρασία και σκόνη σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα IP67.
- Ενσωματώνει τη δυνατότητα καταγραφής static μετρήσεων με το πάτημα ενός μόνο κουμπιού, χωρίς τη χρήση χειριστηρίου (Power up mode).
- Θερμοκρασίες λειτουργίας -40°C έως +65°C



Εικόνα 4.6: Δέκτης Trimble R8s. (φυλλάδιο τεχνικών προδιαγραφών Trimble R8s)

4.1.3 Σύγκριση αποτελεσμάτων

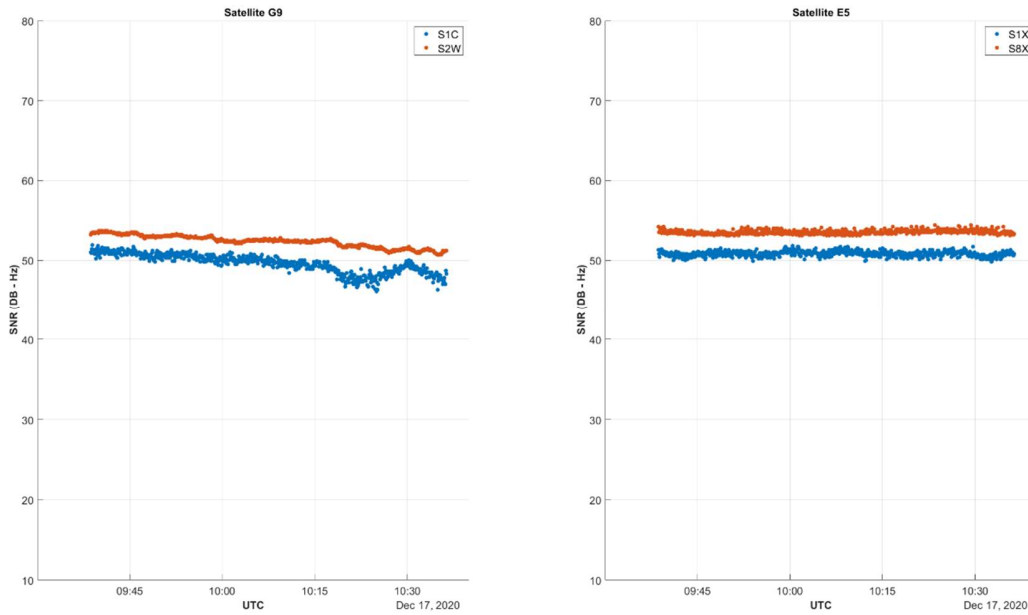
Η σύγκριση ξεκίνησε μεταξύ της θέσης "ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΑ" (Εικόνα 4.3), η οποία χρησιμοποιείται ως σημείο αναφοράς, και της Στάσης 1 (Εικόνα 4.1), που βρίσκεται κάτω από ένα πεύκο, του οποίου το φύλλωμα ξεκινά σε μεγαλύτερο ύψος από αυτό του δέκτη. Επιλέχθηκαν οι δορυφόροι G09 του συστήματος GPS και E05 του συστήματος Galileo, καθώς παρουσιάζουν παρόμοιες γωνίες ανύψωσης και αζιμούθιου, όπως αποτυπώνεται στο Γράφημα 4.1, όπου απεικονίζεται το Skyplot.



Γράφημα 4.1: Skyplot για G09 και E05

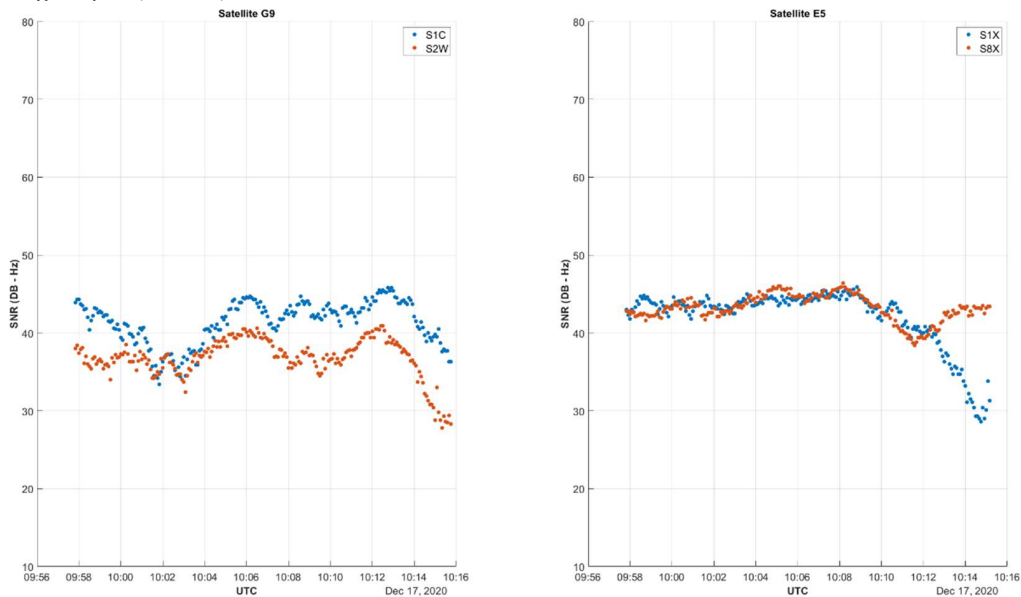
Στο Γράφημα 4.2 παρουσιάζονται οι τιμές του SNR των δορυφόρων G09 και E05 στη θέση "ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΑ". Η συχνότητα L1 και E1 απεικονίζεται με μπλε χρώμα, ενώ η συχνότητα L2 και E5 με πορτοκαλί. Παρατηρώντας το γράφημα, διαπιστώνεται ότι οι τιμές των E1 και E5 είναι ελαφρώς καλύτερες από εκείνες των L1 και L2, χωρίς να παρατηρείται σημαντική διαφορά μεταξύ τους.

Ανάπτυξη λογισμικού για την αξιολόγηση της ποιότητας γεωδαιτικών μετρήσεων GNSS



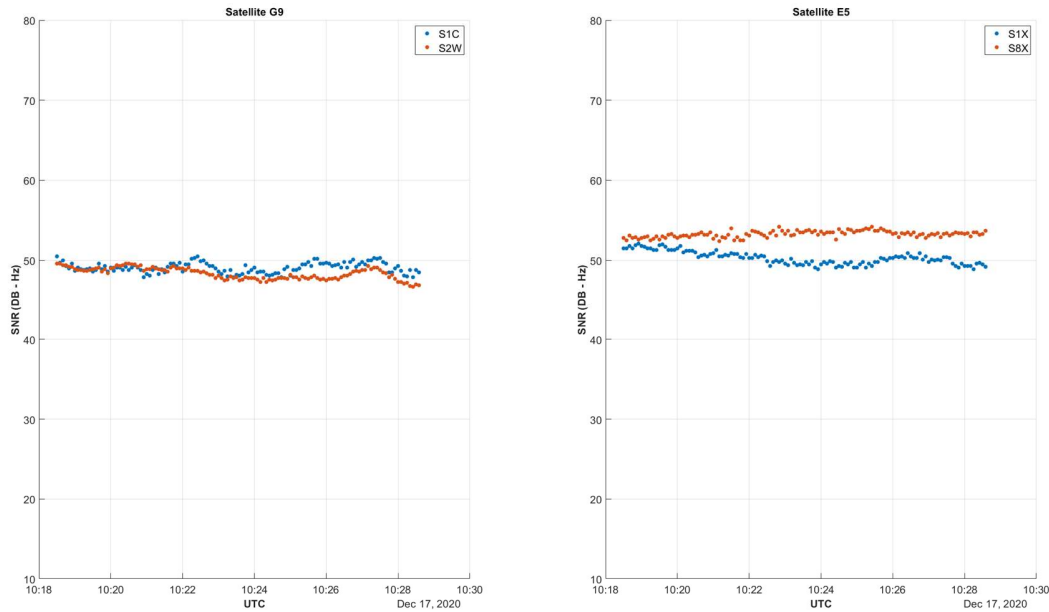
Γράφημα 4.2: SNR δορυφόρων G09 και E05 στη στάση ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΑ

Στο Γράφημα 4.3 απεικονίζονται οι τιμές του SNR των δορυφόρων G09 και E05 στη Θέση 1, κάτω από το πεύκο. Συγκρίνοντας αυτό το γράφημα με το Γράφημα 4.2, παρατηρούνται μεγαλύτερες διακυμάνσεις στο SNR, οι οποίες δεν είναι τόσο σταθερές όσο στο Γράφημα 4.2. Επιπλέον, οι τιμές του SNR είναι εμφανώς χαμηλότερες, με τον δορυφόρο E05 να καταγράφει τις καλύτερες τιμές σε σύγκριση με τον G09. Επίσης, τα σήματα του στις δύο συχνότητες (E1 και E5) του E05 σχεδόν ταυτίζονται, ενώ η ισχύς της L2 του G09 είναι σαφώς ασθενέστερη από την L1, σε αντίθεση με ότι ισχύει για τη θέση του ανοιχτού οριζοντα. Το γεγονός αυτό αναδεικνύει μία υπεροχή του Galileo σε ότι αφορά τη δεύτερη συχνότητα. (E5 / L2).



Γράφημα 4.3: SNR δορυφόρων G09 και E05 στη στάση 1

Τέλος, στο Γράφημα 4.4 απεικονίζονται οι τιμές SNR των δορυφόρων στη Στάση 2, η οποία βρίσκεται κάτω από ένα δέντρο του οποίου το φύλλωμα ξεκινάει στο ύψος του δορυφόρου. Για άλλη μία φορά τα σήματα E1 και E5 φαίνεται να έχουν καλύτερες τιμές από τα L1 και L2.



Γράφημα 4.4: SNR δορυφόρων G09 και E05 στη Στάση 2

4.2 Προσδιορισμός Ολίσθησης Κύκλων (Cycle Slips)

Στα πλαίσια της παρούσας πτυχιακής εργασίας χρησιμοποιήθηκαν δύο μέθοδοι για τον προσδιορισμό των κύκλων ολίσθησης. Η πρώτη είναι η μέθοδος Ionospheric Residual, η οποία ενσωματώθηκε στο λογισμικό για τον προσδιορισμό των κύκλων ολίσθησης. Η δεύτερη είναι η μέθοδος των απλών, διπλών και τριπλών διαφορών, η οποία χρησιμοποιήθηκε για την επαλήθευση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από το λογισμικό. Η μέθοδος των τριπλών διαφορών είναι εν γένει πιο αποτελεσματική, αλλά έχει το μειονέκτημα ότι προϋποθέτει την ύπαρξη δύο δεκτών. Αντίθετα η μέθοδος Ionospheric Residual μπορεί να εφαρμοστεί και για έναν μόνο δέκτη.

4.2.1 Σύγκριση μετρήσεων κάτω από δέντρα

Για την πρώτη μελέτη, χρησιμοποιήθηκαν μετρήσεις από δύο δέκτες, ο ένας τοποθετήθηκε σε ταράτσα κτηρίου ώστε να λειτουργεί υπό συνθήκες ανοικτού ορίζοντα (clear sky) και να μην υπάρχουν παρεμβολές στα σήματα των δορυφόρων και ο δεύτερος τοποθετήθηκε διαδοχικά σε 2 στάσεις, κάτω από δέντρα. Ο λόγος που επιλέχθηκαν οι συγκεκριμένες μετρήσεις προς σύγκριση είναι για να εξακριβωθεί αν στις μετρήσεις με εμπόδια οι δέκτες χάνουν το σήμα των δορυφόρων με αποτέλεσμα αυτό να οδηγεί σε ολίσθηση κύκλων.

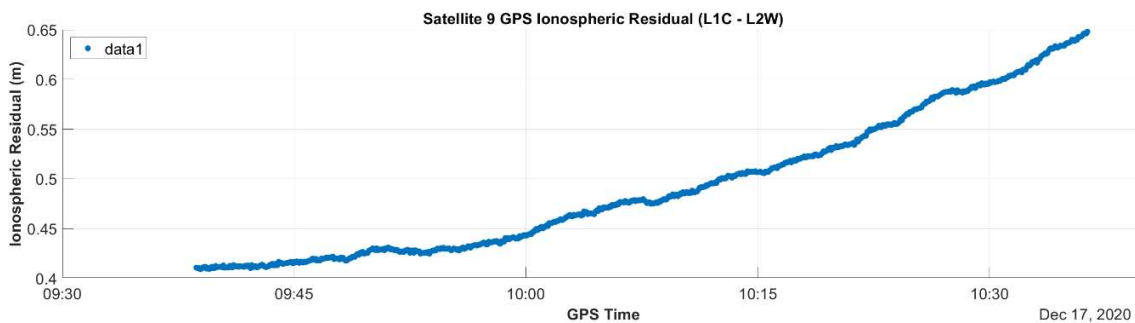
4.2.1.1 Περιοχή μελέτης και εξοπλισμός

Για την μελέτη χρησιμοποιήθηκαν οι ίδιες μετρήσεις, στην ίδια περιοχή μελέτης και με τον ίδιο εξοπλισμό όπως περιγράφεται στην υποενότητα 4.1 Ανάλυση SNR.

4.2.1.2 Μέθοδος Ionospheric Residual

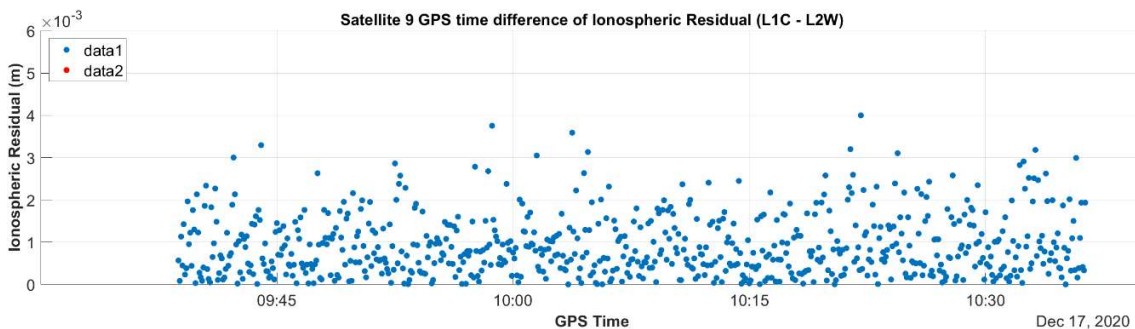
Όπως αναφέρεται και σε προηγούμενο κεφάλαιο, η μέθοδος Ionospheric Residual χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό ολίσθησης κύκλων συγκρίνοντας δύο συχνότητες ενός δορυφόρου. Επίσης, είναι η μέθοδος που χρησιμοποιείται από το λογισμικό για τον προσδιορισμό ολίσθησης κύκλων. Επομένως, η διαδικασία θα πραγματοποιηθεί για όλους τους δορυφόρους κάθε στάσης ξεχωριστά, σε 2 GNSS: GPS και Galileo.

Η ανάλυση ξεκίνησε με τα δεδομένα από τους δορυφόρους του GPS στη στάση "ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΑ". Στη χρονική διάρκεια των 58 λεπτών που ο δέκτης ήταν ενεργός, καταγράφηκαν δεδομένα από 11 δορυφόρους του GPS. Αναλύοντας τα δεδομένα του δορυφόρου G09 στις συχνότητες L1-L2, όπως φαίνεται και στο Γράφημα 4.5, παρατηρείται ότι έχουν καταγραφεί δεδομένα καθ' όλη τη διάρκεια της λειτουργίας του δορυφόρου χωρίς διακοπές στη λήψη του σήματος.



Γράφημα 4.5: Ionospheric Residual σε L1C - L2W για τον G09 για την στάση "ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΑ"

Επίσης, στο Γράφημα 4.6 διαπιστώνεται ότι δεν παρατηρούνται κύκλοι ολίσθησης και ότι δεν υπάρχει σημαντική διακύμανση στις χρονικές διαφορές.



Γράφημα 4.6: Χρονικές διαφορές του Ionospheric Residual για τον G09 για την στάση "ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΑ"

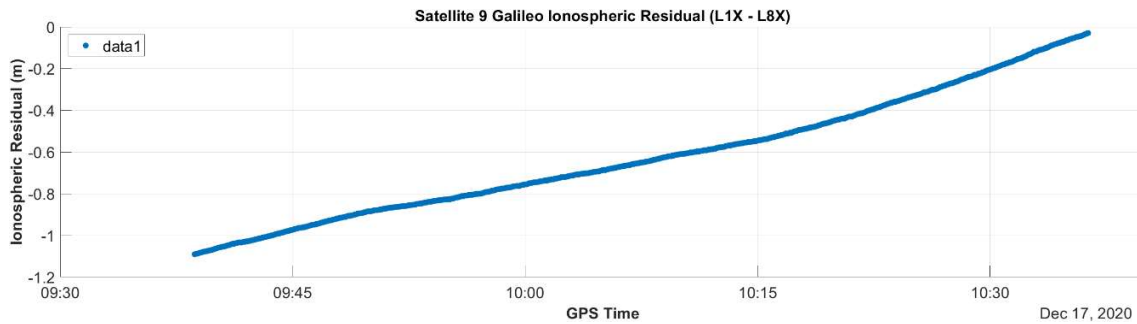
Ανάπτυξη λογισμικού για την αξιολόγηση της ποιότητας γεωδαιτικών μετρήσεων GNSS

Επιπλέον, στον Πίνακα 4.2 απεικονίζονται τα δεδομένα των πρώτων 80 εποχών, τα οποία προέκυψαν από την ανάλυση των μετρήσεων μέσω του λογισμικού, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του Ionospheric Residual. Όπως φαίνεται, οι τιμές της στήλης "dIonRes L1C-L2W" είναι πολύ κοντά στο μηδέν, γεγονός που υποδηλώνει την ύπαρξη ελάχιστου θορύβου στα δεδομένα. Αυτό είναι αναμενόμενο, καθώς ο δέκτης, όπως προαναφέρθηκε, ήταν τοποθετημένος σε οροφή κτηρίου, ώστε να ελαχιστοποιούνται οι παρεμβολές από εμπόδια. Την ίδια συμπεριφορά παρουσίασαν και τα δεδομένα από τους υπόλοιπους 10 δορυφόρους που καταγράφηκαν κατά τη διάρκεια λειτουργίας του δέκτη.

| rowTimes | IonRes (L1C - L2W) | dIonRes (L1C - L2W) | Cycle Slips (L1C - L2W) | rowTimes | IonRes (L1C - L2W) | dIonRes (L1C - L2W) | Cycle Slips (L1C - L2W) |
|----------|--------------------|---------------------|-------------------------|----------|--------------------|---------------------|-------------------------|
| 9:38:40 | 0,410752162 | | FALSE | 9:42:00 | 0,412938897 | 0,000678703 | FALSE |
| 9:38:45 | 0,410184212 | 0,00056795 | FALSE | 9:42:05 | 0,412196752 | 0,000742145 | FALSE |
| 9:38:50 | 0,410269611 | 8,53986E-05 | FALSE | 9:42:10 | 0,410309676 | 0,001887076 | FALSE |
| 9:38:55 | 0,409137134 | 0,001132477 | FALSE | 9:42:15 | 0,413313154 | 0,003003478 | FALSE |
| 9:39:00 | 0,409587272 | 0,000450138 | FALSE | 9:42:20 | 0,411178708 | 0,002134446 | FALSE |
| 9:39:05 | 0,411014259 | 0,001426987 | FALSE | 9:42:25 | 0,412123851 | 0,000945143 | FALSE |
| 9:39:10 | 0,411248744 | 0,000234485 | FALSE | 9:42:30 | 0,412146077 | 2,22251E-05 | FALSE |
| 9:39:15 | 0,411632299 | 0,000383556 | FALSE | 9:42:35 | 0,411118526 | 0,001027551 | FALSE |
| 9:39:20 | 0,409665737 | 0,001966562 | FALSE | 9:42:40 | 0,411403999 | 0,000285473 | FALSE |
| 9:39:25 | 0,41062019 | 0,000954453 | FALSE | 9:42:45 | 0,412585426 | 0,001181427 | FALSE |
| 9:39:30 | 0,409395784 | 0,001224406 | FALSE | 9:42:50 | 0,412718676 | 0,00013325 | FALSE |
| 9:39:35 | 0,409836452 | 0,000440668 | FALSE | 9:42:55 | 0,413797058 | 0,001078382 | FALSE |
| 9:39:40 | 0,411596499 | 0,001760047 | FALSE | 9:43:00 | 0,412912246 | 0,000884812 | FALSE |
| 9:39:45 | 0,410295993 | 0,001300506 | FALSE | 9:43:05 | 0,411770549 | 0,001141697 | FALSE |
| 9:39:50 | 0,41026412 | 3,18736E-05 | FALSE | 9:43:10 | 0,411272679 | 0,00049787 | FALSE |
| 9:39:55 | 0,412398424 | 0,002134304 | FALSE | 9:43:15 | 0,411570877 | 0,000298198 | FALSE |
| 9:40:00 | 0,411167718 | 0,001230706 | FALSE | 9:43:20 | 0,412024491 | 0,000453614 | FALSE |
| 9:40:05 | 0,411446676 | 0,000278957 | FALSE | 9:43:25 | 0,41346129 | 0,0014368 | FALSE |
| 9:40:10 | 0,411617804 | 0,000171129 | FALSE | 9:43:30 | 0,413217165 | 0,000244126 | FALSE |
| 9:40:15 | 0,411532044 | 8,57599E-05 | FALSE | 9:43:35 | 0,414634947 | 0,001417782 | FALSE |
| 9:40:20 | 0,411129136 | 0,000402909 | FALSE | 9:43:40 | 0,413020719 | 0,001614228 | FALSE |
| 9:40:25 | 0,41299073 | 0,001861595 | FALSE | 9:43:45 | 0,413033508 | 1,27889E-05 | FALSE |
| 9:40:30 | 0,410653178 | 0,002337553 | FALSE | 9:43:50 | 0,414797008 | 0,0017635 | FALSE |
| 9:40:35 | 0,411017805 | 0,000364628 | FALSE | 9:43:55 | 0,413271602 | 0,001525406 | FALSE |
| 9:40:40 | 0,410887677 | 0,000130128 | FALSE | 9:44:00 | 0,416566968 | 0,003295366 | FALSE |
| 9:40:45 | 0,410836842 | 5,08353E-05 | FALSE | 9:44:05 | 0,415951811 | 0,000615157 | FALSE |
| 9:40:50 | 0,412663575 | 0,001826733 | FALSE | 9:44:10 | 0,415466692 | 0,000485118 | FALSE |
| 9:40:55 | 0,412013326 | 0,000650249 | FALSE | 9:44:15 | 0,414496329 | 0,000970364 | FALSE |
| 9:41:00 | 0,411039587 | 0,000973739 | FALSE | 9:44:20 | 0,414813627 | 0,000317298 | FALSE |
| 9:41:05 | 0,413310356 | 0,002270769 | FALSE | 9:44:25 | 0,415124584 | 0,000310957 | FALSE |
| 9:41:10 | 0,411826 | 0,001484357 | FALSE | 9:44:30 | 0,415283315 | 0,000158731 | FALSE |
| 9:41:15 | 0,411933772 | 0,000107773 | FALSE | 9:44:35 | 0,4154801 | 0,000196785 | FALSE |
| 9:41:20 | 0,412203308 | 0,000269536 | FALSE | 9:44:40 | 0,416025773 | 0,000545673 | FALSE |
| 9:41:25 | 0,411515035 | 0,000688273 | FALSE | 9:44:45 | 0,416412871 | 0,000387099 | FALSE |
| 9:41:30 | 0,412130274 | 0,000615239 | FALSE | 9:44:50 | 0,416292518 | 0,000120353 | FALSE |
| 9:41:35 | 0,412012894 | 0,00011738 | FALSE | 9:44:55 | 0,415049441 | 0,001243077 | FALSE |
| 9:41:40 | 0,411847942 | 0,000164952 | FALSE | 9:45:00 | 0,4165022 | 0,001452759 | FALSE |
| 9:41:45 | 0,411480021 | 0,000367921 | FALSE | 9:45:05 | 0,415798295 | 0,000703905 | FALSE |
| 9:41:50 | 0,412704226 | 0,001224205 | FALSE | 9:45:10 | 0,417082969 | 0,001284674 | FALSE |
| 9:41:55 | 0,412260193 | 0,000444032 | FALSE | 9:45:15 | 0,416388594 | 0,000694375 | FALSE |

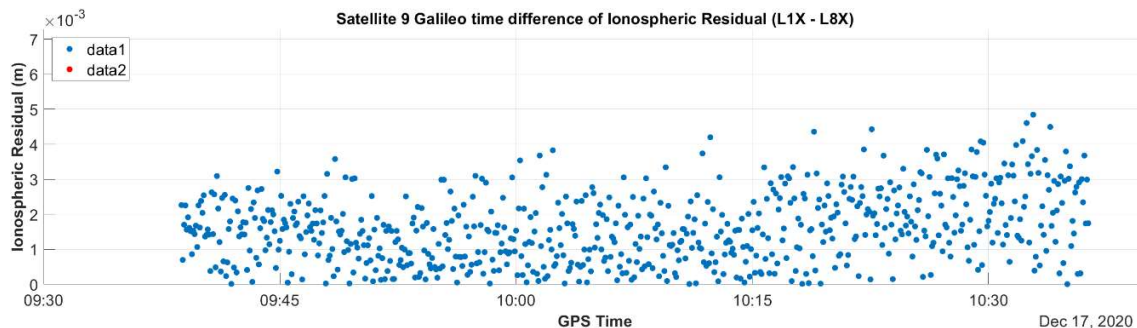
Πίνακας 4.2: Δεδομένα μεθόδου Ionospheric Residual για τον G09 για την στάση "ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΑ"

Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε και για το σύστημα Galileo. Σε αυτή την περίπτωση, κατά τη χρονική διάρκεια που ο δέκτης ήταν ενεργός, καταγράφηκαν δεδομένα από 6 δορυφόρους. Αυτή τη φορά επιλέχθηκε ο δορυφόρος E09 και πραγματοποιήθηκε ανάλυση ανάμεσα στα σήματα L1X-L8X (κωδικοποίηση σημάτων κατά RINEX), όπου το L8X αποτελείται από τις συχνότητες E5a και E5b. Όπως παρατηρείται στο Γράφημα 4.7, ο δέκτης κατέγραψε δεδομένα καθ' όλη τη χρονική διάρκεια που ήταν ενεργός, χωρίς να υπάρξει διακοπή του σήματος και χωρίς μεγάλες διακυμάνσεις.



Γράφημα 4.7: Ionospheric Residual σε L1X - L8X για τον E09 για την στάση “ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΑ”

Τα ίδια συμπεράσματα προκύπτουν και από την ανάλυση στο Γράφημα 4.8 στο οποίο απεικονίζονται οι χρονικές διαφορές των εποχών στο Ionospheric Residual. Τα δεδομένα δεν παρουσιάζουν ολίσθηση κύκλων.



Γράφημα 4.8: Χρονικές διαφορές του Ionospheric Residual για τον E09 για την στάση “ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΑ”

Ανάπτυξη λογισμικού για την αξιολόγηση της ποιότητας γεωδαιτικών μετρήσεων GNSS

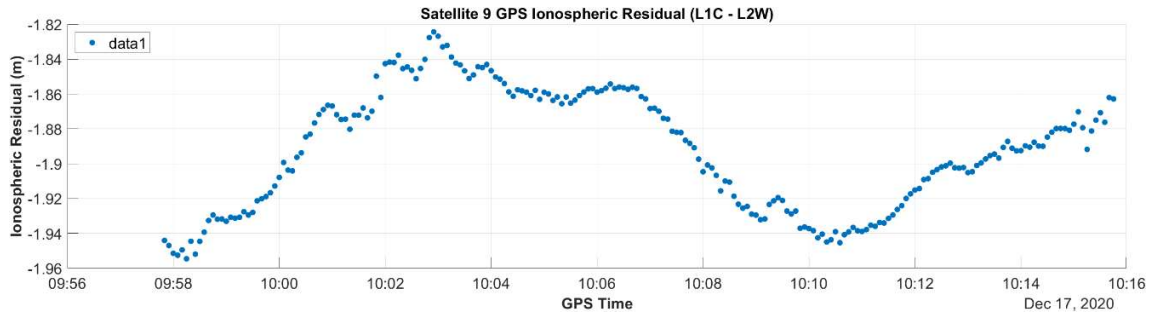
Τέλος, στον Πίνακα 4.3 απεικονίζονται τα δεδομένα των πρώτων 80 εποχών, τα οποία προέκυψαν από την ανάλυση των μετρήσεων μέσω του λογισμικού, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του Ionospheric Residual. Όπως και στο GPS, οι τιμές της στήλης "dIonRes (L1X - L8X)" είναι πολύ κοντά στο μηδέν, γεγονός που υποδηλώνει την ύπαρξη ελάχιστου θορύβου στα δεδομένα.

| rowTimes | IonRes (L1X - L8X) | dIonRes (L1X - L8X) | Cycle Slips (L1X - L8X) | rowTimes | IonRes (L1X - L8X) | dIonRes (L1X - L8X) | Cycle Slips (L1X - L8X) |
|----------|--------------------|---------------------|-------------------------|----------|--------------------|---------------------|-------------------------|
| 9:38:40 | -1,090827655 | | FALSE | 9:42:00 | -1,028674114 | 0,002449542 | FALSE |
| 9:38:45 | -1,088563547 | 0,002264109 | FALSE | 9:42:05 | -1,029154923 | 0,000480808 | FALSE |
| 9:38:50 | -1,087865885 | 0,000697661 | FALSE | 9:42:10 | -1,026761733 | 0,00239319 | FALSE |
| 9:38:55 | -1,086163674 | 0,001702212 | FALSE | 9:42:15 | -1,026421752 | 0,000339981 | FALSE |
| 9:39:00 | -1,083910991 | 0,002252683 | FALSE | 9:42:20 | -1,02433645 | 0,002085302 | FALSE |
| 9:39:05 | -1,082349248 | 0,001561742 | FALSE | 9:42:25 | -1,022969048 | 0,001367401 | FALSE |
| 9:39:10 | -1,080434687 | 0,001914561 | FALSE | 9:42:30 | -1,021340288 | 0,00162876 | FALSE |
| 9:39:15 | -1,078820672 | 0,001614016 | FALSE | 9:42:35 | -1,019912444 | 0,001427844 | FALSE |
| 9:39:20 | -1,07730303 | 0,001517642 | FALSE | 9:42:40 | -1,018137496 | 0,001774948 | FALSE |
| 9:39:25 | -1,076441199 | 0,000861831 | FALSE | 9:42:45 | -1,016715027 | 0,001422469 | FALSE |
| 9:39:30 | -1,0749113 | 0,001529898 | FALSE | 9:42:50 | -1,014953148 | 0,00176188 | FALSE |
| 9:39:35 | -1,073477779 | 0,001433522 | FALSE | 9:42:55 | -1,014542103 | 0,000411045 | FALSE |
| 9:39:40 | -1,071800869 | 0,00167691 | FALSE | 9:43:00 | -1,011789542 | 0,002752561 | FALSE |
| 9:39:45 | -1,070734859 | 0,00106601 | FALSE | 9:43:05 | -1,010825586 | 0,000963956 | FALSE |
| 9:39:50 | -1,068479717 | 0,002255142 | FALSE | 9:43:10 | -1,008674942 | 0,002150644 | FALSE |
| 9:39:55 | -1,066857528 | 0,001622189 | FALSE | 9:43:15 | -1,008606095 | 6,88471E-05 | FALSE |
| 9:40:00 | -1,064474158 | 0,00238337 | FALSE | 9:43:20 | -1,006267611 | 0,002338484 | FALSE |
| 9:40:05 | -1,062432174 | 0,002041984 | FALSE | 9:43:25 | -1,004371781 | 0,00189583 | FALSE |
| 9:40:10 | -1,059888732 | 0,002543442 | FALSE | 9:43:30 | -1,003612813 | 0,000758968 | FALSE |
| 9:40:15 | -1,058523796 | 0,001364935 | FALSE | 9:43:35 | -1,00093212 | 0,002680693 | FALSE |
| 9:40:20 | -1,05711231 | 0,001411486 | FALSE | 9:43:40 | -1,000364259 | 0,000567861 | FALSE |
| 9:40:25 | -1,055543195 | 0,001569115 | FALSE | 9:43:45 | -0,998761624 | 0,001602635 | FALSE |
| 9:40:30 | -1,054123543 | 0,001419652 | FALSE | 9:43:50 | -0,996038459 | 0,002723165 | FALSE |
| 9:40:35 | -1,053744376 | 0,000379167 | FALSE | 9:43:55 | -0,994168758 | 0,001869701 | FALSE |
| 9:40:40 | -1,051115986 | 0,00262839 | FALSE | 9:44:00 | -0,992362764 | 0,001805995 | FALSE |
| 9:40:45 | -1,049681626 | 0,00143436 | FALSE | 9:44:05 | -0,991388991 | 0,000973772 | FALSE |
| 9:40:50 | -1,047112852 | 0,002568774 | FALSE | 9:44:10 | -0,990055051 | 0,001333941 | FALSE |
| 9:40:55 | -1,046625882 | 0,00048697 | FALSE | 9:44:15 | -0,987932164 | 0,002122886 | FALSE |
| 9:41:00 | -1,043532774 | 0,003093109 | FALSE | 9:44:20 | -0,986787699 | 0,001144465 | FALSE |
| 9:41:05 | -1,041369088 | 0,002163686 | FALSE | 9:44:25 | -0,98500865 | 0,00177905 | FALSE |
| 9:41:10 | -1,040163402 | 0,001205686 | FALSE | 9:44:30 | -0,982892297 | 0,002116352 | FALSE |
| 9:41:15 | -1,039798114 | 0,000365287 | FALSE | 9:44:35 | -0,98089518 | 0,001997117 | FALSE |
| 9:41:20 | -1,037331425 | 0,00246669 | FALSE | 9:44:40 | -0,979379926 | 0,001515254 | FALSE |
| 9:41:25 | -1,036675386 | 0,000656039 | FALSE | 9:44:45 | -0,97891251 | 0,000467416 | FALSE |
| 9:41:30 | -1,034119669 | 0,002555717 | FALSE | 9:44:50 | -0,975691143 | 0,003221367 | FALSE |
| 9:41:35 | -1,033885047 | 0,000234623 | FALSE | 9:44:55 | -0,974701848 | 0,000989296 | FALSE |
| 9:41:40 | -1,034512054 | 0,000627007 | FALSE | 9:45:00 | -0,97345937 | 0,001242477 | FALSE |
| 9:41:45 | -1,032932311 | 0,001579743 | FALSE | 9:45:05 | -0,970933836 | 0,002525534 | FALSE |
| 9:41:50 | -1,03113614 | 0,001796171 | FALSE | 9:45:10 | -0,969354875 | 0,001578961 | FALSE |
| 9:41:55 | -1,031123657 | 1,24834E-05 | FALSE | 9:45:15 | -0,967508845 | 0,00184603 | FALSE |

Πίνακας 4.3: Δεδομένα μεθόδου Ionospheric Residual για τον E09 για την στάση "ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΑ"

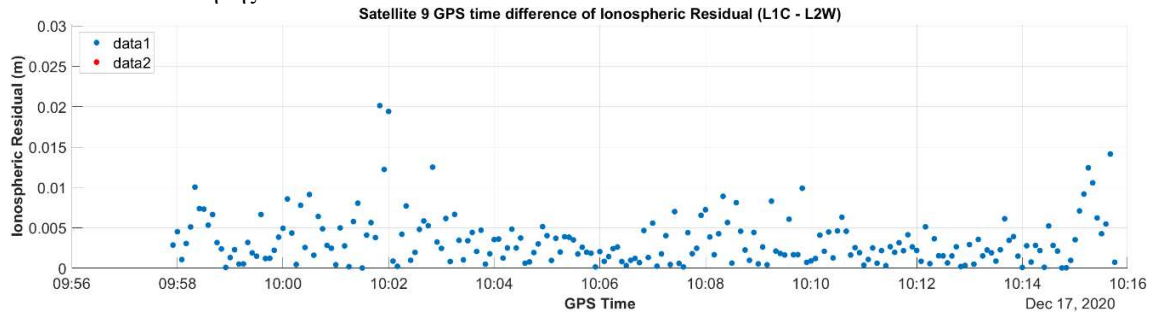
Η ανάλυση των δεδομένων συνεχίζεται με τη στάση 1. Κατά τη χρονική διάρκεια των 18 λεπτών που ο δέκτης ήταν ενεργός, καταγράφηκαν δεδομένα από 8 δορυφόρους του συστήματος GPS. Όπως και στην προηγούμενη στάση, πραγματοποιήθηκε ανάλυση όλων των δορυφόρων για τις συχνότητες L1 - L2, ενώ επιλέχθηκε ο δορυφόρος G09 για την απεικόνιση των αποτελεσμάτων. Στο Γράφημα 4.9 παρατηρείται ότι, ενώ ο δέκτης κατέγραψε δεδομένα καθ' όλη τη χρονική διάρκεια που ήταν ενεργός, υπάρχει πολύ μεγαλύτερη διακύμανση σε σύγκριση με τα δεδομένα του αντίστοιχου δορυφόρου της στάσης "ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΑ".

Ανάπτυξη λογισμικού για την αξιολόγηση της ποιότητας γεωδαιτικών μετρήσεων GNSS



Γράφημα 4.9: Ionospheric Residual σε L1C – L2W για τον G09 για την στάση 1

Παρατηρώντας το γράφημα των χρονικών διαφορών στο Γράφημα 4.10, καθώς και τα δεδομένα που προέκυψαν από την ανάλυση του λογισμικού και απεικονίζονται στον Πίνακα 4.4, δεν εντοπίζονται κύκλοι ολίσθησης.



Γράφημα 4.10: Χρονικές διαφορές του Ionospheric Residual για τον G09 για την στάση 1

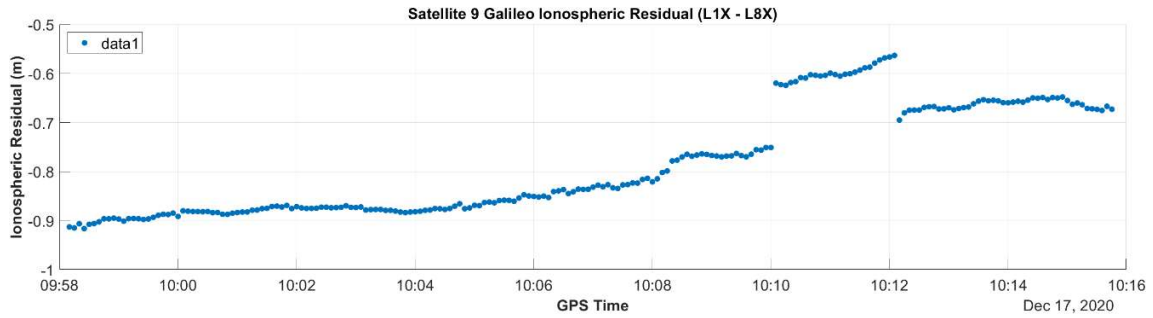
Ανάπτυξη λογισμικού για την αξιολόγηση της ποιότητας γεωδαιτικών μετρήσεων GNSS

| rowTimes | lonRes (L1C - L2W) | dlonRes (L1C - L2W) | Cycle Slips (L1C - L2W) | rowTimes | lonRes (L1C - L2W) | dlonRes (L1C - L2W) | Cycle Slips (L1C - L2W) |
|----------|--------------------|---------------------|-------------------------|----------|--------------------|---------------------|-------------------------|
| 9:57:50 | -1,944094449 | | FALSE | 10:01:10 | -1,874631353 | 0,002762921 | FALSE |
| 9:57:55 | -1,946962181 | 0,002867732 | FALSE | 10:01:15 | -1,874438372 | 0,000192981 | FALSE |
| 9:58:00 | -1,95148864 | 0,004526459 | FALSE | 10:01:20 | -1,880217444 | 0,005779073 | FALSE |
| 9:58:05 | -1,952564433 | 0,001075793 | FALSE | 10:01:25 | -1,87216216 | 0,008055285 | FALSE |
| 9:58:10 | -1,949498162 | 0,003066272 | FALSE | 10:01:30 | -1,872130927 | 3,12328E-05 | FALSE |
| 9:58:15 | -1,954608172 | 0,005110011 | FALSE | 10:01:35 | -1,868033741 | 0,004097186 | FALSE |
| 9:58:20 | -1,944567632 | 0,01004054 | FALSE | 10:01:40 | -1,873679586 | 0,005645845 | FALSE |
| 9:58:25 | -1,951951645 | 0,007384013 | FALSE | 10:01:45 | -1,86988052 | 0,003799066 | FALSE |
| 9:58:30 | -1,944635466 | 0,00731618 | FALSE | 10:01:50 | -1,849751085 | 0,020129435 | FALSE |
| 9:58:35 | -1,939298335 | 0,00533713 | FALSE | 10:01:55 | -1,861977909 | 0,012226824 | FALSE |
| 9:58:40 | -1,932648182 | 0,006650154 | FALSE | 10:02:00 | -1,842568409 | 0,0194095 | FALSE |
| 9:58:45 | -1,929467704 | 0,003180478 | FALSE | 10:02:05 | -1,841687169 | 0,00088124 | FALSE |
| 9:58:50 | -1,931859661 | 0,002391957 | FALSE | 10:02:10 | -1,841925483 | 0,000238314 | FALSE |
| 9:58:55 | -1,931758765 | 0,000100896 | FALSE | 10:02:15 | -1,837717265 | 0,004208218 | FALSE |
| 9:59:00 | -1,933081895 | 0,00132313 | FALSE | 10:02:20 | -1,845424596 | 0,007707331 | FALSE |
| 9:59:05 | -1,930789445 | 0,002292451 | FALSE | 10:02:25 | -1,84443868 | 0,000985917 | FALSE |
| 9:59:10 | -1,931303822 | 0,000514377 | FALSE | 10:02:30 | -1,84640231 | 0,00196363 | FALSE |
| 9:59:15 | -1,930771578 | 0,000532243 | FALSE | 10:02:35 | -1,851207651 | 0,004805341 | FALSE |
| 9:59:20 | -1,92758156 | 0,003190018 | FALSE | 10:02:40 | -1,845356546 | 0,005851105 | FALSE |
| 9:59:25 | -1,929478724 | 0,001897164 | FALSE | 10:02:45 | -1,840089004 | 0,005267542 | FALSE |
| 9:59:30 | -1,927985486 | 0,001493238 | FALSE | 10:02:50 | -1,827574436 | 0,012514569 | FALSE |
| 9:59:35 | -1,921335284 | 0,006650202 | FALSE | 10:02:55 | -1,824330349 | 0,003244087 | FALSE |
| 9:59:40 | -1,920127477 | 0,001207806 | FALSE | 10:03:00 | -1,82678872 | 0,002458371 | FALSE |
| 9:59:45 | -1,918900639 | 0,001226839 | FALSE | 10:03:05 | -1,832948297 | 0,006159578 | FALSE |
| 9:59:50 | -1,916677933 | 0,002222706 | FALSE | 10:03:10 | -1,832117748 | 0,00083055 | FALSE |
| 9:59:55 | -1,9128282 | 0,003849734 | FALSE | 10:03:15 | -1,838781599 | 0,006663851 | FALSE |
| 10:00:00 | -1,907884281 | 0,004943918 | FALSE | 10:03:20 | -1,842235822 | 0,003454223 | FALSE |
| 10:00:05 | -1,899312094 | 0,008572187 | FALSE | 10:03:25 | -1,843276486 | 0,001040664 | FALSE |
| 10:00:10 | -1,903667185 | 0,004355092 | FALSE | 10:03:30 | -1,846679956 | 0,00340347 | FALSE |
| 10:00:15 | -1,904130764 | 0,000463579 | FALSE | 10:03:35 | -1,851107839 | 0,004427884 | FALSE |
| 10:00:20 | -1,896338768 | 0,007791996 | FALSE | 10:03:40 | -1,849034019 | 0,002073821 | FALSE |
| 10:00:25 | -1,893770333 | 0,002568435 | FALSE | 10:03:45 | -1,844324626 | 0,004709393 | FALSE |
| 10:00:30 | -1,884649437 | 0,009120896 | FALSE | 10:03:50 | -1,844829276 | 0,00050465 | FALSE |
| 10:00:35 | -1,883032467 | 0,00161697 | FALSE | 10:03:55 | -1,843044054 | 0,001785222 | FALSE |
| 10:00:40 | -1,876623254 | 0,006409213 | FALSE | 10:04:00 | -1,846590225 | 0,003546171 | FALSE |
| 10:00:45 | -1,871745903 | 0,004877351 | FALSE | 10:04:05 | -1,850199822 | 0,003609598 | FALSE |
| 10:00:50 | -1,86891738 | 0,002828524 | FALSE | 10:04:10 | -1,851452947 | 0,001253124 | FALSE |
| 10:00:55 | -1,866444066 | 0,002473313 | FALSE | 10:04:15 | -1,853965174 | 0,002512228 | FALSE |
| 10:01:00 | -1,866875898 | 0,000431832 | FALSE | 10:04:20 | -1,858795814 | 0,00483064 | FALSE |
| 10:01:05 | -1,871868432 | 0,004992533 | FALSE | 10:04:25 | -1,861308038 | 0,002512224 | FALSE |

Πίνακας 4.4: Δεδομένα μεθόδου Ionospheric Residual για τον G09 στην στάση 1

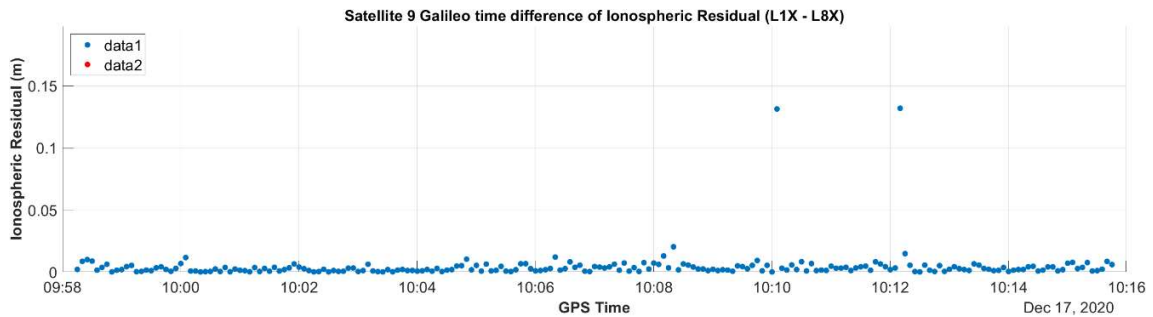
Προχωρώντας στην ανάλυση των δεδομένων που καταγράφηκαν από τους δορυφόρους του συστήματος Galileo, παρατηρήθηκε ότι κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του δέκτη καταγράφηκαν δεδομένα από 6 δορυφόρους. Παρακάτω θα αναλυθούν τα δεδομένα δύο δορυφόρων του συστήματος Galileo.

Για τον δορυφόρο E09, στο Γράφημα 4.2-7 και στον Πίνακα 4.2-4, διακρίνεται ότι μεταξύ της χρονικής στιγμής 10:10:00 και 10:10:05, ο δορυφόρος έχασε το σήμα για λιγότερο από 5 δευτερόλεπτα. Αυτό επιβεβαιώνεται από την απουσία εποχών στις μετρήσεις, αλλά και από το γεγονός ότι το Ionospheric Residual έχει μετατοπιστεί. Στη συνέχεια, μετά από δύο λεπτά, μεταξύ της χρονικής στιγμής 10:12:05 και 10:12:10, ο δέκτης χάνει ξανά το σήμα από τον δορυφόρο και το Ionospheric Residual μετατοπίζεται για δεύτερη φορά.



Γράφημα 4.11: Ionospheric Residual σε L1X – L8X για τον E09 στην στάση 1

Παρόμοια παρατήρηση γίνεται και στο Γράφημα 4.12, καθώς και στον Πίνακα 4.5, όπου στις εποχές με χρονικές στιγμές 10:10:05 και 10:12:10, οι τιμές εμφανίζονται αυξημένες, φτάνοντας τα 0,13119 και 0,13178 αντίστοιχα. Ωστόσο, με βάση το όριο που έχει οριστεί για την ανίχνευση ολίσθησης κύκλων, το οποίο είναι 0,5, αυτές οι τιμές δεν αποδεικνύουν την ύπαρξη ολίσθησης κύκλων.



Γράφημα 4.12: Χρονικές διαφορές του Ionospheric Residual για τον E09 για την στάση 1

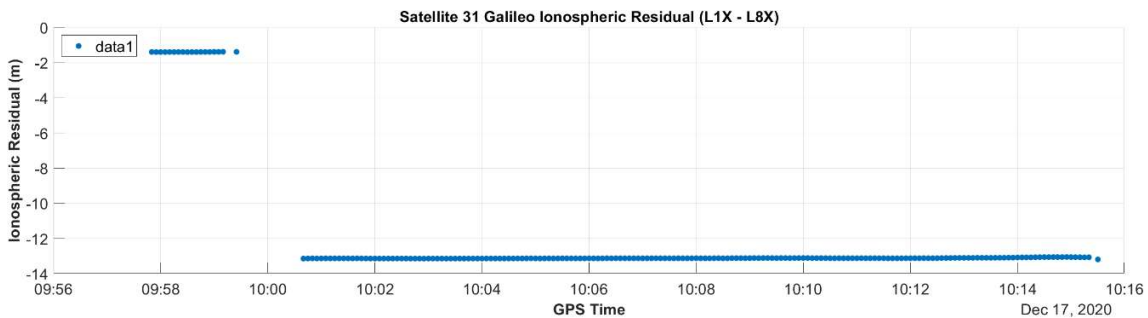
Ανάπτυξη λογισμικού για την αξιολόγηση της ποιότητας γεωδαιτικών μετρήσεων GNSS

| rowTimes | lonRes (L1X - L8X) | dlonRes (L1X - L8X) | Cycle Slips (L1X - L8X) | rowTimes | lonRes (L1X - L8X) | dlonRes (L1X - L8X) | Cycle Slips (L1X - L8X) |
|----------|--------------------|---------------------|-------------------------|----------|--------------------|---------------------|-------------------------|
| 9:58:10 | -0,912450571 | | FALSE | 10:01:30 | -0,874576252 | 0,000620611 | FALSE |
| 9:58:15 | -0,914482657 | 0,002032086 | FALSE | 10:01:35 | -0,870837439 | 0,003738813 | FALSE |
| 9:58:20 | -0,905943234 | 0,008539423 | FALSE | 10:01:40 | -0,87005512 | 0,000782318 | FALSE |
| 9:58:25 | -0,915921096 | 0,009977862 | FALSE | 10:01:45 | -0,871932823 | 0,001877703 | FALSE |
| 9:58:30 | -0,907148097 | 0,008772999 | FALSE | 10:01:50 | -0,86861543 | 0,003317393 | FALSE |
| 9:58:35 | -0,905691188 | 0,001456909 | FALSE | 10:01:55 | -0,875059366 | 0,006443936 | FALSE |
| 9:58:40 | -0,902043864 | 0,003647324 | FALSE | 10:02:00 | -0,871119637 | 0,00399729 | FALSE |
| 9:58:45 | -0,895878613 | 0,006165251 | FALSE | 10:02:05 | -0,873751983 | 0,002632346 | FALSE |
| 9:58:50 | -0,895935889 | 5,72763E-05 | FALSE | 10:02:10 | -0,874880765 | 0,001128782 | FALSE |
| 9:58:55 | -0,894540235 | 0,001395654 | FALSE | 10:02:15 | -0,874761607 | 0,000119157 | FALSE |
| 9:59:00 | -0,896453887 | 0,001913652 | FALSE | 10:02:20 | -0,874452159 | 0,000309449 | FALSE |
| 9:59:05 | -0,900762144 | 0,004308257 | FALSE | 10:02:25 | -0,872300211 | 0,002151947 | FALSE |
| 9:59:10 | -0,895512424 | 0,00524972 | FALSE | 10:02:30 | -0,872359097 | 5,88857E-05 | FALSE |
| 9:59:15 | -0,895279765 | 0,000232659 | FALSE | 10:02:35 | -0,873510741 | 0,001151644 | FALSE |
| 9:59:20 | -0,895746205 | 0,00046644 | FALSE | 10:02:40 | -0,87305183 | 0,000458911 | FALSE |
| 9:59:25 | -0,897273559 | 0,001527354 | FALSE | 10:02:45 | -0,872465517 | 0,000586312 | FALSE |
| 9:59:30 | -0,896235619 | 0,00103794 | FALSE | 10:02:50 | -0,869385783 | 0,003079735 | FALSE |
| 9:59:35 | -0,892912522 | 0,003323097 | FALSE | 10:02:55 | -0,872586552 | 0,003200769 | FALSE |
| 9:59:40 | -0,888740044 | 0,004172478 | FALSE | 10:03:00 | -0,872936998 | 0,000350446 | FALSE |
| 9:59:45 | -0,886723682 | 0,002016362 | FALSE | 10:03:05 | -0,871823907 | 0,001113091 | FALSE |
| 9:59:50 | -0,887230959 | 0,000507277 | FALSE | 10:03:10 | -0,878007304 | 0,006183397 | FALSE |
| 9:59:55 | -0,884395435 | 0,002835523 | FALSE | 10:03:15 | -0,877208639 | 0,000798665 | FALSE |
| 10:00:00 | -0,891172603 | 0,006777167 | FALSE | 10:03:20 | -0,876934305 | 0,000274334 | FALSE |
| 10:00:05 | -0,879621953 | 0,01155065 | FALSE | 10:03:25 | -0,876879659 | 5,46463E-05 | FALSE |
| 10:00:10 | -0,880372606 | 0,000750653 | FALSE | 10:03:30 | -0,878783494 | 0,001903836 | FALSE |
| 10:00:15 | -0,881127343 | 0,000754736 | FALSE | 10:03:35 | -0,878644731 | 0,000138763 | FALSE |
| 10:00:20 | -0,881173171 | 4,58285E-05 | FALSE | 10:03:40 | -0,880151637 | 0,001506906 | FALSE |
| 10:00:25 | -0,881459936 | 0,000286765 | FALSE | 10:03:45 | -0,882155109 | 0,002003472 | FALSE |
| 10:00:30 | -0,88104514 | 0,000414796 | FALSE | 10:03:50 | -0,883265093 | 0,001109984 | FALSE |
| 10:00:35 | -0,883435749 | 0,002390608 | FALSE | 10:03:55 | -0,882078484 | 0,001186609 | FALSE |
| 10:00:40 | -0,883104254 | 0,000331495 | FALSE | 10:04:00 | -0,881444793 | 0,000633691 | FALSE |
| 10:00:45 | -0,886720747 | 0,003616493 | FALSE | 10:04:05 | -0,880535051 | 0,000909742 | FALSE |
| 10:00:50 | -0,886875197 | 0,000154451 | FALSE | 10:04:10 | -0,878568485 | 0,001966566 | FALSE |
| 10:00:55 | -0,884528067 | 0,00234713 | FALSE | 10:04:15 | -0,877965827 | 0,000602659 | FALSE |
| 10:01:00 | -0,883196913 | 0,001331154 | FALSE | 10:04:20 | -0,875097614 | 0,002868213 | FALSE |
| 10:01:05 | -0,882144265 | 0,001052648 | FALSE | 10:04:25 | -0,875405584 | 0,00030797 | FALSE |
| 10:01:10 | -0,881976929 | 0,000167336 | FALSE | 10:04:30 | -0,876865119 | 0,001459535 | FALSE |
| 10:01:15 | -0,878424328 | 0,003552601 | FALSE | 10:04:35 | -0,874968786 | 0,001896333 | FALSE |
| 10:01:20 | -0,878041383 | 0,000382945 | FALSE | 10:04:40 | -0,870223768 | 0,004745018 | FALSE |
| 10:01:25 | -0,875196863 | 0,00284452 | FALSE | 10:04:45 | -0,865174111 | 0,005049657 | FALSE |

Πίνακας 4.5: Δεδομένα μεθόδου Ionospheric Residual για τον E09 στην στάση 1

Για τον δορυφόρο E31, στα δεδομένα που καταγράφηκαν από τον δέκτη κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του, παρατηρήθηκε απώλεια σήματος διάρκειας 1 λεπτού και 15 δευτερολέπτων. Μετά την αποκατάσταση του σήματος, παρατηρείται ολίσθηση κύκλων.

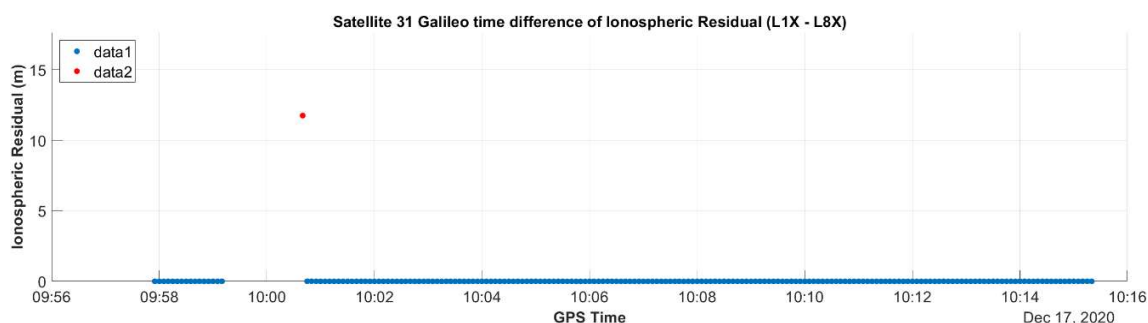
Όπως φαίνεται και στο Γράφημα 4.13, κατά τη σύγκριση των σημάτων L1X – L8X, παρατηρείται διακοπή στην λήψη σήματος από τον δορυφόρο για 15 δευτερόλεπτα, από τις 09:59:10 έως τις 09:59:25. Σε αυτό το σημείο δεν σημειώνεται ολίσθηση κύκλων. Στην συνέχεια, ο δέκτης χάνει το σήμα για 1 λεπτό και 15 δευτερόλεπτα.



Γράφημα 4.13: Ionospheric Residual σε L1X – L8X για τον E31 στην στάση 1

Ανάπτυξη λογισμικού για την αξιολόγηση της ποιότητας γεωδαιτικών μετρήσεων GNSS

Όπως φαίνεται στο Γράφημα 4.14, τη χρονική στιγμή 10:00:40, όταν ο δέκτης επανακτά το σήμα, η τιμή των χρονικών διαφορών φτάνει τους 12 κύκλους. Αυτό επιβεβαιώνεται και στον Πίνακα 4.6, όπου παρουσιάζονται οι πρώτες 80 εποχές του δορυφόρου E31. Στην προκειμένη περίπτωση, η αυξημένη τιμή που παρατηρήθηκε μεταξύ των χρονικών διαφορών του Ionospheric Residual δεν πρέπει να ερμηνευθεί ως ολίσθηση κύκλων, καθώς οφείλεται στην προηγούμενη διακοπή λήψης του σήματος. Για τον λόγο αυτό, στον πίνακα επισημαίνεται με γαλάζιο χρώμα, σε αντίθεση με το κόκκινο που θα χρησιμοποιηθεί αργότερα για τις περιπτώσεις πραγματικής ολίσθησης κύκλων (cycle slips).



Γράφημα 4.14: Χρονικές διαφορές του Ionospheric Residual για τον E31 για την στάση 1

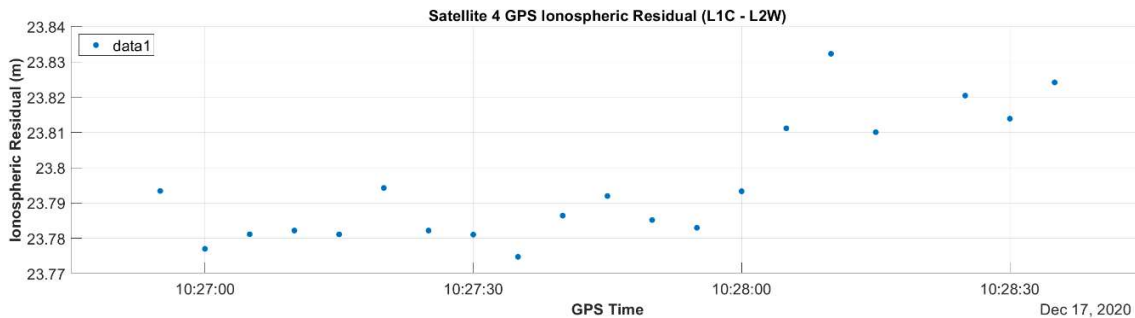
| rowTimes | lonRes (L1X - L8X) | dlonRes (L1X - L8X) | Cycle Slips (L1X - L8X) | rowTimes | lonRes (L1X - L8X) | dlonRes (L1X - L8X) | Cycle Slips (L1X - L8X) |
|----------|--------------------|---------------------|-------------------------|----------|--------------------|---------------------|-------------------------|
| 9:57:50 | -1,390711412 | | FALSE | 10:02:20 | -13,13359356 | 0,001993593 | FALSE |
| 9:57:55 | -1,39556358 | 0,004852168 | FALSE | 10:02:25 | -13,13450093 | 0,000907369 | FALSE |
| 9:58:00 | -1,393459823 | 0,002103757 | FALSE | 10:02:30 | -13,13522045 | 0,000719525 | FALSE |
| 9:58:05 | -1,394773178 | 0,001313355 | FALSE | 10:02:35 | -13,13560349 | 0,000383034 | FALSE |
| 9:58:10 | -1,39060396 | 0,004169218 | FALSE | 10:02:40 | -13,13932034 | 0,003716853 | FALSE |
| 9:58:15 | -1,393090922 | 0,002486963 | FALSE | 10:02:45 | -13,13829781 | 0,001022525 | FALSE |
| 9:58:20 | -1,391434714 | 0,001656208 | FALSE | 10:02:50 | -13,13772856 | 0,000569254 | FALSE |
| 9:58:25 | -1,39224742 | 0,000812706 | FALSE | 10:02:55 | -13,13994348 | 0,00221492 | FALSE |
| 9:58:30 | -1,395170514 | 0,002923094 | FALSE | 10:03:00 | -13,13629685 | 0,003646631 | FALSE |
| 9:58:35 | -1,392178159 | 0,002992354 | FALSE | 10:03:05 | -13,13668642 | 0,000389569 | FALSE |
| 9:58:40 | -1,394433986 | 0,002255827 | FALSE | 10:03:10 | -13,1385436 | 0,001857184 | FALSE |
| 9:58:45 | -1,38870075 | 0,005733237 | FALSE | 10:03:15 | -13,13776118 | 0,000782419 | FALSE |
| 9:58:50 | -1,389062624 | 0,000361875 | FALSE | 10:03:20 | -13,14062293 | 0,002861742 | FALSE |
| 9:58:55 | -1,389119048 | 5,64232E-05 | FALSE | 10:03:25 | -13,13858195 | 0,002040975 | FALSE |
| 9:59:00 | -1,38399915 | 0,005119897 | FALSE | 10:03:30 | -13,13672146 | 0,001860488 | FALSE |
| 9:59:05 | -1,383213546 | 0,000785604 | FALSE | 10:03:35 | -13,13410715 | 0,002614312 | FALSE |
| 9:59:10 | -1,379034493 | 0,004179053 | FALSE | 10:03:40 | -13,13481032 | 0,000703171 | FALSE |
| 9:59:15 | | | FALSE | 10:03:45 | -13,13598799 | 0,001177672 | FALSE |
| 9:59:20 | | | FALSE | 10:03:50 | -13,13371098 | 0,002277013 | FALSE |
| 9:59:25 | -1,382438734 | | FALSE | 10:03:55 | -13,13547424 | 0,001763258 | FALSE |
| 10:00:40 | -13,13809652 | 11,75565778 | TRUE | 10:04:00 | -13,13605162 | 0,000577383 | FALSE |
| 10:00:45 | -13,13262459 | 0,00547193 | FALSE | 10:04:05 | -13,13370192 | 0,002349705 | FALSE |
| 10:00:50 | -13,12594148 | 0,006683111 | FALSE | 10:04:10 | -13,13210195 | 0,001599967 | FALSE |
| 10:00:55 | -13,13093488 | 0,004993398 | FALSE | 10:04:15 | -13,1337231 | 0,001621146 | FALSE |
| 10:01:00 | -13,12974414 | 0,001190737 | FALSE | 10:04:20 | -13,13182911 | 0,001893986 | FALSE |
| 10:01:05 | -13,1269306 | 0,002813537 | FALSE | 10:04:25 | -13,13299778 | 0,001168672 | FALSE |
| 10:01:10 | -13,12784126 | 0,000910658 | FALSE | 10:04:30 | -13,13100824 | 0,00198954 | FALSE |
| 10:01:15 | -13,12582809 | 0,002013173 | FALSE | 10:04:35 | -13,1318486 | 0,000840355 | FALSE |
| 10:01:20 | -13,12755954 | 0,001731455 | FALSE | 10:04:40 | -13,12927347 | 0,002575122 | FALSE |
| 10:01:25 | -13,1260217 | 0,001537845 | FALSE | 10:04:45 | -13,1317693 | 0,002495822 | FALSE |
| 10:01:30 | -13,12710794 | 0,001086246 | FALSE | 10:04:50 | -13,12795113 | 0,003818162 | FALSE |
| 10:01:35 | -13,12807903 | 0,000971086 | FALSE | 10:04:55 | -13,12449966 | 0,00345147 | FALSE |
| 10:01:40 | -13,12553336 | 0,00254567 | FALSE | 10:05:00 | -13,12971922 | 0,00521956 | FALSE |
| 10:01:45 | -13,12984479 | 0,004311431 | FALSE | 10:05:05 | -13,13067799 | 0,000958771 | FALSE |
| 10:01:50 | -13,1330945 | 0,003249705 | FALSE | 10:05:10 | -13,12783824 | 0,002839752 | FALSE |
| 10:01:55 | -13,13498438 | 0,001889884 | FALSE | 10:05:15 | -13,12615005 | 0,001688194 | FALSE |
| 10:02:00 | -13,13603141 | 0,00104703 | FALSE | 10:05:20 | -13,12995588 | 0,003805827 | FALSE |
| 10:02:05 | -13,1346814 | 0,001350012 | FALSE | 10:05:25 | -13,12811986 | 0,001836017 | FALSE |
| 10:02:10 | -13,13371034 | 0,00097106 | FALSE | 10:05:30 | -13,12405749 | 0,004062373 | FALSE |
| 10:02:15 | -13,13558715 | 0,001876812 | FALSE | 10:05:35 | -13,12517387 | 0,001116388 | FALSE |

Πίνακας 4.6: Δεδομένα μεθόδου Ionospheric Residual για τον E31 στην στάση 1

Η ανάλυση των δεδομένων για το Ionospheric Residual θα ολοκληρωθεί με την εξέταση των δεδομένων που καταγράφηκαν στη Στάση 2. Ο δορυφόρος στο συγκεκριμένο σημείο παρέμεινε ενεργός για 10 λεπτά, από τις 10:18 έως τις 10:28. Κατά τη διάρκεια που ο δέκτης ήταν ενεργός, για το σύστημα GPS καταγράφηκαν δεδομένα από 7 δορυφόρους. Υπενθυμίζεται ότι η Στάση 2 βρίσκεται κάτω από δέντρο με φυλλώματα στο ύψος του δέκτη.

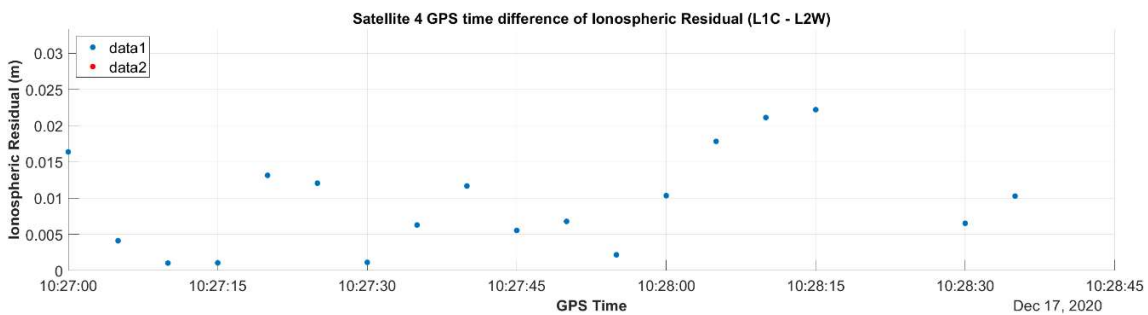
Αξίζει να σημειωθεί ότι, για ορισμένους δορυφόρους, όπως ο G04, δεν καταγράφηκαν αρκετά δεδομένα στην L2W, με αποτέλεσμα η σύγκριση να γίνεται μεταξύ λίγων εποχών ανάμεσα σε L1C και L2W.

Όπως απεικονίζεται στο Γράφημα 4.15, τα δεδομένα στα οποία έγινε η σύγκριση ξεκινούν από την χρονική στιγμή 10:26:55 έως το τέλος λειτουργίας του δέκτη στις 10:28:35. Επίσης, στον Πίνακα 4.7, όπου απεικονίζονται όλες οι εποχές στις οποίες έχουν καταγραφεί δεδομένα, παρατηρείται ότι λείπουν δεδομένα και στα δύο σήματα μεταξύ των εποχών σε αυτό το χρονικό διάστημα.



Γράφημα 4.15 Ionospheric Residual σε L1C – L2W για τον G04 στην στάση 2

Ωστόσο, στο Γράφημα 4.16 με τις χρονικές διαφορές παρατηρείται ότι δεν εμφανίζεται ολίσθηση κύκλων.



Γράφημα 4.16: Χρονικές διαφορές του Ionospheric Residual για τον G04 για την στάση 2

Ανάπτυξη λογισμικού για την αξιολόγηση της ποιότητας γεωδαιτικών μετρήσεων GNSS

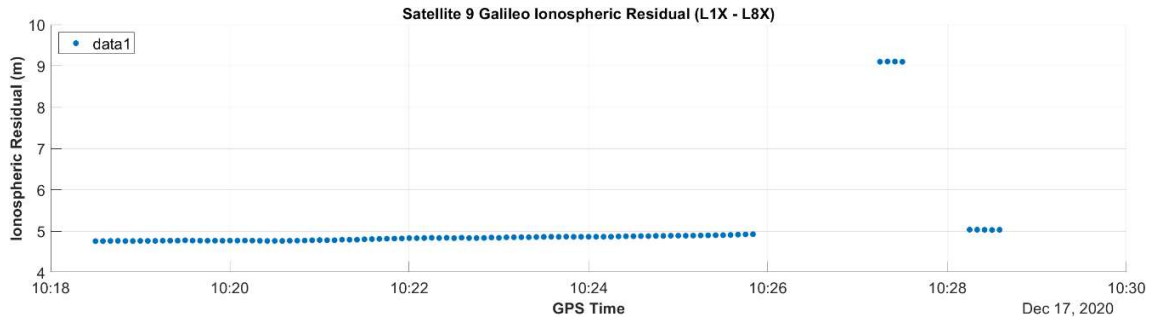
| rowTimes | lonRes (L1C - L2W) | dlonRes (L1C - L2W) | Cycle Slips (L1C - L2W) | rowTimes | lonRes (L1C - L2W) | dlonRes (L1C - L2W) | Cycle Slips (L1C - L2W) |
|----------|--------------------|---------------------|-------------------------|----------|--------------------|---------------------|-------------------------|
| 10:18:30 | | | FALSE | 10:24:05 | | | FALSE |
| 10:18:35 | | | FALSE | 10:24:10 | | | FALSE |
| 10:18:40 | | | FALSE | 10:24:15 | | | FALSE |
| 10:18:45 | | | FALSE | 10:24:20 | | | FALSE |
| 10:18:50 | | | FALSE | 10:24:25 | | | FALSE |
| 10:18:55 | | | FALSE | 10:24:30 | | | FALSE |
| 10:19:00 | | | FALSE | 10:24:35 | | | FALSE |
| 10:19:05 | | | FALSE | 10:24:40 | | | FALSE |
| 10:19:10 | | | FALSE | 10:25:20 | | | FALSE |
| 10:19:15 | | | FALSE | 10:25:25 | | | FALSE |
| 10:19:20 | | | FALSE | 10:25:30 | | | FALSE |
| 10:19:25 | | | FALSE | 10:25:35 | | | FALSE |
| 10:19:30 | | | FALSE | 10:25:40 | | | FALSE |
| 10:19:35 | | | FALSE | 10:25:45 | | | FALSE |
| 10:19:40 | | | FALSE | 10:25:50 | | | FALSE |
| 10:19:45 | | | FALSE | 10:25:55 | | | FALSE |
| 10:19:50 | | | FALSE | 10:26:00 | | | FALSE |
| 10:19:55 | | | FALSE | 10:26:05 | | | FALSE |
| 10:20:00 | | | FALSE | 10:26:10 | | | FALSE |
| 10:20:05 | | | FALSE | 10:26:15 | | | FALSE |
| 10:20:10 | | | FALSE | 10:26:20 | | | FALSE |
| 10:20:15 | | | FALSE | 10:26:25 | | | FALSE |
| 10:20:20 | | | FALSE | 10:26:30 | | | FALSE |
| 10:20:25 | | | FALSE | 10:26:35 | | | FALSE |
| 10:20:30 | | | FALSE | 10:26:40 | | | FALSE |
| 10:20:35 | | | FALSE | 10:26:45 | | | FALSE |
| 10:20:40 | | | FALSE | 10:26:50 | | | FALSE |
| 10:20:45 | | | FALSE | 10:26:55 | 23,79341354 | | FALSE |
| 10:20:50 | | | FALSE | 10:27:00 | 23,7770238 | 0,016389739 | FALSE |
| 10:20:55 | | | FALSE | 10:27:05 | 23,78114773 | 0,004123922 | FALSE |
| 10:21:00 | | | FALSE | 10:27:10 | 23,78219524 | 0,001047511 | FALSE |
| 10:21:05 | | | FALSE | 10:27:15 | 23,78111463 | 0,001080606 | FALSE |
| 10:21:10 | | | FALSE | 10:27:20 | 23,79426482 | 0,013150189 | FALSE |
| 10:21:15 | | | FALSE | 10:27:25 | 23,78219476 | 0,01207006 | FALSE |
| 10:21:20 | | | FALSE | 10:27:30 | 23,78104756 | 0,001147203 | FALSE |
| 10:21:25 | | | FALSE | 10:27:35 | 23,77474657 | 0,00630099 | FALSE |
| 10:21:30 | | | FALSE | 10:27:40 | 23,78642833 | 0,011681765 | FALSE |
| 10:21:35 | | | FALSE | 10:27:45 | 23,7919763 | 0,005547963 | FALSE |
| 10:21:40 | | | FALSE | 10:27:50 | 23,78517738 | 0,006798919 | FALSE |
| 10:21:45 | | | FALSE | 10:27:55 | 23,78298991 | 0,002187464 | FALSE |
| 10:21:50 | | | FALSE | 10:28:00 | 23,79333328 | 0,010343373 | FALSE |
| 10:21:55 | | | FALSE | 10:28:05 | 23,81116788 | 0,0178346 | FALSE |
| 10:22:00 | | | FALSE | 10:28:10 | 23,83229139 | 0,02112351 | FALSE |
| 10:22:05 | | | FALSE | 10:28:15 | 23,8100787 | 0,022212695 | FALSE |
| 10:22:10 | | | FALSE | 10:28:20 | | | FALSE |
| 10:22:15 | | | FALSE | 10:28:25 | 23,82043251 | | FALSE |
| 10:22:20 | | | FALSE | 10:28:30 | 23,81389684 | 0,006535672 | FALSE |
| 10:22:25 | | | FALSE | 10:28:35 | 23,82418314 | 0,010286298 | FALSE |
| 10:22:30 | | | FALSE | | | | |

Πίνακας 4.7: Δεδομένα μεθόδου Ionospheric Residual για τον G04 στην στάση 2

Τέλος, για το σύστημα Galileo καταγράφηκαν δεδομένα για 6 δορυφόρους. Επιλέχθηκε ο δορυφόρος E09, καθώς είναι ο μοναδικός δορυφόρος που παρουσίασε ολίσθηση κύκλων. Για τους υπόλοιπους δορυφόρους, αν και ο δέκτης βρισκόταν κάτω από δέντρο, καταγράφηκαν δεδομένα καθ' όλη τη διάρκεια λειτουργίας του, χωρίς ιδιαίτερες διακοπές στο σήμα.

Παρατηρώντας το Γράφημα 4.17, φαίνεται ότι υπάρχει διακοπή λήψης του σήματος σε δύο χρονικές στιγμές. Η πρώτη είναι από τις 10:25:50 έως τις 10:27:10, όπου ο δέκτης ξαναβρίσκει το σήμα, και η δεύτερη είναι από τις 10:27:30 έως τις 10:28:15, όπου ο δέκτης ξαναβρίσκει το σήμα για τα τελευταία δευτερόλεπτα πριν από το τέλος της λειτουργίας του.

Ανάπτυξη λογισμικού για την αξιολόγηση της ποιότητας γεωδαιτικών μετρήσεων GNSS

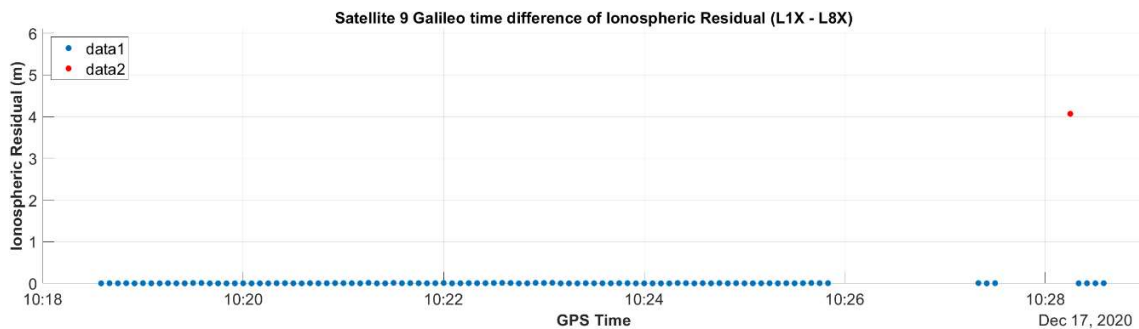


Γράφημα 4.17: Ionospheric Residual σε L1X – L8X για τον E09 στην στάση 2

Στο Γράφημα 4.18, ωστόσο απεικονίζεται μόνο μια κόκκινη κουκίδα ως ένδειξη για ολίσθηση κύκλων στην χρονική στιγμή 10:28:15. Πιθανότατα, να εμφανιζόταν και άλλη ένδειξη νωρίτερα, στην χρονική στιγμή 10:27:10, καθώς έχει προηγηθεί διακοπή λήψης του σήματος αλλά όπως φαίνεται και στον Πίνακα 4.8, ο δέκτης δεν έχει καταγράψει αρκετά δεδομένα στο σήμα L8X για την συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Και σε αυτή την περίπτωση η αυξημένη τιμή ανάμεσα στις χρονικές διαφορές του Ionospheric Residual δεν πρέπει να ερμηνευθεί ως ολίσθηση κύκλων καθώς οφείλεται στην προηγούμενη διακοπή λήψης του σήματος.

Πίνακας 4.8: Χρονική στιγμή από τα δεδομένα που παράγει το λογισμικό

| rowTimes | L1X | L8X | IonRes L1X - L8X | dIonRes L1X - L8X | Cycle Slips_L1X - L8X |
|------------------|-------------|-----|------------------|-------------------|-----------------------|
| 17/12/2020 10:27 | 25431834,37 | | | | FALSE |



Γράφημα 4.18: Χρονικές διαφορές του Ionospheric Residual για τον E09 για την στάση 2

Ανάπτυξη λογισμικού για την αξιολόγηση της ποιότητας γεωδαιτικών μετρήσεων GNSS

| rowTimes | lonRes (L1X - L8X) | dlonRes (L1X - L8X) | Cycle Slips (L1X - L8X) | rowTimes | lonRes (L1X - L8X) | dlonRes (L1X - L8X) | Cycle Slips (L1X - L8X) |
|----------|--------------------|---------------------|-------------------------|----------|--------------------|---------------------|-------------------------|
| 10:18:30 | 4,758169644 | | FALSE | 10:22:40 | 4,833523568 | 0,008475807 | FALSE |
| 10:18:35 | 4,759135813 | 0,000966169 | FALSE | 10:22:45 | 4,832785286 | 0,000738282 | FALSE |
| 10:18:40 | 4,763252851 | 0,004117038 | FALSE | 10:22:50 | 4,835838169 | 0,003052883 | FALSE |
| 10:18:45 | 4,765378751 | 0,0021259 | FALSE | 10:22:55 | 4,846620414 | 0,010782246 | FALSE |
| 10:18:50 | 4,760948099 | 0,004430652 | FALSE | 10:23:00 | 4,837933086 | 0,008687329 | FALSE |
| 10:18:55 | 4,760290649 | 0,00065745 | FALSE | 10:23:05 | 4,850725252 | 0,012792166 | FALSE |
| 10:19:00 | 4,764690273 | 0,004399624 | FALSE | 10:23:10 | 4,852063049 | 0,001337796 | FALSE |
| 10:19:05 | 4,762789786 | 0,001900487 | FALSE | 10:23:15 | 4,853007194 | 0,000944145 | FALSE |
| 10:19:10 | 4,76403201 | 0,001242224 | FALSE | 10:23:20 | 4,853577282 | 0,000570089 | FALSE |
| 10:19:15 | 4,768158045 | 0,004126035 | FALSE | 10:23:25 | 4,857992448 | 0,004415166 | FALSE |
| 10:19:20 | 4,769839652 | 0,001681607 | FALSE | 10:23:30 | 4,86101757 | 0,003025122 | FALSE |
| 10:19:25 | 4,770889949 | 0,001050297 | FALSE | 10:23:35 | 4,863814015 | 0,002796445 | FALSE |
| 10:19:30 | 4,77908238 | 0,008192431 | FALSE | 10:23:40 | 4,861903753 | 0,001910262 | FALSE |
| 10:19:35 | 4,770533871 | 0,008548509 | FALSE | 10:23:45 | 4,866822835 | 0,004919082 | FALSE |
| 10:19:40 | 4,769626513 | 0,000907358 | FALSE | 10:23:50 | 4,862402819 | 0,004420016 | FALSE |
| 10:19:45 | 4,768929865 | 0,000696648 | FALSE | 10:23:55 | 4,86354053 | 0,001137711 | FALSE |
| 10:19:50 | 4,769187137 | 0,000257272 | FALSE | 10:24:00 | 4,864069782 | 0,000529252 | FALSE |
| 10:19:55 | 4,768828608 | 0,000358529 | FALSE | 10:24:05 | 4,864734616 | 0,000664834 | FALSE |
| 10:20:00 | 4,771038637 | 0,002210028 | FALSE | 10:24:10 | 4,864234004 | 0,000500612 | FALSE |
| 10:20:05 | 4,771201987 | 0,00016335 | FALSE | 10:24:15 | 4,863940835 | 0,000293169 | FALSE |
| 10:20:10 | 4,772878699 | 0,001676712 | FALSE | 10:24:20 | 4,871367216 | 0,007426381 | FALSE |
| 10:20:15 | 4,771308176 | 0,001570523 | FALSE | 10:24:25 | 4,876649737 | 0,005282521 | FALSE |
| 10:20:20 | 4,766992684 | 0,004315492 | FALSE | 10:24:30 | 4,876845781 | 0,000196043 | FALSE |
| 10:20:25 | 4,762400325 | 0,004592359 | FALSE | 10:24:35 | 4,880967755 | 0,004121974 | FALSE |
| 10:20:30 | 4,763653174 | 0,001252849 | FALSE | 10:24:40 | 4,879344165 | 0,00162359 | FALSE |
| 10:20:35 | 4,76344901 | 0,000204165 | FALSE | 10:24:45 | 4,885079142 | 0,005734976 | FALSE |
| 10:20:40 | 4,768257815 | 0,004808806 | FALSE | 10:24:50 | 4,884425804 | 0,000653338 | FALSE |
| 10:20:45 | 4,769846328 | 0,001588512 | FALSE | 10:24:55 | 4,888987988 | 0,004562184 | FALSE |
| 10:20:50 | 4,773332067 | 0,003485739 | FALSE | 10:25:00 | 4,89057979 | 0,001591802 | FALSE |
| 10:20:55 | 4,779240981 | 0,005908914 | FALSE | 10:25:05 | 4,88916038 | 0,00141941 | FALSE |
| 10:21:00 | 4,78379089 | 0,004549909 | FALSE | 10:25:10 | 4,891590945 | 0,002430566 | FALSE |
| 10:21:05 | 4,779882941 | 0,003907949 | FALSE | 10:25:15 | 4,895810928 | 0,004219983 | FALSE |
| 10:21:10 | 4,781194929 | 0,001311988 | FALSE | 10:25:20 | 4,897619978 | 0,001809049 | FALSE |
| 10:21:15 | 4,79269097 | 0,011496041 | FALSE | 10:25:25 | 4,902398594 | 0,004778616 | FALSE |
| 10:21:20 | 4,791844055 | 0,000846915 | FALSE | 10:25:30 | 4,903883409 | 0,001484815 | FALSE |
| 10:21:25 | 4,792584009 | 0,000739954 | FALSE | 10:25:35 | 4,908091143 | 0,004207734 | FALSE |
| 10:21:30 | 4,803374413 | 0,010790404 | FALSE | 10:25:40 | 4,916013274 | 0,007922132 | FALSE |
| 10:21:35 | 4,806809515 | 0,003435101 | FALSE | 10:25:45 | 4,921179015 | 0,005165741 | FALSE |
| 10:21:40 | 4,812961817 | 0,006152302 | FALSE | 10:25:50 | 4,926297382 | 0,005118366 | FALSE |
| 10:21:45 | 4,817051105 | 0,004089288 | FALSE | 10:27:10 | | | FALSE |
| 10:21:50 | 4,819610696 | 0,002559591 | FALSE | 10:27:15 | 9,100543361 | | FALSE |
| 10:21:55 | 4,823869862 | 0,004259165 | FALSE | 10:27:20 | 9,106652409 | 0,006109048 | FALSE |
| 10:22:00 | 4,831672739 | 0,007802878 | FALSE | 10:27:25 | 9,105763055 | 0,000889353 | FALSE |
| 10:22:05 | 4,830582447 | 0,001090292 | FALSE | 10:27:30 | 9,101421468 | 0,004341587 | FALSE |
| 10:22:10 | 4,83338052 | 0,002798073 | FALSE | 10:28:15 | 5,035920914 | 4,065500554 | TRUE |
| 10:22:15 | 4,839097515 | 0,005716994 | FALSE | 10:28:20 | 5,03418709 | 0,001733825 | FALSE |
| 10:22:20 | 4,834101714 | 0,004995801 | FALSE | 10:28:25 | 5,031652067 | 0,002535023 | FALSE |
| 10:22:25 | 4,839641485 | 0,005539771 | FALSE | 10:28:30 | 5,029428221 | 0,002223846 | FALSE |
| 10:22:30 | 4,831558518 | 0,008082967 | FALSE | 10:28:35 | 5,033146758 | 0,003718536 | FALSE |
| 10:22:35 | 4,841999374 | 0,010440856 | FALSE | | | | |

Πίνακας 4.9: Δεδομένα μεθόδου Ionospheric Residual για τον E09 στην στάση 2

4.2.1.3 Μέθοδος Διαφορών

Παρακάτω θα αναλυθούν τα δεδομένα που προκύπτουν από τη μέθοδο των διαφορών. Συγκεκριμένα, θα χρησιμοποιηθεί η στάση "ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΑ" ως βάση, καθώς έχει καταγράψει μετρήσεις στις ίδιες χρονικές στιγμές και με τους δύο δορυφόρους. Στη συνέχεια, θα γίνει σύγκριση των δεδομένων ενός ζεύγους δορυφόρων, από τη μία στάση με τα δεδομένα της άλλης στάσης. Η διαδικασία αυτή θα επαναληφθεί και για τις δύο στάσεις διαδοχικά, για τα συστήματα GPS και Galileo, προκειμένου να εξεταστούν οι διαφορές στα σήματα.

Η ανάλυση θα ξεκινήσει με τους δορυφόρους του συστήματος GPS G09 και G30, για τη στάση "ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΑ" και τη Στάση 1, χρησιμοποιώντας το σήμα L1C. Στον Πίνακα 4.10 παρουσιάζονται οι 30 πρώτες εποχές που έχει καταγράψει ο δέκτης για τους συγκεκριμένους δορυφόρους. Παρατηρώντας τις στήλες των διαφορών, διαπιστώνεται ότι δεν υπάρχει μεγάλη διακύμανση μεταξύ τους. Πιο συγκεκριμένα, στη στήλη των τριπλών διαφορών, οι τιμές είναι πολύ κοντά στο μηδέν, γεγονός που υποδηλώνει ότι τα δεδομένα δεν παρουσιάζουν μεγάλες μεταβολές μεταξύ των χρονικών στιγμών και επομένως έχουν μικρό θόρυβο.

Το ίδιο παρατηρείται και στην σύγκριση στο σήμα L2W που απεικονίζεται στον Πίνακα 4.11 καθώς και εδώ τα δεδομένα δεν παρουσιάζουν μεγάλες μεταβολές μεταξύ τους και οι τριπλές διαφορές βρίσκονται πολύ κοντά στο μηδέν.

| rowTimes | G09 L1C Clear Sky | Δ | G09 L1C Stasi 1 | G30 L1C Clear Sky | Δ | G30 L1C Stasi 1 | Απλές Διαφορές | Διπλές Διαφορές | Τριπλές Διαφορές |
|----------|-------------------|------------|-----------------|-------------------|------------|-----------------|----------------|-----------------|------------------|
| 9:57:55 | 109418599,4 | -123866,35 | 109542465,7 | 115833012,9 | -140364,14 | 115973377 | | 16497,79 | |
| 9:58:00 | 109420210,2 | -121050,58 | 109541260,8 | 115818267,8 | -137545,70 | 115955813,5 | 16495,12 | | 2,67 |
| 9:58:05 | 109421827,9 | -118235,25 | 109540063,2 | 115803532,4 | -134727,76 | 115938260,2 | 16492,51 | | 2,61 |
| 9:58:10 | 109423453,1 | -115420,94 | 109538874 | 115788807,3 | -131910,78 | 115920718,1 | 16489,84 | | 2,67 |
| 9:58:15 | 109425086,1 | -112605,71 | 109537691,9 | 115774092,9 | -129092,87 | 115903185,7 | 16487,16 | | 2,68 |
| 9:58:20 | 109426726,6 | -109790,50 | 109536517,1 | 115759388,7 | -126275,03 | 115885663,7 | 16484,53 | | 2,63 |
| 9:58:25 | 109428374 | -106975,17 | 109535349,2 | 115744694,3 | -123456,96 | 115868151,3 | 16481,79 | | 2,74 |
| 9:58:30 | 109430028,3 | -104160,89 | 109534189,2 | 115730009,6 | -120639,97 | 115850649,6 | 16479,08 | | 2,70 |
| 9:58:35 | 109431689 | -101347,59 | 109533036,6 | 115715334,3 | -117823,99 | 115833158,3 | 16476,39 | | 2,69 |
| 9:58:40 | 109433357,7 | -98534,27 | 109531892 | 115700669,8 | -115007,94 | 115815677,7 | 16473,68 | | 2,72 |
| 9:58:45 | 109435033,4 | -95720,58 | 109530754 | 115686015,1 | -112191,53 | 115798206,6 | 16470,95 | | 2,73 |
| 9:58:50 | 109436716,3 | -92907,07 | 109529623,4 | 115671370,5 | -109375,32 | 115780745,8 | 16468,24 | | 2,71 |
| 9:58:55 | 109438408,3 | -90092,63 | 109528500,9 | 115656737,9 | -106558,16 | 115763296 | 16465,53 | | 2,71 |
| 9:59:00 | 109440106,7 | -87278,43 | 109527385,2 | 115642114,6 | -103741,25 | 115745855,9 | 16462,82 | | 2,71 |
| 9:59:05 | 109441811,9 | -84464,89 | 109526276,8 | 115627500,9 | -100924,96 | 115728425,9 | 16460,07 | | 2,75 |
| 9:59:10 | 109443524,4 | -81651,27 | 109525175,6 | 115612897,5 | -98108,63 | 115711006,1 | 16457,36 | | 2,71 |
| 9:59:15 | 109445244,2 | -78837,47 | 109524081,7 | 115598304,3 | -95292,09 | 115693596,4 | 16454,62 | | 2,73 |
| 9:59:20 | 109446971,2 | -76023,77 | 109522995 | 115583721,2 | -92475,59 | 115676196,8 | 16451,82 | | 2,80 |
| 9:59:25 | 109448704,9 | -73210,31 | 109521915,2 | 115569147,8 | -89659,36 | 115658807,1 | 16449,04 | | 2,78 |
| 9:59:30 | 109450445,9 | -70397,25 | 109520843,1 | 115554584,4 | -86843,56 | 115641428 | 16446,31 | | 2,73 |
| 9:59:35 | 109452194,4 | -67584,00 | 109519778,4 | 115540031,6 | -84027,54 | 115624059,2 | 16443,53 | | 2,78 |
| 9:59:40 | 109453950,4 | -64769,92 | 109518720,3 | 115525489,2 | -81210,63 | 115606699,8 | 16440,71 | | 2,83 |
| 9:59:45 | 109455713,7 | -61955,06 | 109517668,8 | 115510957 | -78393,02 | 115589350 | 16437,96 | | 2,75 |
| 9:59:50 | 109457483,5 | -59141,36 | 109516624,8 | 115496434,3 | -75576,50 | 115572010,8 | 16435,14 | | 2,82 |
| 9:59:55 | 109459261,2 | -56327,28 | 109515588,5 | 115481922,4 | -72759,57 | 115554682 | 16432,30 | | 2,84 |
| 10:00:00 | 109461046,1 | -53513,29 | 109514559,4 | 115467420,7 | -69942,82 | 115537363,5 | 16429,53 | | 2,77 |
| 10:00:05 | 109462837,9 | -50699,61 | 109513537,5 | 115452928,9 | -67126,29 | 115520055,2 | 16426,68 | | 2,85 |
| 10:00:10 | 109464637,2 | -47884,88 | 109512522,1 | 115438447,5 | -64308,74 | 115502756,3 | 16423,86 | | 2,82 |
| 10:00:15 | 109466443,1 | -45069,58 | 109511512,7 | 115423975,7 | -61490,63 | 115485466,4 | 16421,05 | | 2,80 |

Πίνακας 4.10: Διαφορές του σήματος L1C ανάμεσα σε G09 - G30 για τη στάση ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΑ και τη Στάση 1

Ανάπτυξη λογισμικού για την αξιολόγηση της ποιότητας γεωδαιτικών μετρήσεων GNSS

| rowTimes | G09 L2L Clear Sky | Δ | G09 L2L Stasi 1 | G30 L2L Clear Sky | Δ | G30 L2L Stasi 1 | Απλές Διαφορές | Διπλές Διαφορές | Τριπλές Διαφορές |
|----------|-------------------|-----------|-----------------|-------------------|------------|-----------------|----------------|-----------------|------------------|
| 9:57:55 | 85261244,7 | -96528,99 | 85357773,68 | 90259493,25 | -109377,16 | 90368870,42 | 12848,17 | | |
| 9:58:00 | 85262499,89 | -94334,89 | 85356834,78 | 90248003,58 | -107180,98 | 90355184,56 | 12846,09 | 2,08 | |
| 9:58:05 | 85263760,48 | -92141,15 | 85355901,63 | 90236521,47 | -104985,20 | 90341506,67 | 12844,05 | 2,04 | 0,05 |
| 9:58:10 | 85265026,83 | -89948,18 | 85354975,01 | 90225047,33 | -102790,16 | 90327837,49 | 12841,98 | 2,08 | -0,04 |
| 9:58:15 | 85266299,35 | -87754,47 | 85354053,82 | 90213581,56 | -100594,40 | 90314175,96 | 12839,93 | 2,05 | 0,03 |
| 9:58:20 | 85267577,64 | -85560,82 | 85353138,47 | 90202123,76 | -98398,68 | 90300522,44 | 12837,85 | 2,07 | -0,02 |
| 9:58:25 | 85268861,32 | -83367,03 | 85352228,35 | 90190673,59 | -96202,81 | 90286876,4 | 12835,78 | 2,08 | 0,00 |
| 9:58:30 | 85270150,37 | -81174,11 | 85351324,47 | 90179231,01 | -94007,76 | 90273238,77 | 12833,65 | 2,12 | -0,05 |
| 9:58:35 | 85271444,44 | -78981,90 | 85350426,34 | 90167795,67 | -91813,49 | 90259609,16 | 12831,59 | 2,07 | 0,06 |
| 9:58:40 | 85272744,71 | -76789,69 | 85349534,4 | 90156368,76 | -89619,18 | 90245987,94 | 12829,49 | 2,10 | -0,03 |
| 9:58:45 | 85274050,47 | -74597,17 | 85348647,64 | 90144949,56 | -87424,58 | 90232374,14 | 12827,40 | 2,09 | 0,01 |
| 9:58:50 | 85275361,78 | -72404,83 | 85347766,6 | 90133538,16 | -85230,13 | 90218768,29 | 12825,31 | 2,10 | -0,01 |
| 9:58:55 | 85276680,23 | -70211,75 | 85346891,98 | 90122136,14 | -83034,95 | 90205171,1 | 12823,20 | 2,11 | -0,01 |
| 9:59:00 | 85278003,69 | -68018,88 | 85346022,57 | 90110741,38 | -80839,96 | 90191581,34 | 12821,08 | 2,12 | -0,01 |
| 9:59:05 | 85279332,37 | -65826,52 | 85345158,89 | 90099354,11 | -78645,47 | 90177999,57 | 12818,95 | 2,14 | -0,02 |
| 9:59:10 | 85280666,77 | -63634,08 | 85344300,85 | 90087974,81 | -76450,92 | 90164425,73 | 12816,84 | 2,10 | 0,03 |
| 9:59:15 | 85282006,93 | -61441,51 | 85343448,44 | 90076603,52 | -74256,21 | 90150859,73 | 12814,70 | 2,14 | -0,03 |
| 9:59:20 | 85283352,63 | -59249,01 | 85342601,63 | 90065240,05 | -72061,54 | 90137301,59 | 12812,54 | 2,17 | -0,03 |
| 9:59:25 | 85284703,58 | -57056,70 | 85341760,27 | 90053884,11 | -69867,08 | 90123751,19 | 12810,38 | 2,16 | 0,01 |
| 9:59:30 | 85286060,15 | -54864,70 | 85340924,85 | 90042536,04 | -67672,96 | 90110209 | 12808,27 | 2,11 | 0,04 |
| 9:59:35 | 85287422,66 | -52672,57 | 85340095,23 | 90031196,22 | -65478,65 | 90096674,87 | 12806,08 | 2,18 | -0,07 |
| 9:59:40 | 85288790,94 | -50479,74 | 85339270,68 | 90019864,46 | -63283,66 | 90083148,11 | 12803,92 | 2,16 | 0,02 |
| 9:59:45 | 85290164,95 | -48286,34 | 85338451,29 | 90008540,69 | -61088,11 | 90069628,8 | 12801,77 | 2,15 | 0,02 |
| 9:59:50 | 85291543,97 | -46093,85 | 85337637,82 | 89997224,26 | -58893,42 | 90056117,68 | 12799,57 | 2,20 | -0,05 |
| 9:59:55 | 85292929,22 | -43901,05 | 85336830,27 | 89985916,36 | -56698,42 | 90042614,78 | 12797,37 | 2,20 | -0,01 |
| 10:00:00 | 85294320,03 | -41708,31 | 85336028,35 | 89974616,31 | -54503,55 | 90029119,85 | 12795,23 | 2,14 | 0,07 |
| 10:00:05 | 85295716,26 | -39515,82 | 85335232,08 | 89963323,98 | -52308,85 | 90015632,82 | 12793,03 | 2,20 | -0,06 |
| 10:00:10 | 85297118,33 | -37322,49 | 85334440,82 | 89952039,81 | -50113,36 | 90002153,18 | 12790,87 | 2,16 | 0,04 |
| 10:00:15 | 85298525,5 | -35128,77 | 85333654,27 | 89940763,08 | -47917,43 | 89988680,51 | 12788,67 | 2,20 | -0,04 |

Πίνακας 4.11: Διαφορές του σήματος L2 ανάμεσα σε G09 - G30 για τη στάση ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΑ και τη Στάση 1

Στη συνέχεια, αναλύονται τα δεδομένα που έχουν καταγραφεί στις δύο προηγούμενες στάσεις από το σύστημα Galileo. Για την ανάλυση θα χρησιμοποιηθούν τα σήματα L1X και L8X των δορυφόρων E09 και E11. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.12, όπου απεικονίζονται οι πρώτες 40 εποχές κατά τη σύγκριση των δορυφόρων για το σήμα L1X, παρατηρείται μεγάλη διαφορά στις τιμές, όπως φαίνεται από τις απλές και τις διπλές διαφορές, στην ίδια εποχή που παρατηρήθηκε και στη μέθοδο του Ionospheric Residual, 10:00:40 όπου ο δέκτης έχασε το σήμα του δορυφόρου για ένα λεπτό και δεκαπέντε δευτερόλεπτα (09:59:25 – 10:00:40). Σημειώνεται ότι, η μεγάλη μετατόπιση στις τιμές δεν πρέπει να ερμηνευθεί ως ολίσθηση κύκλων καθώς οφείλεται στην προηγούμενη διακοπή λήψης του σήματος. Για τον λόγο αυτό, απεικονίζεται με γαλάζιο χρώμα.

Ανάπτυξη λογισμικού για την αξιολόγηση της ποιότητας γεωδαιτικών μετρήσεων GNSS

| rowTimes | G09 L1X Clear Sky | Δ | G09 L1X Stasi 1 | G30 L1C Clear Sky | Δ | G30 L1X Stasi 1 | Απλές Διαφορές | Διπλές Διαφορές |
|----------|-------------------|------------|-----------------|-------------------|------------|-----------------|----------------|-----------------|
| 9:58:10 | 130302136,1 | -114082,03 | 130416218,1 | 142429993,9 | -114119,66 | 142544113,6 | 37,63 | |
| 9:58:15 | 130309226,9 | -111274,36 | 130420501,2 | 142437232,2 | -111312,01 | 142548544,2 | 37,65 | -0,02 |
| 9:58:20 | 130316320,8 | -108466,06 | 130424786,9 | 142444480,7 | -108503,73 | 142552984,4 | 37,67 | -0,02 |
| 9:58:25 | 130323417,4 | -105658,66 | 130429076 | 142451738,8 | -105696,52 | 142557435,3 | 37,86 | -0,19 |
| 9:58:30 | 130330516,5 | -102851,98 | 130433368,5 | 142459006,5 | -102889,79 | 142561896,3 | 37,82 | 0,04 |
| 9:58:35 | 130337617,9 | -100046,72 | 130437664,6 | 142466283,3 | -100084,58 | 142566367,9 | 37,86 | -0,05 |
| 9:58:40 | 130344722,9 | -97240,13 | 130441963 | 142473570,8 | -97278,03 | 142570848,9 | 37,90 | -0,04 |
| 9:58:45 | 130351830,6 | -94433,85 | 130446264,4 | 142480868,1 | -94471,81 | 142575339,9 | 37,96 | -0,06 |
| 9:58:50 | 130358941,1 | -91628,67 | 130450569,8 | 142488175,2 | -91666,69 | 142579841,9 | 38,01 | -0,05 |
| 9:58:55 | 130366056,6 | -88821,01 | 130454877,6 | 142495494,1 | -88859,12 | 142584353,2 | 38,11 | -0,10 |
| 9:59:00 | 130373174,2 | -86014,24 | 130459188,4 | 142502822,1 | -86052,42 | 142588874,5 | 38,18 | -0,07 |
| 9:59:05 | 130380294,2 | -83208,05 | 130463502,2 | 142510159,5 | -83246,37 | 142593405,9 | 38,32 | -0,14 |
| 9:59:10 | 130387417,3 | -80401,68 | 130467819 | 142517506,9 | -80440,08 | 142597947 | 38,40 | -0,08 |
| 9:59:15 | 130394543,4 | -77595,21 | 130472138,6 | 142524864,3 | | | | |
| 9:59:20 | 130401672,4 | -74788,55 | 130476461 | 142532231,5 | | | | |
| 9:59:25 | 130408803,9 | -71982,81 | 130480786,7 | 142539608,1 | -72021,28 | 142611629,4 | 38,47 | |
| 10:00:40 | 130516138,5 | -29868,79 | 130546007,3 | 142651444,6 | -29852,98 | 142681297,5 | -15,81 | 54,28 |
| 10:00:45 | 130523319,2 | -27057,86 | 130550377,1 | 142658980,1 | -27042,13 | 142686022,2 | -15,73 | -0,08 |
| 10:00:50 | 130530503,4 | -24246,41 | 130554749,8 | 142666525,7 | -24230,75 | 142690756,5 | -15,66 | -0,07 |
| 10:00:55 | 130537689,7 | -21434,98 | 130559124,7 | 142674080,4 | -21419,30 | 142695499,7 | -15,69 | 0,02 |
| 10:01:00 | 130544879,5 | -18623,00 | 130563502,5 | 142681645,3 | -18607,46 | 142700252,8 | -15,54 | -0,14 |
| 10:01:05 | 130552072,7 | -15810,81 | 130567883,6 | 142689220,4 | -15795,29 | 142705015,7 | -15,52 | -0,02 |
| 10:01:10 | 130559268,2 | -12999,10 | 130572267,3 | 142696804,4 | -12983,64 | 142709788,1 | -15,46 | -0,06 |
| 10:01:15 | 130566466,7 | -10187,76 | 130576654,5 | 142704398,4 | -10172,34 | 142714570,7 | -15,42 | -0,04 |
| 10:01:20 | 130573667,4 | -7376,45 | 130581043,9 | 142712001,2 | -7361,09 | 142719362,2 | -15,36 | -0,06 |
| 10:01:25 | 130580871,2 | -4565,90 | 130585437,1 | 142719613,8 | -4550,55 | 142724164,4 | -15,35 | -0,01 |
| 10:01:30 | 130588078,2 | -1754,64 | 130589832,8 | 142727236,3 | -1739,30 | 142728975,6 | -15,34 | -0,01 |
| 10:01:35 | 130595288 | 1056,02 | 130594232 | 142734868,4 | 1071,26 | 142733797,2 | -15,24 | -0,10 |
| 10:01:40 | 130602500,7 | 3867,85 | 130598632,9 | 142742510,1 | 3883,05 | 142738627,1 | -15,20 | -0,04 |
| 10:01:45 | 130609716 | 6679,42 | 130603036,6 | 142750161,1 | 6694,59 | 142743466,5 | -15,17 | -0,04 |
| 10:01:50 | 130616934,4 | 9490,99 | 130607443,4 | 142757821,8 | 9506,12 | 142748315,7 | -15,12 | -0,04 |
| 10:01:55 | 130624155,7 | 12302,62 | 130611853,1 | 142765492,2 | 12317,68 | 142753174,5 | -15,07 | -0,06 |
| 10:02:00 | 130631380,7 | 15115,16 | 130616265,6 | 142773172,9 | 15130,16 | 142758042,7 | -15,00 | -0,07 |
| 10:02:05 | 130638608,3 | 17927,58 | 130620680,7 | 142780862,8 | 17942,49 | 142762920,3 | -14,91 | -0,09 |
| 10:02:10 | 130645839,5 | 20741,38 | 130625098,1 | 142788563,1 | 20756,22 | 142767806,8 | -14,84 | -0,07 |
| 10:02:15 | 130653073,2 | 23555,58 | 130629517,6 | 142796272,4 | 23570,36 | 142772702 | -14,78 | -0,05 |
| 10:02:20 | 130660309,2 | 26368,19 | 130633941 | 142803990,7 | 26382,92 | 142777607,8 | -14,73 | -0,06 |
| 10:02:25 | 130667548,4 | 29181,21 | 130638367,2 | 142811718,8 | 29195,87 | 142782522,9 | -14,65 | -0,07 |
| 10:02:30 | 130674790,5 | 31994,49 | 130642796 | 142819456,5 | 32009,17 | 142787447,3 | -14,68 | 0,03 |
| 10:02:35 | 130682035,5 | 34808,40 | 130647227,1 | 142827203,7 | 34823,01 | 142792380,7 | -14,61 | -0,07 |

Πίνακας 4.12: Διαφορές του σήματος L1 ανάμεσα σε E09 - E31 για τη στάση ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΑ και τη Στάση 1

Το ίδιο παρατηρείται και στο σήμα L8X, όπου καταγράφεται μεγάλη διαφορά στις τιμές στην ίδια εποχή, 10:00:40, όταν χάθηκε το σήμα του δορυφόρου για ένα λεπτό και δεκαπέντε δευτερόλεπτα (09:59:25 – 10:00:40). Σε αντίθεση με το σύνθηες, όπου σε περίπτωση ολίσθησης κύκλων εμφανίζεται μεγάλη διαφορά σε ένα από τα δύο σήματα του δορυφόρου, σε αυτήν την περίπτωση παρατηρείται και στα δύο σήματα. Όπως φαίνεται και στον Πίνακα 4.13, όπου απεικονίζονται οι πρώτες 40 εποχές, η τιμή των διπλών διαφορών στο σήμα L8X είναι μικρότερη από αυτήν που παρατηρήθηκε στο σήμα L1X.

Στην ενότητα που ακολουθεί, θα αναλυθεί περαιτέρω τι συμβαίνει όταν παρατηρείται ολίσθηση κύκλων και στα δύο σήματα, μέσα από τη σύγκριση των δύο μεθόδων.

Ανάπτυξη λογισμικού για την αξιολόγηση της ποιότητας γεωδαιτικών μετρήσεων GNSS

| rowTimes | G09 L8X Clear Sky | Δ | G09 L8X Stasi 1 | G30 L8X Clear Sky | Δ | G30 L8X Stasi 1 | Απλές Διαφορές | Διπλές Διαφορές |
|----------|-------------------|-----------|-----------------|-------------------|-----------|-----------------|----------------|-----------------|
| 9:58:10 | 98572723 | -86302,84 | 98659025,84 | 107747374,8 | -86327,13 | 107833701,9 | 24,30 | |
| 9:58:15 | 98578087,15 | -84178,87 | 98662266,03 | 107752850,5 | -84203,18 | 107837053,7 | 24,30 | -0,01 |
| 9:58:20 | 98583453,66 | -82054,38 | 98665508,04 | 107758333,9 | -82078,72 | 107840412,7 | 24,34 | -0,03 |
| 9:58:25 | 98588822,17 | -79930,64 | 98668752,81 | 107763824,6 | -79955,08 | 107843779,7 | 24,44 | -0,10 |
| 9:58:30 | 98594192,62 | -77807,38 | 98672000 | 107769322,6 | -77831,82 | 107847154,4 | 24,45 | -0,01 |
| 9:58:35 | 98599564,73 | -75685,21 | 98675249,94 | 107774827,5 | -75709,68 | 107850537,2 | 24,47 | -0,02 |
| 9:58:40 | 98604939,61 | -73562,03 | 98678501,64 | 107780340,5 | -73586,55 | 107853927 | 24,51 | -0,04 |
| 9:58:45 | 98610316,55 | -71439,08 | 98681755,64 | 107785860,8 | -71463,64 | 107857324,4 | 24,55 | -0,04 |
| 9:58:50 | 98615695,64 | -69316,99 | 98685012,63 | 107791388,6 | -69341,58 | 107860730,2 | 24,59 | -0,04 |
| 9:58:55 | 98621078,42 | -67193,00 | 98688271,43 | 107796925,3 | -67217,67 | 107864142,9 | 24,67 | -0,08 |
| 9:59:00 | 98626462,83 | -65069,71 | 98691532,55 | 107802468,9 | -65094,40 | 107867563,3 | 24,68 | -0,01 |
| 9:59:05 | 98631849,08 | -62946,87 | 98694795,95 | 107808019,6 | -62971,64 | 107870991,2 | 24,77 | -0,08 |
| 9:59:10 | 98637237,64 | -60823,86 | 98698061,49 | 107813577,8 | -60848,68 | 107874426,5 | 24,82 | -0,05 |
| 9:59:15 | 98642628,52 | -58700,79 | 98701329,31 | 107819143,7 | | | | |
| 9:59:20 | 98648021,56 | -56577,57 | 98704599,13 | 107824716,9 | | | | |
| 9:59:25 | 98653416,47 | -54455,06 | 98707871,53 | 107830297,2 | -54479,92 | 107884777,2 | 24,86 | |
| 10:00:40 | 98734614,33 | -22596,09 | 98757210,42 | 107914900,8 | -22626,60 | 107937527,4 | 30,51 | -5,64 |
| 10:00:45 | 98740046,5 | -20469,66 | 98760516,17 | 107920601,4 | -20500,19 | 107941101,6 | 30,53 | -0,02 |
| 10:00:50 | 98745481,23 | -18342,82 | 98763824,05 | 107926309,6 | -18373,38 | 107944683 | 30,56 | -0,03 |
| 10:00:55 | 98750917,65 | -16215,99 | 98767133,64 | 107932024,7 | -16246,55 | 107948271,2 | 30,56 | 0,00 |
| 10:01:00 | 98756356,7 | -14088,74 | 98770445,45 | 107937747,5 | -14119,41 | 107951866,9 | 30,66 | -0,10 |
| 10:01:05 | 98761798,32 | -11961,34 | 98773759,66 | 107943478 | -11992,01 | 107955470 | 30,68 | -0,01 |
| 10:01:10 | 98767241,6 | -9834,30 | 98777075,9 | 107949215,3 | -9865,03 | 107959080,3 | 30,72 | -0,05 |
| 10:01:15 | 98772687,25 | -7707,54 | 98780394,79 | 107954960 | -7738,30 | 107962698,3 | 30,76 | -0,04 |
| 10:01:20 | 98778134,53 | -5580,79 | 98783715,33 | 107960711,5 | -5611,61 | 107966323,1 | 30,81 | -0,05 |
| 10:01:25 | 98783584,18 | -3454,62 | 98787038,81 | 107966470,4 | -3485,45 | 107969955,8 | 30,82 | -0,01 |
| 10:01:30 | 98789036,15 | -1327,94 | 98790364,09 | 107972236,8 | -1358,76 | 107973595,5 | 30,82 | 0,00 |
| 10:01:35 | 98794490,35 | 798,33 | 98793692,02 | 107978010,4 | 767,41 | 107977243 | 30,92 | -0,10 |
| 10:01:40 | 98799946,74 | 2925,46 | 98797021,28 | 107983791,3 | 2894,52 | 107980896,8 | 30,94 | -0,02 |
| 10:01:45 | 98805405,05 | 5052,38 | 98800352,67 | 107989579,2 | 5021,41 | 107984557,8 | 30,97 | -0,03 |
| 10:01:50 | 98810865,68 | 7179,33 | 98803686,36 | 107995374,5 | 7148,30 | 107988226,2 | 31,03 | -0,06 |
| 10:01:55 | 98816328,58 | 9306,27 | 98807022,32 | 108001177,1 | 9275,22 | 107991901,8 | 31,04 | -0,01 |
| 10:02:00 | 98821794,26 | 11433,95 | 98810360,31 | 108006987,5 | 11402,83 | 107995584,6 | 31,12 | -0,08 |
| 10:02:05 | 98827261,83 | 13561,52 | 98813700,32 | 108012804,8 | 13530,35 | 107999274,5 | 31,16 | -0,05 |
| 10:02:10 | 98832732,22 | 15690,13 | 98817042,1 | 108018630 | 15658,93 | 108002971,1 | 31,20 | -0,04 |
| 10:02:15 | 98838204,42 | 17819,04 | 98820385,38 | 108024462,1 | 17787,80 | 108006674,3 | 31,24 | -0,04 |
| 10:02:20 | 98843678,45 | 19946,75 | 98823731,69 | 108030301 | 19915,50 | 108010385,5 | 31,26 | -0,02 |
| 10:02:25 | 98849154,81 | 22074,80 | 98827080,02 | 108036147,2 | 22043,46 | 108014103,8 | 31,33 | -0,07 |
| 10:02:30 | 98854633,4 | 24203,02 | 98830430,38 | 108042000,7 | 24171,71 | 108017829 | 31,31 | 0,02 |
| 10:02:35 | 98860114,24 | 26331,72 | 98833782,52 | 108047861,5 | 26300,35 | 108021561,1 | 31,37 | -0,05 |

Πίνακας 4.13: Διαφορές του σήματος L8 ανάμεσα σε E09 - E31 για τη στάση ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΑ και τη Στάση 1

Η ανάλυση συνεχίζεται με τις στάσεις "ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΑ" και Στάση 2, και τους δορυφόρους G09 και G30 του συστήματος GPS. Ο δέκτης κατέγραψε δεδομένα για τους δύο δορυφόρους και στα δύο σήματα, από την χρονική στιγμή 10:18:30 έως την 10:26:20. Στον Πίνακα 4.14, που βρίσκεται παρακάτω, απεικονίζονται οι πρώτες 40 εποχές του σήματος LIC που έχει καταγράψει ο δέκτης. Υπάρχουν διακοπές στο σήμα και παρατηρούνται κενά στα δεδομένα, καθώς ο δέκτης δεν κατάφερε να καταγράψει μετρήσεις για όλες τις συχνότητες σε όλες τις εποχές. Ενδεχομένως, αν υπήρχαν τα πλήρη δεδομένα, να είχε καταγραφεί ολόκληρη κύκλων.

Ανάπτυξη λογισμικού για την αξιολόγηση της ποιότητας γεωδαιτικών μετρήσεων GNSS

| rowTimes | G09 L1C Clear Sky | Δ | G09 L1C Stasi 2 | G30 L1C Clear Sky | Δ | G30 L1C Stasi 2 | Απλές Διαφορές | Διπλές Διαφορές |
|----------|-------------------|------------|-----------------|-------------------|------------|-----------------|----------------|-----------------|
| 10:18:30 | 110033212,2 | 577289,31 | 109455922,8 | 112507089,2 | 577065,80 | 111930023,4 | 223,51 | |
| 10:18:35 | 110036578,6 | 580170,84 | 109456407,8 | 112494957,5 | 579947,31 | 111915010,2 | 223,53 | -0,03 |
| 10:18:40 | 110039952,7 | 583053,42 | 109456899,2 | 112482837,5 | 582829,80 | 111900007,7 | 223,62 | -0,09 |
| 10:18:45 | 110043333,8 | 585935,54 | 109457398,2 | 112470728,5 | 585711,85 | 111885016,7 | 223,69 | -0,07 |
| 10:18:50 | 110046722,6 | 588819,13 | 109457903,5 | 112458631,3 | 588595,42 | 111870035,9 | 223,71 | -0,02 |
| 10:18:55 | 110050118,1 | 591702,36 | 109458415,8 | 112446544,8 | 591478,58 | 111855066,2 | 223,78 | -0,07 |
| 10:19:00 | 110053519,9 | 594585,36 | 109458934,5 | 112434468,6 | 594361,49 | 111840107,2 | 223,86 | -0,08 |
| 10:19:05 | 110056928,6 | 597470,02 | 109459458,6 | 112422403,4 | 597246,06 | 111825157,4 | 223,96 | -0,10 |
| 10:19:10 | 110060344 | 600353,85 | 109459990,1 | 112410348,9 | 600129,80 | 111810219,1 | 224,05 | -0,10 |
| 10:19:15 | 110063766,2 | 603238,07 | 109460528,2 | 112398305,4 | 603014,00 | 111795291,3 | 224,07 | -0,01 |
| 10:19:20 | 110067196,2 | 606124,17 | 109461072 | 112386273,5 | 605900,04 | 111780373,4 | 224,14 | -0,07 |
| 10:19:25 | 110070632,6 | 609009,31 | 109461623,3 | 112374252,2 | 608785,10 | 111765467,1 | 224,21 | -0,08 |
| 10:19:30 | 110074075,9 | 611894,62 | 109462181,3 | 112362241,9 | 611670,30 | 111750571,6 | 224,32 | -0,11 |
| 10:19:35 | 110077526,3 | 614780,25 | 109462746 | 112350242,6 | 614555,86 | 111735686,7 | 224,39 | -0,07 |
| 10:19:40 | 110080984,4 | 617666,47 | 109463317,9 | 112338255,1 | 617442,00 | 111720813,1 | 224,47 | -0,09 |
| 10:19:45 | 110084449,8 | 620554,28 | 109463895,5 | 112326279,1 | 620329,78 | 111705949,3 | 224,50 | -0,03 |
| 10:19:50 | 110087922,3 | 623441,88 | 109464480,5 | 112314314,2 | 623217,28 | 111691096,9 | 224,60 | -0,10 |
| 10:19:55 | 110091401,7 | 626329,67 | 109465072 | 112302360,2 | 626105,11 | 111676255,1 | 224,56 | 0,04 |
| 10:20:00 | 110094888,4 | 629217,51 | 109465670,9 | 112290417,6 | 628992,92 | 111661424,7 | 224,59 | -0,04 |
| 10:20:05 | 110098382 | 632106,62 | 109466275,3 | 112278486,1 | 631881,98 | 111646604,1 | 224,64 | -0,05 |
| 10:20:10 | 110101882,5 | 634996,11 | 109466886,4 | 112266565,5 | 634771,46 | 111631794 | 224,66 | -0,02 |
| 10:20:15 | 110105389,8 | 637886,44 | 109467503,4 | 112254655,9 | 637661,78 | 111616994,1 | 224,66 | 0,00 |
| 10:20:20 | 110108904,8 | 640777,34 | 109468127,4 | 112242757,9 | 640552,60 | 111602205,3 | 224,74 | -0,08 |
| 10:20:25 | 110112427,4 | 643669,38 | 109468758 | 112230871,8 | 643444,59 | 111587427,2 | 224,79 | -0,06 |
| 10:20:30 | 110115956,4 | 646561,32 | 109469395,1 | 112218996 | 646336,53 | 111572659,5 | 224,79 | 0,00 |
| 10:20:35 | 110119491,9 | 649452,48 | 109470039,4 | 112207130,9 | | | | |
| 10:20:40 | 110123034,4 | 652344,74 | 109470689,7 | 112195276,9 | 652119,93 | 111543157 | 224,81 | |
| 10:21:35 | 110162466,3 | -891237,15 | 111053703,5 | 112065619,1 | | | | |
| 10:21:40 | 110166092,8 | -888341,36 | 111054434,1 | 112053898,6 | -888540,92 | 112942439,5 | 199,56 | |
| 10:21:45 | 110169726,6 | -885443,74 | 111055170,3 | 112042189,4 | -885643,40 | 112927832,8 | 199,66 | -0,09 |
| 10:21:50 | 110173367,1 | -882545,27 | 111055912,4 | 112030491,3 | -882744,95 | 112913236,2 | 199,68 | -0,03 |
| 10:21:55 | 110177014,2 | -879646,70 | 111056660,9 | 112018803,8 | | | | |
| 10:23:20 | 110240101,1 | -830294,68 | 111070395,8 | 111821841,7 | -830470,37 | 112652312,1 | 175,68 | |
| 10:23:25 | 110243875,7 | -827387,53 | 111071263,2 | 111810357 | -827563,26 | 112637920,3 | 175,72 | -0,04 |
| 10:23:30 | 110247656,7 | -824479,52 | 111072136,2 | 111798883 | -824655,29 | 112623538,3 | 175,77 | -0,05 |
| 10:23:35 | 110251444,2 | -821571,06 | 111073015,2 | 111787419,6 | -821746,97 | 112609166,6 | 175,91 | -0,13 |
| 10:23:40 | 110255238,8 | -818662,44 | 111073901,2 | 111775967,6 | -818838,31 | 112594805,9 | 175,88 | 0,03 |
| 10:23:45 | 110259040,8 | -815753,39 | 111074794,1 | 111764527,1 | -815929,37 | 112580456,5 | 175,98 | -0,10 |
| 10:23:50 | 110262850,1 | -812843,28 | 111075693,3 | 111753098,2 | -813019,29 | 112566117,5 | 176,01 | -0,03 |
| 10:23:55 | 110266665,4 | -809934,20 | 111076599,6 | 111741679,6 | -810110,32 | 112551789,9 | 176,12 | -0,11 |

Πίνακας 4.14: Διαφορές του σήματος L1 ανάμεσα σε G09 - G30 για τη στάση ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΑ και τη Στάση 2

Στον πίνακα 4.15 απεικονίζονται οι 40 πρώτες εποχές που έχει καταγράψει ο δέκτης για το σήμα L2L. Όπως και στην ανάλυση του σήματος L1C, έτσι και στην ανάλυση του σήματος L2L, δεν παρατηρείται ολίσθηση κύκλων. Υπάρχουν διακοπές στο σήμα για ορισμένα δευτερόλεπτα, αλλά ο δέκτης δεν έχει καταφέρει να καταγράψει δεδομένα σε όλες τις χρονικές στιγμές έτσι ώστε να μπορέσει να γίνει ο προσδιορισμός ολίσθησης κύκλων.

Ανάπτυξη λογισμικού για την αξιολόγηση της ποιότητας γεωδαιτικών μετρήσεων GNSS

| rowTimes | G09 L2L Clear Sky | Δ | G09 L2L Stasi 2 | G30 L2L Clear Sky | Δ | G30 L2L Stasi 2 | Απλές Διαφορές | Διπλές Διαφορές |
|----------|-------------------|------------|-----------------|-------------------|------------|-----------------|----------------|-----------------|
| 10:18:30 | 85740163,41 | 449825,91 | 85290337,5 | 87667865,36 | 449654,32 | 87218211,04 | 171,59 | |
| 10:18:35 | 85742786,62 | 452071,27 | 85290715,35 | 87658412,13 | 451899,66 | 87206512,48 | 171,61 | -0,02 |
| 10:18:40 | 85745415,75 | 454317,42 | 85291098,33 | 87648967,94 | 454145,75 | 87194822,19 | 171,67 | -0,06 |
| 10:18:45 | 85748050,38 | 456563,23 | 85291487,15 | 87639532,38 | 456391,52 | 87183140,86 | 171,72 | -0,04 |
| 10:18:50 | 85750691,04 | 458810,20 | 85291880,84 | 87630106 | 458638,45 | 87171467,55 | 171,75 | -0,03 |
| 10:18:55 | 85753336,89 | 461056,87 | 85292280,02 | 87620687,95 | 460885,08 | 87159802,87 | 171,80 | -0,05 |
| 10:19:00 | 85755987,63 | 463303,36 | 85292684,27 | 87611277,95 | 463131,51 | 87148146,44 | 171,85 | -0,05 |
| 10:19:05 | 85758643,77 | 465551,15 | 85293092,62 | 87601876,48 | 465379,23 | 87136497,25 | 171,92 | -0,07 |
| 10:19:10 | 85761305,07 | 467798,28 | 85293506,79 | 87592483,33 | 467626,34 | 87124856,99 | 171,94 | -0,03 |
| 10:19:15 | 85763971,77 | 470045,72 | 85293926,06 | 87583098,75 | 469873,76 | 87113225 | 171,96 | -0,02 |
| 10:19:20 | 85766644,44 | 472294,64 | 85294349,8 | 87573723,27 | 472122,61 | 87101600,66 | 172,03 | -0,07 |
| 10:19:25 | 85769322,18 | 474542,79 | 85294779,39 | 87564356,03 | 474370,70 | 87089985,33 | 172,09 | -0,06 |
| 10:19:30 | 85772005,3 | 476791,08 | 85295214,22 | 87554997,34 | 476618,94 | 87078378,41 | 172,15 | -0,05 |
| 10:19:35 | 85774693,86 | 479039,61 | 85295654,25 | 87545647,25 | 478867,42 | 87066779,84 | 172,19 | -0,05 |
| 10:19:40 | 85777388,48 | 481288,61 | 85296099,87 | 87536306,38 | 481116,34 | 87055190,04 | 172,27 | -0,08 |
| 10:19:45 | 85780088,82 | 483538,86 | 85296549,96 | 87526974,41 | 483366,58 | 87043607,83 | 172,28 | -0,01 |
| 10:19:50 | 85782794,69 | 485788,92 | 85297005,76 | 87517651,13 | 485616,54 | 87032034,59 | 172,38 | -0,10 |
| 10:19:55 | 85785505,87 | 488039,16 | 85297466,72 | 87508336,35 | 487866,77 | 87020469,58 | 172,38 | 0,00 |
| 10:20:00 | 85788222,76 | 490289,42 | 85297933,35 | 87499030,44 | 490116,99 | 87008913,45 | 172,43 | -0,05 |
| 10:20:05 | 85790945,03 | 492540,67 | 85298404,36 | 87489733,09 | 492368,19 | 86997364,9 | 172,48 | -0,05 |
| 10:20:10 | 85793672,73 | 494792,23 | 85298880,5 | 87480444,36 | 494619,74 | 86985824,62 | 172,49 | -0,01 |
| 10:20:15 | 85796405,73 | 497044,43 | 85299361,3 | 87471164,11 | 496871,90 | 86974292,21 | 172,52 | -0,03 |
| 10:20:20 | 85799144,63 | 499297,08 | 85299847,55 | 87461892,98 | 499124,49 | 86962768,49 | 172,59 | -0,06 |
| 10:20:25 | 85801889,56 | 501550,62 | 85300338,94 | 87452631,05 | 501378,00 | 86951253,05 | 172,61 | -0,03 |
| 10:20:30 | 85804639,4 | 503804,08 | 85300835,32 | 87443377,21 | 503631,44 | 86939745,78 | 172,64 | -0,03 |
| 10:20:35 | 85807394,34 | 506056,91 | 85301337,42 | 87434131,69 | | | | |
| 10:20:40 | 85810154,73 | 508310,63 | 85301844,1 | 87424894,82 | | | | |
| 10:21:35 | 85840880,87 | -694480,45 | 86535361,32 | 87323862,79 | | | | |
| 10:21:40 | 85843706,67 | -692224,00 | 86535930,66 | 87314729,9 | | | | |
| 10:21:45 | 85846538,21 | -689966,11 | 86536504,31 | 87305605,91 | | | | |
| 10:21:50 | 85849374,99 | -687707,55 | 86537082,54 | 87296490,47 | | | | |
| 10:21:55 | 85852216,85 | -685448,93 | 86537665,78 | 87287383,34 | | | | |
| 10:23:20 | 85901375,44 | -646992,82 | 86548368,26 | 87133906,44 | | | | |
| 10:23:25 | 85904316,67 | -644727,52 | 86549044,19 | 87124957,35 | -644888,07 | 87769845,42 | 160,55 | |
| 10:23:30 | 85907262,96 | -642461,53 | 86549724,48 | 87116016,56 | -642622,07 | 87758638,64 | 160,55 | 0,00 |
| 10:23:35 | 85910214,21 | -640195,20 | 86550409,41 | 87107084,04 | -640355,87 | 87747439,91 | 160,67 | -0,12 |
| 10:23:40 | 85913171,06 | -637928,74 | 86551099,8 | 87098160,4 | -638089,38 | 87736249,79 | 160,65 | 0,02 |
| 10:23:45 | 85916133,62 | -635661,94 | 86551795,56 | 87089245,77 | -635822,67 | 87725068,44 | 160,73 | -0,08 |
| 10:23:50 | 85919101,9 | -633394,33 | 86552496,24 | 87080340,12 | -633555,10 | 87713895,22 | 160,77 | -0,04 |
| 10:23:55 | 85922074,88 | -631127,50 | 86553202,39 | 87071442,48 | -631288,35 | 87702730,83 | 160,85 | -0,08 |

Πίνακας 4.15: Διαφορές του σήματος L2 ανάμεσα σε G09 - G30 για τη στάση ANOIXTOY

Τέλος, αναλύονται τα δεδομένα για τους δορυφόρους E09 και E25 του συστήματος Galileo. Ο δέκτης κατέγραψε δεδομένα και για τους δύο δορυφόρους και στα δύο σήματα, από την χρονική στιγμή 10:18:30 έως την 10:28:35. Ξεκινώντας με τις τελευταίες 40 εποχές του σήματος L1X, που απεικονίζονται στον Πίνακα 4.16, παρατηρούνται αυξημένες τιμές σε δύο εποχές: στην εποχή με χρονική στιγμή 10:27:10 και στην εποχή με χρονική στιγμή 10:28:15. Πριν από τις δύο εποχές έχει προηγηθεί διακοπή της λήψης του σήματος για ορισμένα δευτερόλεπτα, επομένως οι αυξημένες τιμές δεν ερμηνεύονται ως ολίσθηση κύκλων.

Ανάπτυξη λογισμικού για την αξιολόγηση της ποιότητας γεωδαιτικών μετρήσεων GNSS

| rowTimes | E09 L1X Clear Sky | Δ | E09 L1X Stasi 2 | E25 L1C Clear Sky | Δ | E25 L1X Stasi 2 | Απλές Διαφορές | Διπλές Διαφορές |
|----------|-------------------|------------|-----------------|-------------------|------------|-----------------|----------------|-----------------|
| 10:23:25 | 132586130 | -827335,77 | 133413465,7 | 131867047,2 | -827493,78 | 132694541 | 158,02 | 0,00 |
| 10:23:30 | 132594128 | -824427,86 | 133418555,9 | 131852675,7 | -824585,86 | 132677261,6 | 157,99 | 0,02 |
| 10:23:35 | 132602128,5 | -821519,52 | 133423648 | 131838311,3 | -821677,53 | 132659988,8 | 158,01 | -0,02 |
| 10:23:40 | 132610132,2 | -818610,95 | 133428743,2 | 131823954,6 | -818768,99 | 132642723,6 | 158,04 | -0,03 |
| 10:23:45 | 132618139,3 | -815702,00 | 133433841,3 | 131809605,9 | -815860,03 | 132625465,9 | 158,03 | 0,00 |
| 10:23:50 | 132626149,9 | -812792,00 | 133438941,9 | 131795265,1 | -812950,05 | 132608215,2 | 158,04 | -0,01 |
| 10:23:55 | 132634162,5 | -809883,00 | 133444045,5 | 131780931 | -810041,08 | 132590972,1 | 158,08 | -0,03 |
| 10:24:00 | 132642178,5 | -806973,78 | 133449152,3 | 131766604,8 | -807131,88 | 132573736,7 | 158,10 | -0,02 |
| 10:24:05 | 132650197,3 | -804063,91 | 133454261,2 | 131752286 | -804222,00 | 132556508 | 158,09 | 0,01 |
| 10:24:10 | 132658218,9 | -801154,58 | 133459373,5 | 131737974,5 | -801312,65 | 132539287,2 | 158,07 | 0,01 |
| 10:24:15 | 132666242,9 | -798245,35 | 133464488,2 | 131723670,1 | -798403,41 | 132522073,5 | 158,06 | 0,01 |
| 10:24:20 | 132674269,6 | -795336,48 | 133469606 | 131709372,9 | -795494,49 | 132504867,4 | 158,01 | 0,05 |
| 10:24:25 | 132682299 | -792427,64 | 133474726,7 | 131695083,1 | -792585,69 | 132487668,8 | 158,05 | -0,04 |
| 10:24:30 | 132690332,8 | -789517,02 | 133479849,9 | 131680802,3 | -789675,04 | 132470477,3 | 158,02 | 0,03 |
| 10:24:35 | 132698369,3 | -786605,92 | 133484975,3 | 131666528,8 | -786763,90 | 132453292,7 | 157,98 | 0,04 |
| 10:24:40 | 132706408,8 | -783694,29 | 133490103,1 | 131652262,7 | -783852,29 | 132436115 | 158,00 | -0,02 |
| 10:24:45 | 132714450,8 | -780782,79 | 133495233,6 | 131638004 | -780940,76 | 132418944,7 | 157,97 | 0,03 |
| 10:24:50 | 132722496 | -777870,72 | 133500366,7 | 131623753 | -778028,72 | 132401781,7 | 158,00 | -0,04 |
| 10:24:55 | 132730544,2 | -774957,75 | 133505501,9 | 131609509,7 | -775115,66 | 132384625,3 | 157,91 | 0,09 |
| 10:25:00 | 132738595,7 | -772043,51 | 133510639,2 | 131595274,4 | -772201,41 | 132367475,8 | 157,90 | 0,01 |
| 10:25:05 | 132746650,6 | -769129,29 | 133515779,9 | 131581047 | -769287,25 | 132350334,2 | 157,97 | -0,06 |
| 10:25:10 | 132754708,3 | -766214,61 | 133520922,9 | 131566827,1 | -766372,58 | 132333199,7 | 157,97 | -0,01 |
| 10:25:15 | 132762768,9 | -763298,91 | 133526067,8 | 131552614,8 | -763456,89 | 132316071,7 | 157,98 | 0,00 |
| 10:25:20 | 132770832,5 | -760384,21 | 133531216,7 | 131538410,3 | -760542,14 | 132298952,4 | 157,93 | 0,05 |
| 10:25:25 | 132778898,1 | -757470,72 | 133536368,9 | 131524212,4 | -757628,69 | 132281841,1 | 157,97 | -0,05 |
| 10:25:30 | 132786967,8 | -754554,99 | 133541522,8 | 131510023,2 | -754712,94 | 132264736,2 | 157,94 | 0,03 |
| 10:25:35 | 132795039,9 | -751640,30 | 133546680,2 | 131495841,1 | -751798,19 | 132247639,3 | 157,89 | 0,06 |
| 10:25:40 | 132803115,1 | -748724,85 | 133551840 | 131481667 | -748882,70 | 132230549,7 | 157,85 | 0,04 |
| 10:25:45 | 132811193,7 | -745808,31 | 133557002 | 131467500,8 | -745966,11 | 132213466,9 | 157,80 | 0,05 |
| 10:25:50 | 132819276 | -742890,70 | 133562166,7 | 131453343,1 | -743048,57 | 132196391,7 | 157,88 | -0,08 |
| 10:27:10 | 132948952,6 | -696238,87 | 133645191,5 | 131227827,4 | -696377,65 | 131924205,1 | 138,78 | 19,09 |
| 10:27:15 | 132957080,4 | -693321,34 | 133650401,7 | 131213796,5 | -693460,12 | 131907256,6 | 138,79 | -0,01 |
| 10:27:20 | 132965210,2 | -690405,47 | 133655615,7 | 131199772,5 | -690544,18 | 131890316,7 | 138,71 | 0,08 |
| 10:27:25 | 132973343,2 | -687490,05 | 133660833,2 | 131185756,4 | -687628,80 | 131873385,2 | 138,75 | -0,04 |
| 10:27:30 | 132981478,5 | -684574,45 | 133666053 | 131171747,7 | -684713,22 | 131856460,9 | 138,77 | -0,02 |
| 10:28:15 | 133054820,2 | -658311,04 | 133713131,2 | 131046012 | -658469,98 | 131704482 | 158,94 | -20,17 |
| 10:28:20 | 133062982,8 | -655394,29 | 133718377,1 | 131032079,5 | -655553,21 | 131687632,7 | 158,93 | 0,01 |
| 10:28:25 | 133071148,8 | -652477,06 | 133723625,9 | 131018155,2 | -652635,98 | 131670791,2 | 158,92 | 0,01 |
| 10:28:30 | 133079317,8 | -649560,04 | 133728877,9 | 131004239,1 | -649718,94 | 131653958 | 158,90 | 0,02 |
| 10:28:35 | 133087489 | -646643,20 | 133734132,2 | 130990329,9 | | | | |

Πίνακας 4.16: Διαφορές του σήματος L1 ανάμεσα σε E09 – E25 για τη στάση ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΑ και τη Στάση 2

Στον Πίνακα 4.17 απεικονίζονται οι 40 τελευταίες εποχές του σήματος L8X. Με γαλάζιο χρώμα έχουν μαρκαριστεί οι εποχές στις οποίες έχουν βρεθεί αυξημένες τιμές στο σήμα L1X. Όπως φαίνεται, στην εποχή με χρονική στιγμή 10:27:10, ο δέκτης δεν έχει καταγράψει τα απαραίτητα δεδομένα για το σήμα στη Στάση 2, με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατή η επαλήθευση των αυξημένων τιμών και στο σήμα L8X. Γι' αυτό και η μέθοδος Ionospheric Residual δεν εμφάνισε ολίσθηση κύκλων.

Ανάπτυξη λογισμικού για την αξιολόγηση της ποιότητας γεωδαιτικών μετρήσεων GNSS

| rowTimes | E09 L8X Clear Sky | Δ | E09 L8X Stasi 2 | E25 L8X Clear Sky | Δ | E25 L8X Stasi 2 | Απλές Διαφορές | Διπλές Διαφορές |
|----------|-------------------|------------|-----------------|-------------------|------------|-----------------|----------------|-----------------|
| 10:23:25 | 100300547,9 | -625853,36 | 100926401,3 | 99756577,14 | -625988,90 | 100382566 | 135,55 | -0,01 |
| 10:23:30 | 100306598,4 | -623653,54 | 100930251,9 | 99745705,26 | -623789,07 | 100369494,3 | 135,53 | 0,01 |
| 10:23:35 | 100312650,7 | -621453,40 | 100934104,1 | 99734838,65 | -621588,94 | 100356427,6 | 135,55 | -0,01 |
| 10:23:40 | 100318705,5 | -619253,09 | 100937958,5 | 99723977,91 | -619388,66 | 100343366,6 | 135,56 | -0,02 |
| 10:23:45 | 100324762,8 | -617052,48 | 100941815,3 | 99713123,22 | -617188,04 | 100330311,3 | 135,56 | 0,01 |
| 10:23:50 | 100330822,7 | -614851,11 | 100945673,8 | 99702274,5 | -614986,66 | 100317261,2 | 135,54 | 0,02 |
| 10:23:55 | 100336884,2 | -612650,47 | 100949534,6 | 99691430,84 | -612786,03 | 100304216,9 | 135,56 | -0,02 |
| 10:24:00 | 100342948,2 | -610449,67 | 100953397,9 | 99680593,15 | -610585,25 | 100291178,4 | 135,58 | -0,02 |
| 10:24:05 | 100349014,4 | -608248,38 | 100957262,8 | 99669761,08 | -608383,94 | 100278145 | 135,57 | 0,02 |
| 10:24:10 | 100355082,7 | -606047,49 | 100961130,2 | 99658934,57 | -606183,04 | 100265117,6 | 135,55 | 0,02 |
| 10:24:15 | 100361152,8 | -603846,69 | 100964999,4 | 99648113,37 | -603982,22 | 100252095,6 | 135,53 | 0,02 |
| 10:24:20 | 100367224,9 | -601646,13 | 100968871 | 99637297,65 | -601781,63 | 100239079,3 | 135,50 | 0,03 |
| 10:24:25 | 100373299,1 | -599445,60 | 100972744,7 | 99626487,49 | -599581,14 | 100226068,6 | 135,55 | -0,05 |
| 10:24:30 | 100379376,6 | -597243,74 | 100976620,4 | 99615684,13 | -597379,26 | 100213063,4 | 135,52 | 0,02 |
| 10:24:35 | 100385456,2 | -595041,51 | 100980497,7 | 99604886,32 | -595177,00 | 100200063,3 | 135,50 | 0,02 |
| 10:24:40 | 100391537,9 | -592838,89 | 100984376,8 | 99594094,17 | -592974,39 | 100187068,6 | 135,50 | 0,00 |
| 10:24:45 | 100397621,7 | -590636,34 | 100988258 | 99583307,51 | -590771,84 | 100174079,3 | 135,49 | 0,01 |
| 10:24:50 | 100403707,8 | -588433,39 | 100992141,2 | 99572526,76 | -588568,90 | 100161095,7 | 135,51 | -0,02 |
| 10:24:55 | 100409796,2 | -586229,74 | 100996025,9 | 99561751,77 | -586365,19 | 100148117 | 135,45 | 0,05 |
| 10:25:00 | 100415887,1 | -584025,14 | 100999912,3 | 99550982,86 | -584160,57 | 100135143,4 | 135,43 | 0,02 |
| 10:25:05 | 100421980,6 | -581820,56 | 101003801,1 | 99540219,93 | -581956,03 | 100122176 | 135,47 | -0,04 |
| 10:25:10 | 100428076,2 | -579615,62 | 101007691,8 | 99529462,73 | -579751,10 | 100109213,8 | 135,48 | -0,01 |
| 10:25:15 | 100434173,9 | -577409,91 | 101011583,8 | 99518711,21 | -577545,40 | 100096256,6 | 135,49 | -0,01 |
| 10:25:20 | 100440274 | -575204,95 | 101015479 | 99507965,57 | -575340,41 | 100083306 | 135,45 | 0,04 |
| 10:25:25 | 100446375,6 | -573000,90 | 101019376,5 | 99497224,96 | -573136,40 | 100070361,4 | 135,50 | -0,05 |
| 10:25:30 | 100452480,3 | -570795,18 | 101023275,4 | 99486490,95 | -570930,66 | 100057421,6 | 135,48 | 0,02 |
| 10:25:35 | 100458586,7 | -568590,22 | 101027177 | 99475762,31 | -568725,67 | 100044488 | 135,45 | 0,03 |
| 10:25:40 | 100464695,6 | -566384,69 | 101031080,3 | 99465039,65 | -566520,14 | 100031559,8 | 135,45 | 0,00 |
| 10:25:45 | 100470806,9 | -564178,34 | 101034985,3 | 99454323,05 | -564313,75 | 100018636,8 | 135,41 | 0,04 |
| 10:25:50 | 100476921,1 | -561971,16 | 101038892,3 | 99443612,84 | -562106,66 | 100005719,5 | 135,50 | -0,08 |
| 10:27:10 | 100575020,6 | | | 99273011,77 | -526800,43 | 99799812,2 | | |
| 10:27:15 | 100581169,1 | -524455,81 | 101105624,9 | 99262397,46 | -524593,35 | 99786990,8 | 137,54 | |
| 10:27:20 | 100587319,3 | -522249,96 | 101109569,3 | 99251788,4 | -522387,45 | 99774175,85 | 137,49 | 0,04 |
| 10:27:25 | 100593471,8 | -520044,48 | 101113516,3 | 99241185,36 | -520181,98 | 99761367,34 | 137,50 | -0,01 |
| 10:27:30 | 100599626,1 | -517838,87 | 101117465 | 99230587,81 | -517976,36 | 99748564,17 | 137,49 | 0,01 |
| 10:28:15 | 100655108,6 | -497987,01 | 101153095,6 | 99135469,66 | -498123,55 | 99633593,21 | 136,54 | 0,96 |
| 10:28:20 | 100661283,5 | -495780,52 | 101157064,1 | 99124929,83 | -495917,05 | 99620846,87 | 136,53 | 0,01 |
| 10:28:25 | 100667461 | -493573,68 | 101161034,7 | 99114396,21 | -493710,18 | 99608106,39 | 136,50 | 0,02 |
| 10:28:30 | 100673640,9 | -491367,00 | 101165007,9 | 99103868,71 | -491503,45 | 99595372,16 | 136,45 | 0,05 |
| 10:28:35 | 100679822,3 | -489160,42 | 101168982,7 | 99093346,49 | -489296,89 | 99582643,38 | 136,474 | -0,02 |

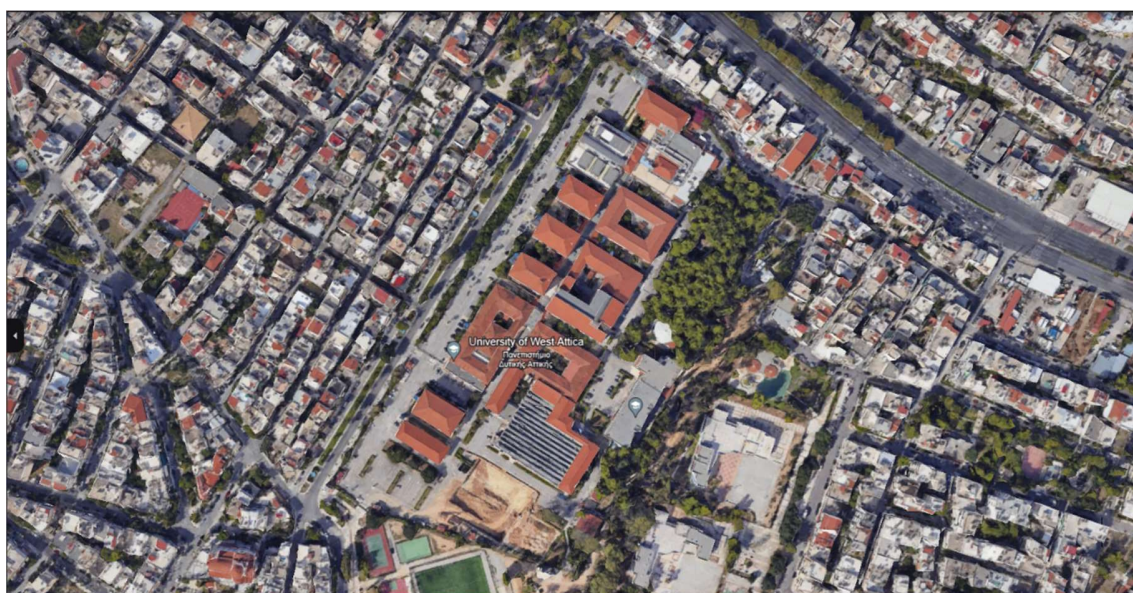
Πίνακας 4.17: Διαφορές του σήματος L8 ανάμεσα σε E09 – E25 για τη στάση ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΑ και τη Στάση 2

4.2.2 Σύγκριση δεκτών χαμηλού κόστους

Για τη δεύτερη μελέτη, χρησιμοποιήθηκαν τρεις διαφορετικοί δέκτες, προκειμένου να εξεταστεί η συμπεριφορά τους στην εμφάνιση ολίσθησης κύκλων. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε ο γεωδαιτικός δέκτης του Εργαστηρίου Γεωδαισίας-Τοπογραφίας (ΠΑ.Δ.Α.), ένας δέκτης μεσαίου κόστους, και ένας δέκτης χαμηλού κόστους. Μέσω αυτής της σύγκρισης, μπορούμε να εξάγουμε συμπεράσματα σχετικά με το πόσο επηρεάζεται η ακρίβεια των μετρήσεων από το κόστος και την ποιότητα των δεκτών.

4.2.2.1 Περιοχή μελέτης

Η μελέτη έλαβε χώρα στην περιοχή του Αιγάλεω, όπως απεικονίζεται και στην Εικόνα 4.7, στις 30 Μαρτίου του 2024 και οι δέκτες έχουν καταγράψει δεδομένα για 24 ώρες. Το διάστημα καταγραφής των μετρήσεων είναι 30 sec.



Εικόνα 4.7: Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής (Google Earth 2022)

Ανάπτυξη λογισμικού για την αξιολόγηση της ποιότητας γεωδαιτικών μετρήσεων GNSS

Όπως και στην προηγούμενη μελέτη, έτσι και εδώ ο γεωδαιτικός δέκτης του ΠΑ.Δ.Α., ο οποίος είναι ο υψηλότερης ποιότητας από τους τρεις, χρησιμοποιήθηκε ως σημείο αναφοράς για τη σύγκριση με τους δύο δέκτες χαμηλού κόστους (Εικόνα 4.8).



Εικόνα 4.8: Γεωδαιτικός του Εργαστηρίου Γεωδαισίας-Τοπογραφίας (ΠΑ.Δ.Α)

Ανάπτυξη λογισμικού για την αξιολόγηση της ποιότητας γεωδαιτικών μετρήσεων GNSS

Στις Εικόνες 4.9 και 4.10 απεικονίζονται οι θέσεις των δύο δεκτών χαμηλού κόστους, TM0600 και TT3100, κατά τη διάρκεια της μελέτης.



Εικόνα 4.10: Θέσεις δεκτών TT3100 και TM0600



Εικόνα 4.9: Θέσεις δεκτών TT3100 και TM0600

4.2.2.2 Στοιχεία εξοπλισμού

Γεωδαιτικός Δέκτης (ΠΑ.Δ.Α.)

Ο γεωδαιτικός δέκτης του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής αποτελείται από τον δέκτη **Spectral Precision SP90M** και την κεραία **Trimble Zephyr Geodetic III**.

Τα βασικά χαρακτηριστικά του δέκτη Spectral Precision SP90M και της κεραίας Trimble Zephyr Geodetic III είναι:

Δέκτης: Spectral Precision SP90M

- Δορυφορικά σήματα που καταγράφονται ταυτόχρονα:
 - GPS L1 C/A, L1P (Y), L2P (Y), L2C, L5, L1C
 - GLONASS L1 C/A, L1P, L2 C/A, L2P, L3, L1/L2 CDMA 1
 - GALILEO E1, E5a, E5b, E6
 - BeiDou B1, B2, B3 1
 - QZSS L1 C/A, L1s, L1C, L2C, L5
 - IRNSS L5
 - SBAS L1 C/A, L5
- Αντοχή σε υγρασία και σκόνη σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα IP67.
- Θερμοκρασία λειτουργίας: -40° έως +65°C



Εικόνα 4.11: Δέκτης SP90M (spectralgeospatial.com)

Κεραία: Trimble Zephyr Geodetic III

- Ευρεία ζώνη παρακολούθησης συχνότητων GNSS:
 - GPS: L1, L2, L5
 - GLONASS: L1, L2, L3
 - BeiDou: B1, B2, B3
 - Galileo: E1, E2, E5, E6
 - SBAS: WAAS, EGNOS, QZSS, Gagan, MSAS, OmniSTAR & Trimble RTX
- Θερμοκρασία λειτουργίας: -40° έως +75°C



Εικόνα 4.12: Κεραία Trimble Zephyr Geodetic III (geotech.gr)

Δέκτης μεσαίου κόστους

Ο δέκτης μεσαίου κόστους αποτελείται από τον δέκτη **Piksi Multi** και την κεραία **Harxon GPS500**

Τα βασικά χαρακτηριστικά του δέκτη Piksi Multi και της κεραίας Harxon GPS500 είναι:

Δέκτης: Piksi Multi

- Δορυφορικά σήματα που καταγράφονται ταυτόχρονα:
 - GPS: L1/L2
 - GLONASS: G1/G2
 - BeiDou: B1/B2
 - Galileo: E1/E5b
 - SBAS
- Θερμοκρασία λειτουργίας: -40° έως +85°C



Εικόνα 4.13: Δέκτης Piksi® Multi (canalgeomatics.com)

Κεραία: Harxon GPS500

- Σήματα που λαμβάνονται:
 - GPS: L1, L2
 - GLONASS: L1, L2
 - Galileo: E1
 - BeiDou: B1,B2,B3
 - QZSS: L1,L2
 - SBAS: L1
- Θερμοκρασία λειτουργίας: -55° έως +85°C
- Αντοχή σε υγρασία και σκόνη σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα IP67



Εικόνα 4.14: Κεραία Harxon GPS500 (harxon.com)

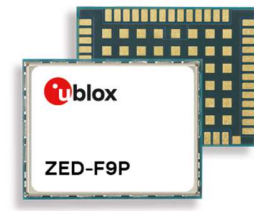
Δέκτης χαμηλού κόστους

Ο δέκτης μεσαίου κόστους αποτελείται από τον δέκτη **U-blox ZED-F9P** και την κεραία

Τα βασικά χαρακτηριστικά του δέκτη U-blox ZED-F9P και της κεραίας είναι:

Δέκτης: U-blox ZED-F9P

- Δορυφορικά σήματα που καταγράφονται ταυτόχρονα:
 - GPS: L1C/A, L2C, L5
 - GLONASS: L1OF, L2OF
 - Galileo: E1B/C, E5b, E5a
 - BeiDou: B1I, B2I, B2a
 - QZSS: L1C/A L1S L5, L2C
 - SBAS: L1C/A
 - NavIC: L5
- Θερμοκρασία λειτουργίας: -40° έως +85°C



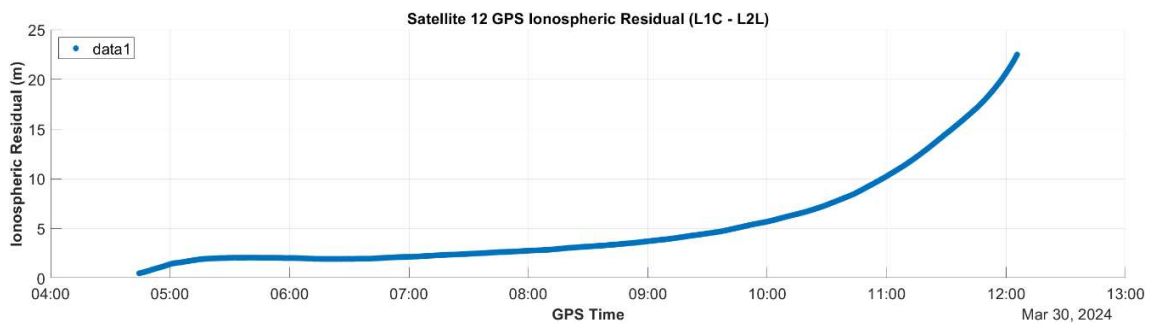
Εικόνα 4.15: Δέκτης U-blox ZED-F9P
(φυλλάδιο τεχνικών προδιαγραφών
ZED-F9P)

4.2.2.3 Μέθοδος Ionospheric Residual

Ανάλυση δεδομένων σταθμού αναφοράς ΠΑ.Δ.Α.

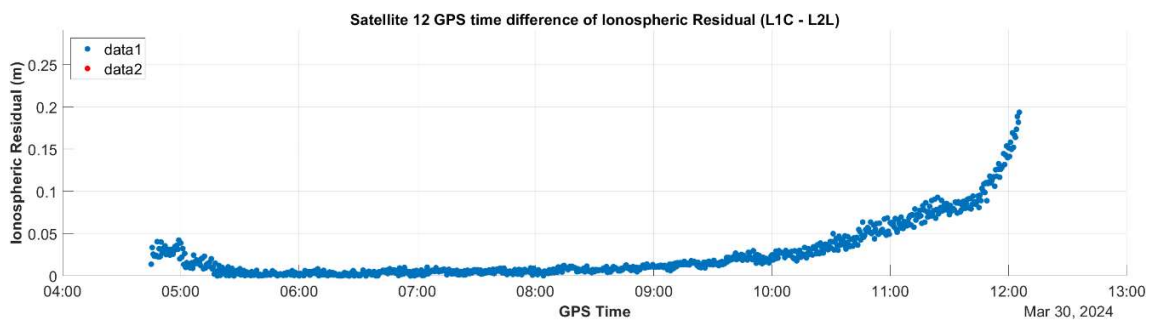
Η ανάλυση ξεκίνησε με τη μελέτη των δεδομένων που καταγράφηκαν από το σταθμό αναφοράς του ΠΑ.Δ.Α για το σύστημα GPS. Κατά τη χρονική διάρκεια που ο δέκτης ήταν ενεργός, καταγράφηκαν δεδομένα για 31 δορυφόρους, εκ των οποίων σε 24 δορυφόρους καταγράφηκαν δεδομένα και στις δύο συχνότητες L1C και L2L. Στην πλειοψηφία των δεδομένων οι καταγραφές εμφανίζουν κύκλους ολίσθησης, το οποίο όμως ήταν αναμενόμενο λόγω της πολύ μικρής γωνίας αποκοπής που χρησιμοποιείται. Παρακάτω θα αναλυθούν τα δεδομένα του δορυφόρου G12 και οι σύγκριση θα γίνει στα σήματα L1C, L2L.

Όπως φαίνεται στο Γράφημα 4.19, κατά το χρονικό διάστημα που έχουν καταγραφεί δεδομένα για τα δύο σήματα, δεν παρατηρείται διακοπή του σήματος ούτε μεγάλη διακύμανση στα δεδομένα του Ionospheric Residual.



Γράφημα 4.19: Ionospheric Residual σε L1C – L2L για τον G12 του δέκτη του ΠΑ.Δ.Α.

Επίσης στο Γράφημα 4.20 καθώς και στον Πίνακα 4.18 όπου απεικονίζονται οι πρώτες 80 εποχές δεν παρατηρείται ολίσθηση κύκλων και τα χρονικές διαφορές είναι πολύ κοντά στο μηδέν.



Γράφημα 4.20: Χρονικές διαφορές του Ionospheric Residual για τον G12 του δέκτη του ΠΑ.Δ.Α.

Ανάπτυξη λογισμικού για την αξιολόγηση της ποιότητας γεωδαιτικών μετρήσεων GNSS

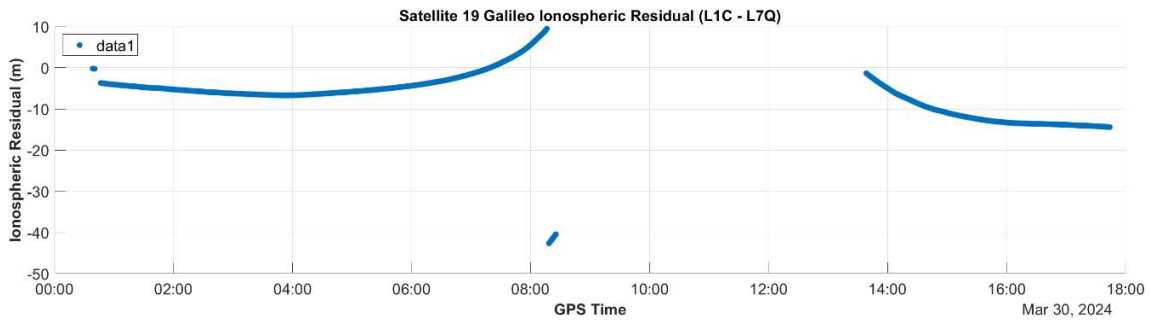
| rowTimes | IonRes (L1C - L2L) | dIonRes (L1C - L2L) | Cycle Slips (L1C - L2L) | rowTimes | IonRes (L1C - L2L) | dIonRes (L1C - L2L) | Cycle Slips (L1C - L2L) |
|----------|--------------------|---------------------|-------------------------|----------|--------------------|---------------------|-------------------------|
| 4:44:30 | 0,505951419 | | FALSE | 5:04:30 | 1,579477742 | 0,009764906 | FALSE |
| 4:45:00 | 0,519887634 | 0,013936214 | FALSE | 5:05:00 | 1,591329608 | 0,011851866 | FALSE |
| 4:45:30 | 0,553547833 | 0,033660199 | FALSE | 5:05:30 | 1,606870081 | 0,015540473 | FALSE |
| 4:46:00 | 0,579390187 | 0,025842354 | FALSE | 5:06:00 | 1,615896244 | 0,009026162 | FALSE |
| 4:46:30 | 0,603031527 | 0,02364134 | FALSE | 5:06:30 | 1,64052657 | 0,024630327 | FALSE |
| 4:47:00 | 0,626305018 | 0,02327349 | FALSE | 5:07:00 | 1,654792309 | 0,014265738 | FALSE |
| 4:47:30 | 0,650758386 | 0,024453368 | FALSE | 5:07:30 | 1,672518302 | 0,017725993 | FALSE |
| 4:48:00 | 0,691370904 | 0,040612519 | FALSE | 5:08:00 | 1,691503491 | 0,018985189 | FALSE |
| 4:48:30 | 0,713918269 | 0,022547364 | FALSE | 5:08:30 | 1,706299126 | 0,014795635 | FALSE |
| 4:49:00 | 0,746161148 | 0,032242879 | FALSE | 5:09:00 | 1,72467871 | 0,018379584 | FALSE |
| 4:49:30 | 0,769044805 | 0,022883657 | FALSE | 5:09:30 | 1,741367925 | 0,016689215 | FALSE |
| 4:50:00 | 0,809257932 | 0,040213127 | FALSE | 5:10:00 | 1,753851745 | 0,01248382 | FALSE |
| 4:50:30 | 0,836309135 | 0,027051203 | FALSE | 5:10:30 | 1,774527788 | 0,020676043 | FALSE |
| 4:51:00 | 0,868805967 | 0,032496832 | FALSE | 5:11:00 | 1,795391034 | 0,020863246 | FALSE |
| 4:51:30 | 0,897998091 | 0,029192124 | FALSE | 5:11:30 | 1,803840883 | 0,008449849 | FALSE |
| 4:52:00 | 0,933552422 | 0,035554331 | FALSE | 5:12:00 | 1,827222522 | 0,023381639 | FALSE |
| 4:52:30 | 0,958837301 | 0,025284879 | FALSE | 5:12:30 | 1,836592298 | 0,009369776 | FALSE |
| 4:53:00 | 0,989523407 | 0,030686107 | FALSE | 5:13:00 | 1,849986866 | 0,013394568 | FALSE |
| 4:53:30 | 1,015683755 | 0,026160348 | FALSE | 5:13:30 | 1,864618436 | 0,014631569 | FALSE |
| 4:54:00 | 1,046928182 | 0,031244427 | FALSE | 5:14:00 | 1,878888533 | 0,014270097 | FALSE |
| 4:54:30 | 1,071502876 | 0,024574693 | FALSE | 5:14:30 | 1,894801591 | 0,015913058 | FALSE |
| 4:55:00 | 1,102899659 | 0,031396784 | FALSE | 5:15:00 | 1,905744895 | 0,010943305 | FALSE |
| 4:55:30 | 1,132431634 | 0,029531974 | FALSE | 5:15:30 | 1,926060263 | 0,020315368 | FALSE |
| 4:56:00 | 1,158122912 | 0,025691278 | FALSE | 5:16:00 | 1,934428446 | 0,008368183 | FALSE |
| 4:56:30 | 1,187750161 | 0,029627249 | FALSE | 5:16:30 | 1,945140507 | 0,010712061 | FALSE |
| 4:57:00 | 1,22251223 | 0,03476207 | FALSE | 5:17:00 | 1,947476566 | 0,002336059 | FALSE |
| 4:57:30 | 1,254194785 | 0,031682555 | FALSE | 5:17:30 | 1,962619483 | 0,015142918 | FALSE |
| 4:58:00 | 1,290460307 | 0,036265522 | FALSE | 5:18:00 | 1,967645209 | 0,005025726 | FALSE |
| 4:58:30 | 1,321952712 | 0,031492405 | FALSE | 5:18:30 | 1,967767801 | 0,000122592 | FALSE |
| 4:59:00 | 1,364364855 | 0,042412143 | FALSE | 5:19:00 | 1,97436364 | 0,006595839 | FALSE |
| 4:59:30 | 1,384658609 | 0,020293754 | FALSE | 5:19:30 | 1,986585926 | 0,012222286 | FALSE |
| 5:00:00 | 1,423642442 | 0,038983833 | FALSE | 5:20:00 | 1,985842966 | 0,000742961 | FALSE |
| 5:00:30 | 1,445966136 | 0,022323694 | FALSE | 5:20:30 | 1,991278302 | 0,005435336 | FALSE |
| 5:01:00 | 1,478400838 | 0,032434702 | FALSE | 5:21:00 | 2,001360074 | 0,010081772 | FALSE |
| 5:01:30 | 1,491933104 | 0,013532266 | FALSE | 5:21:30 | 1,998178475 | 0,003181599 | FALSE |
| 5:02:00 | 1,518525939 | 0,026592836 | FALSE | 5:22:00 | 2,005577303 | 0,007398829 | FALSE |
| 5:02:30 | 1,52863941 | 0,01011347 | FALSE | 5:22:30 | 2,008922976 | 0,003345672 | FALSE |
| 5:03:00 | 1,544287328 | 0,015647918 | FALSE | 5:23:00 | 2,009668063 | 0,000745088 | FALSE |
| 5:03:30 | 1,558168769 | 0,013881441 | FALSE | 5:23:30 | 2,013959061 | 0,004290998 | FALSE |
| 5:04:00 | 1,569712836 | 0,011544067 | FALSE | 5:24:00 | 2,024644021 | 0,01068496 | FALSE |

Πίνακας 4.18: Δεδομένα μεθόδου Ionospheric Residual για τον G12 του δέκτη του ΠΑ.Δ.Α.

Στη συνέχεια, αναλύονται τα δεδομένα του συστήματος Galileo, εστιάζοντας στον δορυφόρο E19. Ο δέκτης κατέγραψε δεδομένα για τον συγκεκριμένο δορυφόρο από την χρονική στιγμή 00:38 έως τις 17:44. Όπως απεικονίζεται και στο Γράφημα 4.21, κατά το διάστημα αυτό σημειώθηκαν τρεις διακοπές στο σήμα.

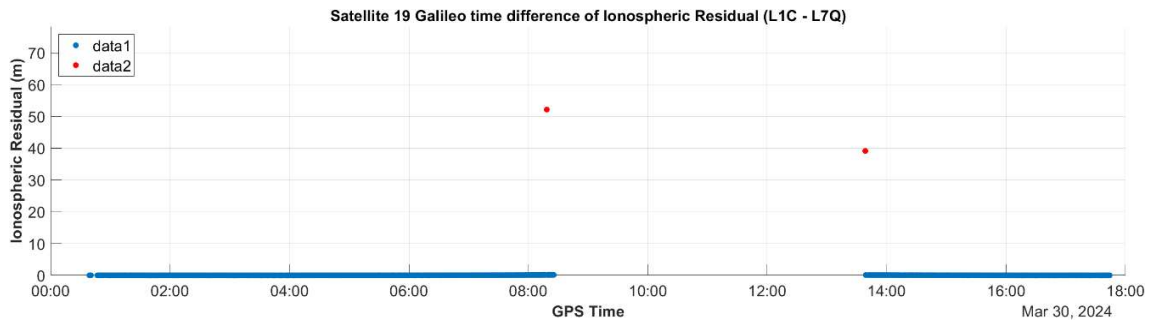
Η πρώτη διακοπή συμβαίνει στην αρχή των μετρήσεων και διαρκεί 3 λεπτά. Ακολούθως, ο δέκτης ανακτά το σήμα για μία εποχή, πριν το χάσει ξανά για επιπλέον 3 λεπτά. Στις δύο αυτές περιπτώσεις, όπου ο δέκτης χάνει το σήμα, δεν καταγράφηκαν επαρκή δεδομένα ώστε να εμφανιστεί ολίσθηση κύκλων. Μετά την αποκατάσταση του σήματος, ο δέκτης συνεχίζει να καταγράφει δεδομένα μέχρι τις 08:16:30, οπότε και χάνει ξανά το σήμα για 2 λεπτά.

Με την επαναφορά του σήματος, παρατηρείται η πρώτη αυξημένη τιμή στην εποχή με χρονική στιγμή 08:18:00, όπως αποτυπώνεται και στο γράφημα, όπου καταγράφεται σημαντική μετατόπιση στις τιμές των δεδομένων. Η καταγραφή δεδομένων συνεχίζεται μέχρι τις 08:25:30, όταν το σήμα χάνεται για τελευταία φορά, αυτή τη φορά για πέντε ώρες. Όταν ο δέκτης ξαναβρίσκει το σήμα του δορυφόρου στις 13:38:30, σημειώνεται και η τελευταία αυξημένη τιμή.



Γράφημα 4.21: Ionospheric Residual σε L1C – L7Q για τον E19 του δέκτη του ΠΑ.Δ.Α.

Στο Γράφημα 4.22 όπου φαίνονται οι διαφορές ανάμεσα στις χρονικές στιγμές του Ionospheric Residual, καθώς και στον Πίνακα 4.19 όπου απεικονίζονται 80 εποχές κοντά στις 3 διακοπές του σήματος, παρατηρείται ότι οι τιμές είναι πολύ μεγάλες. Ωστόσο, και στις δύο περιπτώσεις, οι αυξημένες τιμές παρατηρούνται μετά από διακοπή στη λήψη του σήματος και, ως εκ τούτου, δεν ερμηνεύονται ως ολίσθηση κύκλων.



Γράφημα 4.22: Χρονικές διαφορές του Ionospheric Residual για τον E19 του δέκτη του ΠΑ.Δ.Α.

Ανάπτυξη λογισμικού για την αξιολόγηση της ποιότητας γεωδαιτικών μετρήσεων GNSS

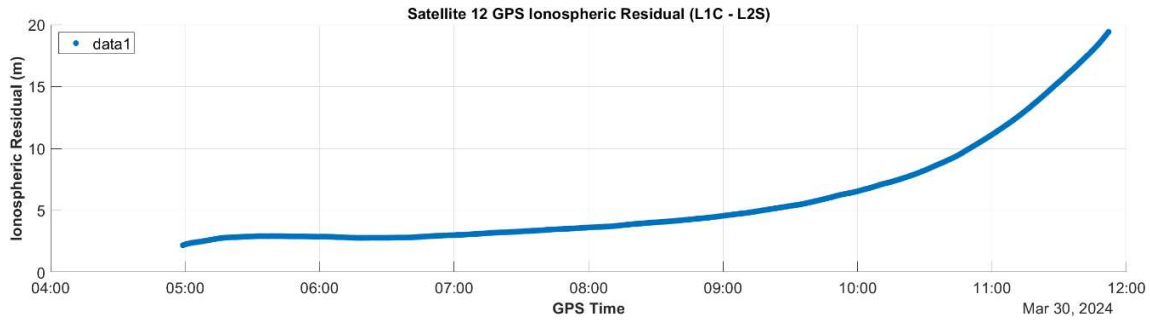
| rowTimes | lonRes (L1C - L7Q) | dlonRes (L1C - L7Q) | Cycle Slips (L1C - L7Q) | rowTimes | lonRes (L1C - L7Q) | dlonRes (L1C - L7Q) | Cycle Slips (L1C - L7Q) |
|----------|--------------------|---------------------|-------------------------|----------|--------------------|---------------------|-------------------------|
| 0:38:30 | -0,191739161 | | FALSE | 8:12:00 | 8,268248696 | 0,109979238 | FALSE |
| 0:39:00 | -0,208629429 | 0,016890269 | FALSE | 8:12:30 | 8,385255903 | 0,117007207 | FALSE |
| 0:39:30 | -0,222342756 | 0,013713326 | FALSE | 8:13:00 | 8,514522549 | 0,129266646 | FALSE |
| 0:40:00 | -0,24840904 | 0,026066285 | FALSE | 8:13:30 | 8,652187929 | 0,13766538 | FALSE |
| 0:40:30 | -0,2622203 | 0,01379396 | FALSE | 8:14:00 | 8,775723204 | 0,123535275 | FALSE |
| 0:43:00 | | | FALSE | 8:14:30 | 8,9088022 | 0,133078996 | FALSE |
| 0:46:30 | -3,709125347 | | FALSE | 8:15:00 | 9,046057988 | 0,137255788 | FALSE |
| 0:47:00 | -3,718619924 | 0,009494577 | FALSE | 8:15:30 | 9,199172672 | 0,153114684 | FALSE |
| 0:47:30 | -3,728137076 | 0,009517152 | FALSE | 8:16:00 | 9,352651831 | 0,153479159 | FALSE |
| 0:48:00 | -3,745295003 | 0,017157927 | FALSE | 8:16:30 | 9,501776811 | 0,14912498 | FALSE |
| 0:48:30 | -3,759917822 | 0,014622819 | FALSE | 8:18:30 | -42,65068422 | 52,15246103 | TRUE |
| 0:49:00 | -3,770038098 | 0,010120276 | FALSE | 8:19:00 | -42,49433769 | 0,156346526 | FALSE |
| 0:49:30 | -3,786254227 | 0,016216129 | FALSE | 8:19:30 | -42,33501741 | 0,159320284 | FALSE |
| 0:50:00 | -3,804586153 | 0,018331926 | FALSE | 8:20:00 | -42,18133497 | 0,153682437 | FALSE |
| 0:50:30 | -3,815483723 | 0,010897569 | FALSE | 8:20:30 | -42,02952965 | 0,151805319 | FALSE |
| 0:51:00 | -3,827165045 | 0,011681322 | FALSE | 8:21:00 | -41,87110274 | 0,158426911 | FALSE |
| 0:51:30 | -3,846941907 | 0,019776862 | FALSE | 8:21:30 | -41,71691067 | 0,154192075 | FALSE |
| 0:52:00 | -3,860268135 | 0,013326228 | FALSE | 8:22:00 | -41,55305231 | 0,163858362 | FALSE |
| 0:52:30 | -3,881493159 | 0,021225024 | FALSE | 8:22:30 | -41,40148239 | 0,151569918 | FALSE |
| 0:53:00 | -3,897193208 | 0,01570005 | FALSE | 8:23:00 | -41,23299567 | 0,168486722 | FALSE |
| 0:53:30 | -3,91760223 | 0,020409022 | FALSE | 8:23:30 | -41,07499444 | 0,158001225 | FALSE |
| 0:54:00 | -3,933411933 | 0,015809704 | FALSE | 8:24:00 | -40,91617719 | 0,15881725 | FALSE |
| 0:54:30 | -3,950582724 | 0,017170791 | FALSE | 8:24:30 | -40,76483621 | 0,15134098 | FALSE |
| 0:55:00 | | | FALSE | 8:25:00 | -40,61307593 | 0,15176028 | FALSE |
| 0:55:30 | | | FALSE | 8:25:30 | -40,457413 | 0,155662932 | FALSE |
| 0:56:00 | -3,985275056 | | FALSE | 13:38:30 | -1,313838206 | 39,14357479 | TRUE |
| 0:56:30 | -4,004129447 | 0,018854391 | FALSE | 13:39:00 | -1,42225242 | 0,108414214 | FALSE |
| 0:57:00 | -4,022203311 | 0,018073864 | FALSE | 13:39:30 | -1,522600118 | 0,100347698 | FALSE |
| 0:57:30 | -4,036626119 | 0,014422808 | FALSE | 13:40:00 | | | FALSE |
| 0:58:00 | -4,044504751 | 0,007878631 | FALSE | 13:40:30 | | | FALSE |
| 0:58:30 | -4,054689486 | 0,010184735 | FALSE | 13:41:00 | -1,795828145 | | FALSE |
| 0:59:00 | -4,0642098 | 0,009520315 | FALSE | 13:41:30 | -1,882774681 | 0,086946536 | FALSE |
| 0:59:30 | -4,080406517 | 0,016196717 | FALSE | 13:42:00 | -1,980455078 | 0,097680397 | FALSE |
| 1:00:00 | -4,091987796 | 0,011581279 | FALSE | 13:42:30 | -2,072433127 | 0,091978047 | FALSE |
| 1:00:30 | -4,101782259 | 0,009794462 | FALSE | 13:43:00 | -2,169220125 | 0,096787002 | FALSE |
| 1:01:00 | -4,110992935 | 0,009210676 | FALSE | 13:43:30 | -2,258276053 | 0,089055926 | FALSE |
| 1:01:30 | -4,125915635 | 0,014922701 | FALSE | 13:44:00 | -2,348631788 | 0,090355735 | FALSE |
| 1:02:00 | -4,134181287 | 0,008265652 | FALSE | 13:44:30 | -2,436510488 | 0,0878787 | FALSE |
| 1:02:30 | -4,138512041 | 0,004330754 | FALSE | 13:45:00 | -2,524473052 | 0,087962564 | FALSE |
| 1:03:00 | -4,150190074 | 0,011678033 | FALSE | 13:45:30 | -2,627630092 | 0,10315704 | FALSE |

Πίνακας 4.19: Δεδομένα μεθόδου Ionospheric Residual για τον E19 του δέκτη του ΠΑ.Δ.Α.

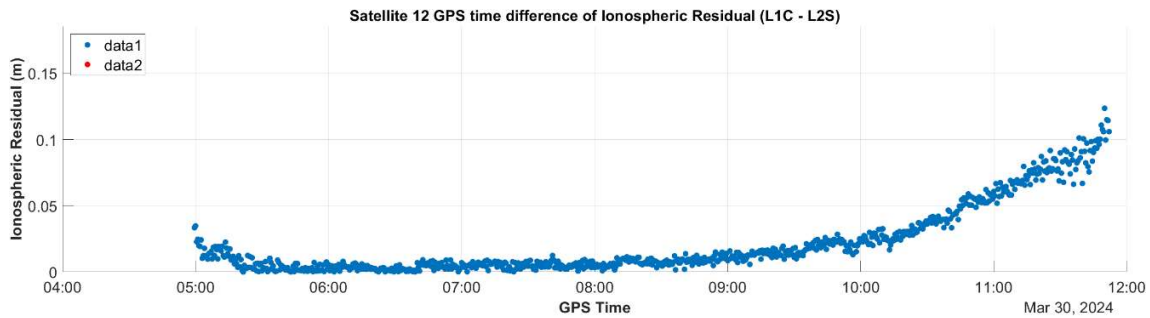
Ανάλυση δεδομένων δέκτη μέσω κόστους

Η μελέτη συνεχίζεται με τον δέκτη μεσαίου κόστους TT3100 και τους δορυφόρους του συστήματος GPS. Κατά τη διάρκεια που ο δέκτης ήταν ενεργός, καταγράφηκαν δεδομένα από 29 δορυφόρους, εκ των οποίων οι 24 περιλαμβάνουν μετρήσεις και στις δύο συχνότητες L1C - L2S. Παρακάτω θα αναλυθούν τα δεδομένα του δορυφόρου G12. Ο δέκτης κατέγραψε δεδομένα από τις 05:00 έως τις 12:00. Σε αυτή τη χρονική διάρκεια, όπως απεικονίζεται και στα Γραφήματα 4.23 και 4.24 καθώς και στον Πίνακα 4.20, δεν παρατηρούνται διακοπές στη λήψη του σήματος ούτε μεγάλες μετατοπίσεις στις μετρήσεις.

Ανάπτυξη λογισμικού για την αξιολόγηση της ποιότητας γεωδαιτικών μετρήσεων GNSS



Γράφημα 4.23: Ionospheric Residual σε L1C – L2S για τον G12 του δέκτη TT3100



Γράφημα 4.24: Χρονικές διαφορές του Ionospheric Residual για τον G12 του δέκτη TT3100

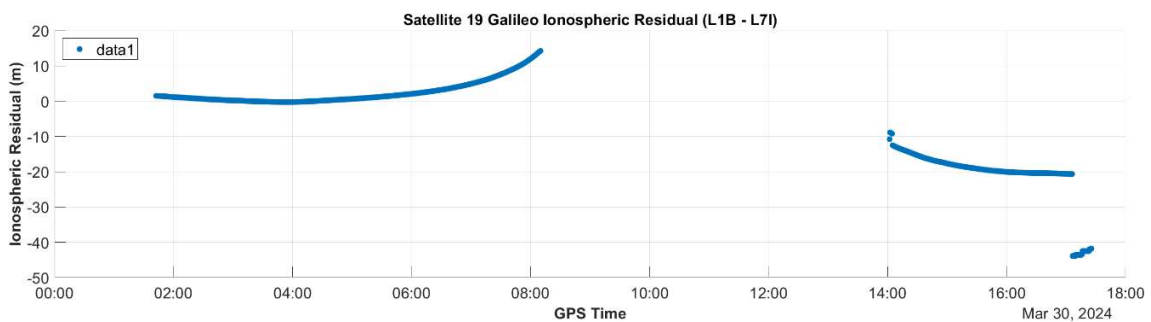
| rowTimes | IonRes (L1C - L2S) | dIonRes (L1C - L2S) | Cycle Slips (L1C - L2S) | rowTimes | IonRes (L1C - L2S) | dIonRes (L1C - L2S) | Cycle Slips (L1C - L2S) |
|----------|--------------------|---------------------|-------------------------|----------|--------------------|---------------------|-------------------------|
| 4:59:00 | 2,199035674 | | FALSE | 5:19:00 | 2,812089369 | 0,003511902 | FALSE |
| 4:59:30 | 2,232450195 | 0,03341452 | FALSE | 5:19:30 | 2,824362412 | 0,012273043 | FALSE |
| 5:00:00 | 2,267238066 | 0,034787871 | FALSE | 5:20:00 | 2,828151628 | 0,003789216 | FALSE |
| 5:00:30 | 2,290015306 | 0,022777241 | FALSE | 5:20:30 | 2,837519724 | 0,009368096 | FALSE |
| 5:01:00 | 2,314720925 | 0,024705619 | FALSE | 5:21:00 | 2,838670399 | 0,001150675 | FALSE |
| 5:01:30 | 2,334472638 | 0,019751713 | FALSE | 5:21:30 | 2,838685755 | 1,53556E-05 | FALSE |
| 5:02:00 | 2,35376773 | 0,019295093 | FALSE | 5:22:00 | 2,843677387 | 0,004991632 | FALSE |
| 5:02:30 | 2,377959777 | 0,024192046 | FALSE | 5:22:30 | 2,847286317 | 0,003608931 | FALSE |
| 5:03:00 | 2,38827949 | 0,010319714 | FALSE | 5:23:00 | 2,844507821 | 0,002778497 | FALSE |
| 5:03:30 | 2,400597367 | 0,012317877 | FALSE | 5:23:30 | 2,856959265 | 0,012451444 | FALSE |
| 5:04:00 | 2,418475058 | 0,01787769 | FALSE | 5:24:00 | 2,860375028 | 0,003415763 | FALSE |
| 5:04:30 | 2,430647198 | 0,01217214 | FALSE | 5:24:30 | 2,871960841 | 0,011585813 | FALSE |
| 5:05:00 | 2,443047762 | 0,012400564 | FALSE | 5:25:00 | 2,868589669 | 0,003371172 | FALSE |
| 5:05:30 | 2,452736717 | 0,009688955 | FALSE | 5:25:30 | 2,879322529 | 0,010732859 | FALSE |
| 5:06:00 | 2,466723215 | 0,013986498 | FALSE | 5:26:00 | 2,881587427 | 0,002264898 | FALSE |
| 5:06:30 | 2,481153816 | 0,014430601 | FALSE | 5:26:30 | 2,883960258 | 0,002372831 | FALSE |
| 5:07:00 | 2,496558163 | 0,015404347 | FALSE | 5:27:00 | 2,890116867 | 0,006156608 | FALSE |
| 5:07:30 | 2,506482139 | 0,009923976 | FALSE | 5:27:30 | 2,889242236 | 0,000874631 | FALSE |
| 5:08:00 | 2,525131155 | 0,018649016 | FALSE | 5:28:00 | 2,89584624 | 0,006604005 | FALSE |
| 5:08:30 | 2,537554484 | 0,012423329 | FALSE | 5:28:30 | 2,895536348 | 0,000309892 | FALSE |
| 5:09:00 | 2,556895059 | 0,019340575 | FALSE | 5:29:00 | 2,900808513 | 0,005272165 | FALSE |
| 5:09:30 | 2,573790453 | 0,016895395 | FALSE | 5:29:30 | 2,907197174 | 0,006388661 | FALSE |
| 5:10:00 | 2,583651409 | 0,009860955 | FALSE | 5:30:00 | 2,908051573 | 0,000854399 | FALSE |
| 5:10:30 | 2,602735344 | 0,019083936 | FALSE | 5:30:30 | 2,911230829 | 0,003179256 | FALSE |
| 5:11:00 | 2,620804466 | 0,018069122 | FALSE | 5:31:00 | 2,914061319 | 0,00283049 | FALSE |
| 5:11:30 | 2,636713844 | 0,015909377 | FALSE | 5:31:30 | 2,921874441 | 0,007813122 | FALSE |
| 5:12:00 | 2,656131051 | 0,019417208 | FALSE | 5:32:00 | 2,924571943 | 0,002697501 | FALSE |
| 5:12:30 | 2,668418676 | 0,012287624 | FALSE | 5:32:30 | 2,924843315 | 0,000271372 | FALSE |
| 5:13:00 | 2,679647084 | 0,011228409 | FALSE | 5:33:00 | 2,926107492 | 0,001264177 | FALSE |
| 5:13:30 | 2,702182204 | 0,022535119 | FALSE | 5:33:30 | 2,936455131 | 0,010347638 | FALSE |
| 5:14:00 | 2,720194764 | 0,018012561 | FALSE | 5:34:00 | 2,929321241 | 0,00713389 | FALSE |
| 5:14:30 | 2,73394483 | 0,013750065 | FALSE | 5:34:30 | 2,926469069 | 0,002852172 | FALSE |
| 5:15:00 | 2,745893545 | 0,011948716 | FALSE | 5:35:00 | 2,931022599 | 0,00455353 | FALSE |
| 5:15:30 | 2,763294261 | 0,017400716 | FALSE | 5:35:30 | 2,930117987 | 0,000904612 | FALSE |
| 5:16:00 | 2,772385582 | 0,009091321 | FALSE | 5:36:00 | 2,929752655 | 0,000365332 | FALSE |
| 5:16:30 | 2,781962246 | 0,009576663 | FALSE | 5:36:30 | 2,930319875 | 0,00056722 | FALSE |
| 5:17:00 | 2,793759082 | 0,011796836 | FALSE | 5:37:00 | 2,921337638 | 0,008982237 | FALSE |
| 5:17:30 | 2,799932845 | 0,006173763 | FALSE | 5:37:30 | 2,928505108 | 0,00716747 | FALSE |
| 5:18:00 | 2,809395608 | 0,009462763 | FALSE | 5:38:00 | 2,927042868 | 0,00146224 | FALSE |
| 5:18:30 | 2,815601271 | 0,006205663 | FALSE | 5:38:30 | 2,932158571 | 0,005115703 | FALSE |

Πίνακας 4.20: Δεδομένα μεθόδου Ionospheric Residual για τον G12 του δέκτη TT3100

Ανάπτυξη λογισμικού για την αξιολόγηση της ποιότητας γεωδαιτικών μετρήσεων GNSS

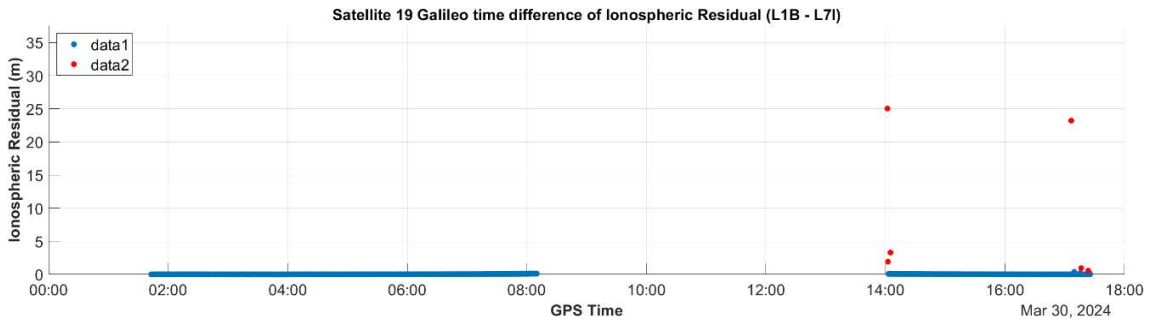
Για το σύστημα Galileo, ο δέκτης έχει καταγράψει δεδομένα για 34 δορυφόρους εκ των οποίων οι 22 έχουν δεδομένα και στις δυο συχνότητες L1B - L7I. Παρακάτω θα αναλυθούν τα δεδομένα του δορυφόρου E19.

Για τον συγκεκριμένο δορυφόρο έχουν καταγραφεί δεδομένα από τις 02:00 έως τις 17:30. Από το Γράφημα 4.25 προκύπτει ότι ο δέκτης κατέγραψε συνεχόμενα δεδομένα μέχρι τις 08:00, όπου και χάνει το σήμα του δορυφόρου. Ο δορυφόρος επανεμφανίζεται μετά από 6 ώρες, στις 14:02. Από εκείνο το σημείο και μετά, ο δέκτης καταγράφει συνεχόμενα δεδομένα μέχρι που χάνει ξανά το σήμα του δορυφόρου στις 17:25:30.



Γράφημα 4.25: Ionospheric Residual σε L1B – L7I για τον E19 του δέκτη TT3100

Στο Γράφημα 4.26, οι 6 τιμές των εποχών που εμφανίζουν ολίσθηση κύκλων επισημαίνονται με κόκκινο χρώμα. Όλες οι ολισθήσεις εμφανίζονται μετά την χρονική στιγμή 14:02:00, όταν ο δέκτης ξαναβρίσκει το σήμα του δορυφόρου μετά από διακοπή περίπου 6 ωρών.



Γράφημα 4.26: Χρονικές διαφορές του Ionospheric Residual για τον E19 του δέκτη TT3100

Ανάπτυξη λογισμικού για την αξιολόγηση της ποιότητας γεωδαιτικών μετρήσεων GNSS

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι στον Πίνακα 4.21, ο οποίος περιλαμβάνει 100 εποχές κοντά στις χρονικές στιγμές εμφάνισης της ολίσθησης κύκλων, παρατηρείται πως, με εξαίρεση την πρώτη αυξημένη τιμή που προκύπτει μετά από διακοπή στη λήψη του σήματος και συνεπώς δεν ερμηνεύεται ως ολίσθηση κύκλων και απεικονίζεται με γαλάζιο χρώμα, οι υπόλοιπες τιμές εμφανίζονται σε διαδοχικές εποχές, χωρίς να προηγηθεί εμφανής διακοπή λήψης και απεικονίζονται με κόκκινο χρώμα. Ωστόσο, δεδομένου ότι ο δέκτης καταγράφει δεδομένα σε διαστήματα 30 δευτερολέπτων, είναι πιθανό η απώλεια του σήματος να έχει συμβεί εντός αυτού του χρονικού διαστήματος, γεγονός που θα μπορούσε να εξηγήσει την έλλειψη εμφανών διακοπών λήψης στα δεδομένα, παρά την εμφάνιση ολίσθησης κύκλων.

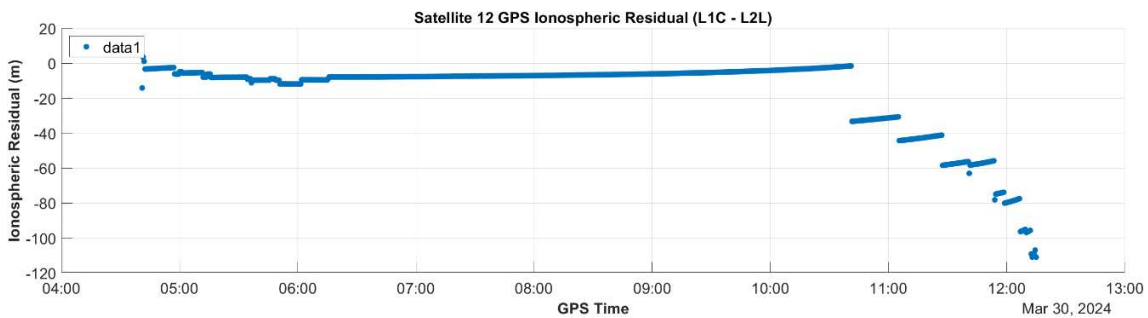
| rowTimes | lonRes (L1B - L7I) | dlonRes (L1B - L7I) | Cycle Slips (L1B - L7I) | rowTimes | lonRes (L1B - L7I) | dlonRes (L1B - L7I) | Cycle Slips (L1B - L7I) |
|----------|--------------------|---------------------|-------------------------|----------|--------------------|---------------------|-------------------------|
| 8:00:00 | 11,99804442 | 0,10119332 | FALSE | 17:01:00 | -20,60990421 | 0,011040729 | FALSE |
| 8:00:30 | 12,10169543 | 0,103651013 | FALSE | 17:01:30 | -20,61033691 | 0,0004327 | FALSE |
| 8:01:00 | 12,19100992 | 0,089314491 | FALSE | 17:02:00 | -20,6120759 | 0,001738988 | FALSE |
| 8:01:30 | 12,30533029 | 0,114320368 | FALSE | 17:02:30 | -20,61785946 | 0,005783562 | FALSE |
| 8:02:00 | 12,41899593 | 0,113665637 | FALSE | 17:03:00 | -20,61999201 | 0,002132546 | FALSE |
| 8:02:30 | 12,53549985 | 0,11650392 | FALSE | 17:03:30 | -20,62767213 | 0,007680126 | FALSE |
| 8:03:00 | 12,64323736 | 0,107737511 | FALSE | 17:04:00 | -20,63299781 | 0,005325675 | FALSE |
| 8:03:30 | 12,75385509 | 0,110617727 | FALSE | 17:04:30 | -20,63708822 | 0,004090417 | FALSE |
| 8:04:00 | 12,85818346 | 0,104328372 | FALSE | 17:05:00 | -20,64280423 | 0,005716003 | FALSE |
| 8:04:30 | 12,98733709 | 0,129153632 | FALSE | 17:05:30 | -20,63930554 | 0,003498685 | FALSE |
| 8:05:00 | 13,10211871 | 0,114781618 | FALSE | 17:06:00 | -20,66033864 | 0,021033101 | FALSE |
| 8:05:30 | 13,21522641 | 0,1131077 | FALSE | 17:06:30 | -43,8767901 | 23,21645145 | TRUE |
| 8:06:00 | 13,33068213 | 0,115455724 | FALSE | 17:07:00 | -43,88691847 | 0,010128371 | FALSE |
| 8:06:30 | 13,46750237 | 0,136820238 | FALSE | 17:07:30 | -43,8834812 | 0,003437266 | FALSE |
| 8:07:00 | 13,58474494 | 0,117242571 | FALSE | 17:08:00 | -43,89089715 | 0,00741595 | FALSE |
| 8:07:30 | 13,68476755 | 0,10002261 | FALSE | 17:08:30 | -43,89911624 | 0,008219086 | FALSE |
| 8:08:00 | 13,80008462 | 0,115317065 | FALSE | 17:09:00 | -43,91210238 | 0,012986142 | FALSE |
| 8:08:30 | 13,91656281 | 0,11647819 | FALSE | 17:09:30 | -43,53493169 | 0,377170689 | FALSE |
| 8:09:00 | 14,02397786 | 0,107415058 | FALSE | 17:10:00 | -43,5306947 | 0,004236989 | FALSE |
| 8:09:30 | 14,1307769 | 0,106799036 | FALSE | 17:10:30 | -43,554518 | 0,023823302 | FALSE |
| 8:10:00 | 14,24235586 | 0,11157896 | FALSE | 17:11:00 | -43,55233561 | 0,002182398 | FALSE |
| 14:02:00 | -10,7914762 | 25,03383206 | TRUE | 17:11:30 | -43,56046135 | 0,008125748 | FALSE |
| 14:02:30 | -8,880210664 | 1,911265537 | TRUE | 17:12:00 | -43,5699192 | 0,009457842 | FALSE |
| 14:03:00 | -8,954572532 | 0,074361868 | FALSE | 17:12:30 | -43,57348441 | 0,003565215 | FALSE |
| 14:03:30 | -9,040758427 | 0,086185895 | FALSE | 17:13:00 | -43,57648845 | 0,003004037 | FALSE |
| 14:04:00 | -9,118023124 | 0,077264696 | FALSE | 17:13:30 | -43,58741067 | 0,010922227 | FALSE |
| 14:04:30 | -9,205147624 | 0,0871245 | FALSE | 17:14:00 | -43,58267079 | 0,004739884 | FALSE |
| 14:05:00 | -12,50090407 | 3,295756444 | TRUE | 17:14:30 | -43,59091284 | 0,008242048 | FALSE |
| 14:05:30 | -12,57685934 | 0,075955268 | FALSE | 17:15:00 | -43,58911774 | 0,001795102 | FALSE |
| 14:06:00 | -12,65142128 | 0,074561946 | FALSE | 17:15:30 | -43,41648409 | 0,172633648 | FALSE |
| 14:06:30 | -12,71277235 | 0,061351068 | FALSE | 17:16:00 | -43,41077029 | 0,005713802 | FALSE |
| 14:07:00 | -12,786757 | 0,073984649 | FALSE | 17:16:30 | -42,47355608 | 0,937214207 | TRUE |
| 14:07:30 | -12,85280095 | 0,066043947 | FALSE | 17:17:00 | -42,47018391 | 0,003372166 | FALSE |
| 14:08:00 | -12,92133808 | 0,068537135 | FALSE | 17:17:30 | -42,46977261 | 0,000411298 | FALSE |
| 14:08:30 | -12,98252474 | 0,06118666 | FALSE | 17:18:00 | -42,48197879 | 0,012206171 | FALSE |
| 14:09:00 | -13,0544356 | 0,071910854 | FALSE | 17:18:30 | -42,48454129 | 0,002562504 | FALSE |
| 14:09:30 | -13,10949096 | 0,055055369 | FALSE | 17:19:00 | -42,48121761 | 0,003323678 | FALSE |
| 14:10:00 | -13,1785152 | 0,069024231 | FALSE | 17:19:30 | -42,49302394 | 0,011806328 | FALSE |
| 14:10:30 | -13,2297099 | 0,051194705 | FALSE | 17:20:00 | -42,49739593 | 0,004371986 | FALSE |
| 14:11:00 | -13,29096117 | 0,061251268 | FALSE | 17:20:30 | -42,50361928 | 0,006223351 | FALSE |
| 14:11:30 | -13,35319294 | 0,062231775 | FALSE | 17:21:00 | -42,51289381 | 0,009274531 | FALSE |
| 14:12:00 | -13,39632443 | 0,043131486 | FALSE | 17:21:30 | -42,5128343 | 5,95078E-05 | FALSE |
| 14:12:30 | -13,4643457 | 0,068021268 | FALSE | 17:22:00 | -42,52127998 | 0,00844568 | FALSE |
| 14:13:00 | -13,5157566 | 0,051410902 | FALSE | 17:22:30 | -42,51481182 | 0,006468158 | FALSE |
| 14:13:30 | -13,55905263 | 0,043296035 | FALSE | 17:23:00 | -42,52244478 | 0,007632956 | FALSE |
| 14:14:00 | -13,62003311 | 0,060980473 | FALSE | 17:23:30 | -41,96929198 | 0,553152796 | TRUE |
| 14:14:30 | -13,66903799 | 0,049004886 | FALSE | 17:24:00 | -41,96224335 | 0,007048629 | FALSE |
| 14:15:00 | -13,72799301 | 0,058955014 | FALSE | 17:24:30 | -41,96714777 | 0,004904415 | FALSE |
| 14:15:30 | -13,78400333 | 0,056010325 | FALSE | 17:25:00 | -41,78795114 | 0,179196626 | FALSE |
| 14:16:00 | -13,8285767 | 0,044573367 | FALSE | 17:25:30 | -41,78078325 | 0,007167887 | FALSE |

Πίνακας 4.21: Δεδομένα μεθόδου Ionospheric Residual για τον G12 του δέκτη TT3100

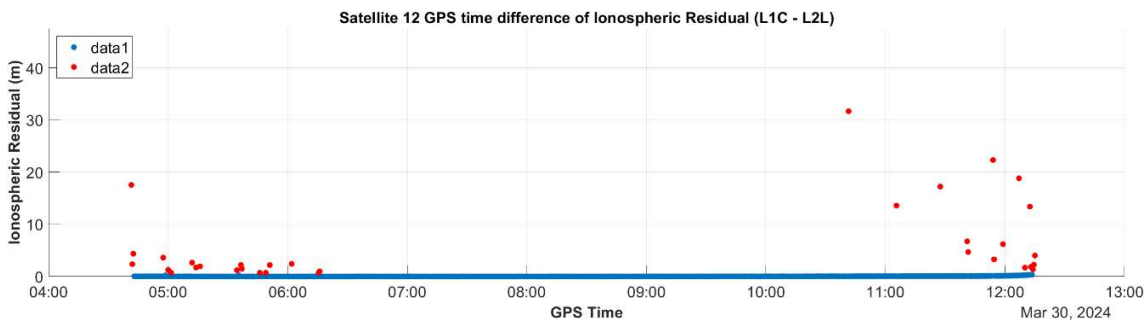
Ανάλυση δεδομένων δέκτη χαμηλού κόστους

Τελευταίος δέκτης προς ανάλυση είναι ο χαμηλού κόστους TM0600. Κατά την χρονική διάρκεια που ο δέκτης ήταν ενεργός, για το σύστημα GPS, καταγράφηκαν δεδομένα για 30 δορυφόρους εκ των οποίων οι 24 έχουν δεδομένα και στις δυο συχνότητες L1C – L2L. Παρακάτω θα αναλυθούν τα δεδομένα που έχει καταγράψει ο δέκτης για τον δορυφόρο G12.

Ο δέκτης κατέγραψε δεδομένα για τον συγκεκριμένο δορυφόρο από τις 04:41 έως τις 12:15. Αν και σε αυτό το χρονικό διάστημα δεν παρατηρείται εμφανής διακοπή στη λήψη του σήματος, υπάρχει σημαντική μετατόπιση στις μετρήσεις προς το τέλος της περιόδου καταγραφής, όπως φαίνεται στο Γράφημα 4.27. Επιπλέον, καταγράφονται 33 ολισθήσεις κύκλων, όπως απεικονίζεται στο Γράφημα 4.28. Οι ολισθήσεις παρατηρούνται κυρίως κατά την πρώτη και την τελευταία ώρα λήψης δεδομένων. Αυτό πιθανώς οφείλεται στο γεγονός ότι κατά τις συγκεκριμένες χρονικές στιγμές ο δορυφόρος βρίσκεται σε πολύ χαμηλή γωνία ανύψωσης.



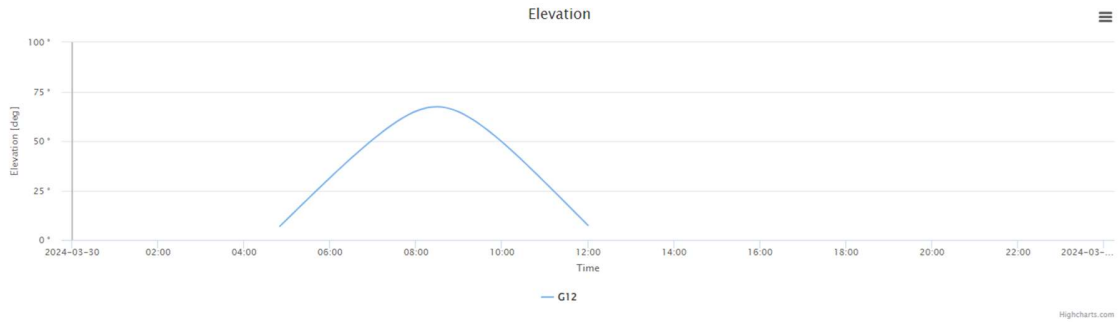
Γράφημα 4.28: Ionospheric Residual σε L1C – L2L για τον G12 του δέκτη TM0600



Γράφημα 4.27: Χρονικές διαφορές του Ionospheric Residual για τον G12 του δέκτη TM0600

Ανάπτυξη λογισμικού για την αξιολόγηση της ποιότητας γεωδαιτικών μετρήσεων GNSS

Όπως φαίνεται και στο Γράφημα 4.29, όπου απεικονίζεται η γωνία ανύψωσης του δορυφόρου, από τις 05:00 έως τις 06:00 η γωνία κυμαίνεται μεταξύ 6 και 31 μοιρών, ενώ από τις 11:00 έως τις 12:00 μειώνεται στις 29 έως 7 μοίρες, πριν το σήμα χαθεί εντελώς.

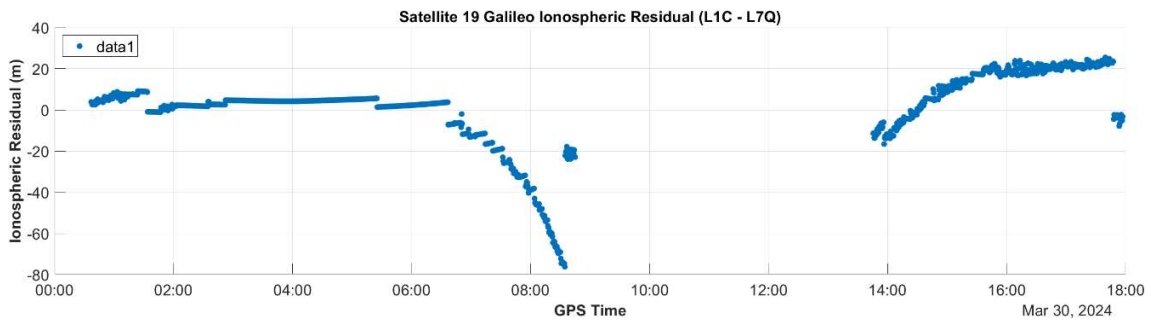


Γράφημα 4.29: Γωνία ανύψωσης δορυφόρου G12 (Trimble Gns Planning)

Επιπλέον, όπως και στην ανάλυση του δορυφόρου E19 με τον δέκτη TT3100, οι ολισθήσεις κύκλων εμφανίζονται σε συνεχόμενες εποχές χωρίς να υπάρχει εμφανής διακοπή στη λήψη του σήματος. Στον Πίνακα 4.22 απεικονίζονται αποσπασματικά 200 εποχές, οι οποίες καλύπτουν την πρώτη και την τελευταία ώρα της καταγραφής των δεδομένων.

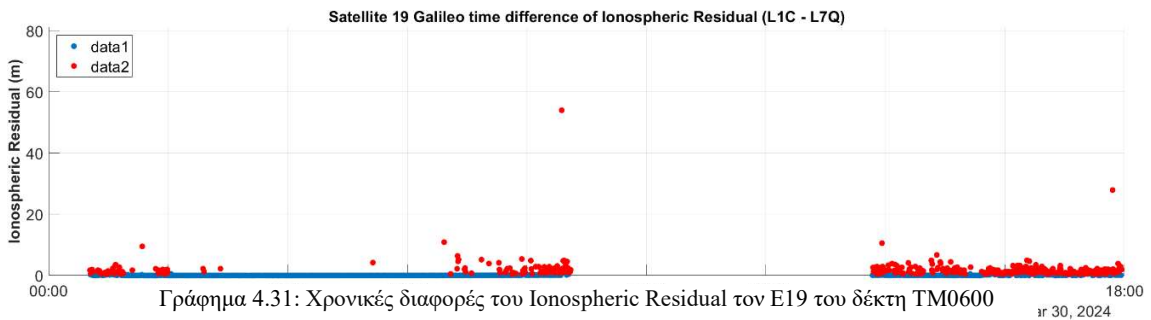
Η ανάλυση της μεθόδου Ionospheric Residual για τους τρεις δέκτες θα ολοκληρωθεί με την εξέταση των δεδομένων του συστήματος Galileo. Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του, ο δέκτης κατέγραψε δεδομένα από 35 δορυφόρους, εκ των οποίων οι 23 περιλαμβάνουν μετρήσεις και στις δύο συχνότητες, L1C και L7Q. Στη συνέχεια, θα αναλυθούν τα δεδομένα του δορυφόρου E19, καθώς είναι ο δορυφόρος που παρουσίασε τις περισσότερες ολισθήσεις κύκλων. Συγκεκριμένα, στα δεδομένα του παρατηρούνται 392 ολισθήσεις κύκλων.

Έχουν καταγραφεί δεδομένα ανάμεσα στις ώρες 00:40 και 18:00, με μία διακοπή του σήματος του δορυφόρου διάρκειας 4 ωρών μετά τις 08:45 (Γράφημα 4.30).



Γράφημα 4.30: Ionospheric Residual σε L1C – L7Q για τον E19 του δέκτη TM0600

Όπως φαίνεται και στο Γράφημα 4.31, οι ολισθήσεις εμφανίζονται κυρίως κατά τα χρονικά διαστήματα 00:40 – 02:00, 07:00 – 08:45 και από τις 13:45 μέχρι τις 18:00 όπου χάνεται το σήμα του δορυφόρου.



Γράφημα 4.31: Χρονικές διαφορές του Ionospheric Residual τον E19 του δέκτη TM0600

4.2.2.4 Μέθοδος Διαφορών

Για τη μέθοδο των διαφορών, ο σταθμός αναφοράς του ΠΑ.Δ.Α. θα χρησιμοποιηθεί ως σημείο αναφοράς, με σκοπό τη σύγκριση των δύο χαμηλού κόστους δεκτών. Η ανάλυση θα ξεκινήσει με τους δορυφόρους του συστήματος GPS G12 και G18, συγκρίνοντας τα δεδομένα του σταθμού αναφοράς του ΠΑ.Δ.Α. με αυτά του δέκτη TT3100, χρησιμοποιώντας το σήμα L1C. Στα δεδομένα που προκύπτουν από τη σύγκριση των δύο δεκτών, δεν παρατηρείται ολίσθηση κύκλων (Πίνακας 4.24).

| rowTimes | G12 L1C UNIWA | Δ | G12 L1C TT3100 | G18 L1C UNIWA | Δ | G18 L1C TT3100 | Απλές Διαφορές | Διπλές Διαφορές | Τριπλές Διαφορές |
|----------|---------------|---------|----------------|---------------|-----------|----------------|----------------|-----------------|------------------|
| 9:48:30 | 111467132,5 | 1842,97 | 111468975,44 | 130998891,5 | -13627,40 | 130985264,15 | 15470,37 | | |
| 9:49:00 | 111514047,4 | 1800,73 | 111515848,10 | 130885991,3 | -13618,46 | 130872372,87 | 15419,19 | -51,18 | |
| 9:49:30 | 111561253,2 | 1760,32 | 111563013,51 | 130773105,4 | -13607,48 | 130759497,92 | 15367,80 | -51,39 | -0,21 |
| 9:50:00 | 111608749 | 1720,38 | 111610469,36 | 130660235,8 | -13595,60 | 130646640,16 | 15315,98 | -51,82 | -0,43 |
| 9:50:30 | 111656535,2 | 1680,18 | 111658215,37 | 130547385,2 | -13583,66 | 130533801,56 | 15263,84 | -52,15 | -0,33 |
| 9:51:00 | 111704611,6 | 1636,58 | 111706248,15 | 130434555,8 | -13574,77 | 130420981,07 | 15211,35 | -52,48 | -0,34 |
| 9:51:30 | 111752978,4 | 1596,66 | 111754575,11 | 130321750,3 | -13561,81 | 130308188,48 | 15158,48 | -52,88 | -0,39 |
| 9:52:00 | 111801635,7 | 1554,36 | 111803190,02 | 130208970,8 | -13550,99 | 130195419,82 | 15105,35 | -53,13 | -0,25 |
| 9:52:30 | 111850583,3 | 1510,52 | 111852093,85 | 130096219,9 | -13541,17 | 130082678,75 | 15051,69 | -53,66 | -0,53 |
| 9:53:00 | 111899820,6 | 1470,66 | 111901291,27 | 129983499,6 | -13527,15 | 129969972,41 | 14997,82 | -53,87 | -0,21 |
| 9:53:30 | 111949348,2 | 1428,77 | 111950776,97 | 129870812,5 | -13514,75 | 129857297,79 | 14943,53 | -54,29 | -0,42 |
| 9:54:00 | 111999166,2 | 1385,32 | 112000551,48 | 129758161,7 | -13503,61 | 129744658,13 | 14888,92 | -54,61 | -0,32 |
| 9:54:30 | 112049274,2 | 1344,97 | 112050619,22 | 129645549,1 | -13489,01 | 129632060,10 | 14833,98 | -54,94 | -0,34 |
| 9:55:00 | 112099672,6 | 1300,45 | 112100973,05 | 129532977,3 | -13478,19 | 129519499,15 | 14778,64 | -55,33 | -0,39 |
| 9:55:30 | 112150361,1 | 1257,64 | 112151618,76 | 129420448,7 | -13465,33 | 129406983,36 | 14722,98 | -55,67 | -0,33 |
| 9:56:00 | 112201340 | 1213,57 | 112202553,59 | 129307966,2 | -13453,38 | 129294512,84 | 14666,95 | -56,03 | -0,36 |
| 9:56:30 | 112252608,8 | 1168,30 | 112253777,09 | 129195531,9 | -13442,29 | 129182089,61 | 14610,59 | -56,36 | -0,33 |
| 9:57:00 | 112304166,9 | 1125,66 | 112305292,60 | 129083147,6 | -13428,23 | 129069719,33 | 14553,90 | -56,70 | -0,34 |
| 9:57:30 | 112356015,3 | 1082,09 | 112357097,39 | 128970816,4 | -13414,80 | 128957401,65 | 14496,89 | -57,01 | -0,31 |
| 9:58:00 | 112408153,6 | 1034,11 | 112409187,68 | 128858541,1 | -13405,39 | 128845135,68 | 14439,51 | -57,38 | -0,37 |
| 9:58:30 | 112460581,1 | 993,73 | 112461574,88 | 128746323,2 | -13388,14 | 128732935,09 | 14381,87 | -57,64 | -0,26 |
| 9:59:00 | 112513298,3 | 948,35 | 112514246,65 | 128634165,6 | -13375,44 | 128620790,21 | 14323,78 | -58,08 | -0,44 |
| 9:59:30 | 112566305,1 | 901,29 | 112567206,42 | 128522071 | -13364,13 | 128508706,92 | 14265,42 | -58,37 | -0,28 |
| 10:00:00 | 112619601,8 | 861,77 | 112620463,53 | 128410041,9 | -13344,95 | 128396696,98 | 14206,71 | -58,71 | -0,34 |
| 10:00:30 | 112673187,2 | 820,94 | 112674008,11 | 128298080 | -13326,79 | 128284753,19 | 14147,73 | -58,98 | -0,27 |
| 10:01:00 | 112727061,5 | 783,20 | 112727844,66 | 128186187,9 | -13305,17 | 128172882,68 | 14088,37 | -59,36 | -0,38 |
| 10:01:30 | 112781224,8 | 738,25 | 112781963,00 | 128074368,3 | -13290,39 | 128061077,87 | 14028,64 | -59,73 | -0,37 |
| 10:02:00 | 112835677,5 | 694,91 | 112836372,42 | 127962624,2 | -13273,71 | 127949350,48 | 13968,63 | -60,01 | -0,28 |
| 10:02:30 | 112890419,3 | 656,32 | 112891075,66 | 127850957,9 | -13251,98 | 127837705,91 | 13908,29 | -60,33 | -0,32 |
| 10:03:00 | 112945451,6 | 603,72 | 112946055,28 | 127739373,3 | -13243,94 | 127726129,36 | 13847,65 | -60,64 | -0,31 |
| 10:03:30 | 113000771,9 | 558,59 | 113001330,46 | 127627870,4 | -13228,07 | 127614642,29 | 13786,66 | -60,99 | -0,35 |
| 10:04:00 | 113056380,5 | 512,75 | 113056893,21 | 127516452,5 | -13212,57 | 127503239,97 | 13725,32 | -61,34 | -0,34 |
| 10:04:30 | 113112277,6 | 472,73 | 113112750,35 | 127405122,3 | -13190,98 | 127391931,30 | 13663,71 | -61,61 | -0,28 |
| 10:05:00 | 113168462,6 | 425,90 | 113168888,52 | 127293881,5 | -13175,87 | 127280705,60 | 13601,77 | -61,94 | -0,33 |
| 10:05:30 | 113224936,5 | 374,81 | 113225311,29 | 127182733,4 | -13164,67 | 127169568,76 | 13539,48 | -62,29 | -0,35 |
| 10:06:00 | 113281698,6 | 327,52 | 113282026,16 | 127071680,7 | -13149,38 | 127058531,29 | 13476,89 | -62,59 | -0,30 |
| 10:06:30 | 113338748 | 287,52 | 113339035,56 | 126960724,7 | -13126,44 | 126947598,27 | 13413,97 | -62,92 | -0,33 |
| 10:07:00 | 113396085,4 | 247,00 | 113396332,35 | 126849868,8 | -13103,74 | 126836765,04 | 13350,74 | -63,23 | -0,31 |
| 10:07:30 | 113453710,6 | 201,20 | 113453911,79 | 126739115,1 | -13086,04 | 126726029,04 | 13287,24 | -63,50 | -0,27 |
| 10:08:00 | 113511623,3 | 147,60 | 113511770,93 | 126628466,2 | -13075,82 | 126615390,39 | 13223,41 | -63,83 | -0,33 |

Πίνακας 4.24: Διαφορές ανάμεσα σε G12-G18 του δέκτη του ΠΑ.Δ.Α και του TT3100 για το σήμα L1C

Ανάπτυξη λογισμικού για την αξιολόγηση της ποιότητας γεωδαιτικών μετρήσεων GNSS

Παρόμοια παρατήρηση γίνεται και στα δεδομένα που έχουν καταγραφεί για τα σήματα L2L. Δεν παρατηρούνται αυξημένες τιμές που θα μπορούσαν να υποδηλώνουν την ύπαρξη ολίσθησης κύκλων.

| rowTimes | G12 L2L UNIWA | Δ | G12 L2C TT3100 | G18 L2L UNIWA | Δ | G18 L2C TT3100 | Απλές Διαφορές | Διπλές Διαφορές | Τριπλές Διαφορές |
|----------|---------------|---------|----------------|---------------|-----------|----------------|----------------|-----------------|------------------|
| 9:48:30 | 86857484,63 | 1432,62 | 86858917,25 | 102077069,2 | -10610,31 | 102066458,92 | -12042,93 | | |
| 9:49:00 | 86894041,6 | 1399,71 | 86895441,31 | 101989095,7 | -10603,39 | 101978492,27 | -12003,09 | 39,84 | |
| 9:49:30 | 86930825,28 | 1368,18 | 86932193,46 | 101901133,2 | -10594,83 | 101890538,39 | -11963,01 | 40,08 | 0,25 |
| 9:50:00 | 86967834,9 | 1337,04 | 86969171,94 | 101813183,4 | -10585,59 | 101802597,82 | -11922,64 | 40,37 | 0,29 |
| 9:50:30 | 87005070,79 | 1305,73 | 87006376,53 | 101725248,5 | -10576,31 | 101714672,18 | -11882,05 | 40,59 | 0,22 |
| 9:51:00 | 87042532,81 | 1271,76 | 87043804,57 | 101637330,1 | -10569,31 | 101626760,75 | -11841,07 | 40,97 | 0,38 |
| 9:51:30 | 87080221,2 | 1240,66 | 87081461,85 | 101549430,2 | -10559,23 | 101538870,99 | -11799,88 | 41,19 | 0,22 |
| 9:52:00 | 87118135,84 | 1207,66 | 87119343,50 | 101461550,7 | -10550,76 | 101450999,95 | -11758,43 | 41,46 | 0,27 |
| 9:52:30 | 87156276,78 | 1173,52 | 87157450,29 | 101373693,5 | -10543,16 | 101363150,29 | -11716,68 | 41,75 | 0,29 |
| 9:53:00 | 87194643,41 | 1142,47 | 87195785,88 | 101285860 | -10532,22 | 101275327,79 | -11674,69 | 41,99 | 0,25 |
| 9:53:30 | 87233236,25 | 1109,84 | 87234346,09 | 101198052,5 | -10522,53 | 101187530,00 | -11632,38 | 42,31 | 0,32 |
| 9:54:00 | 87272055,37 | 1075,98 | 87273131,36 | 101110273,3 | -10513,89 | 101099759,41 | -11589,88 | 42,50 | 0,19 |
| 9:54:30 | 87311100,56 | 1044,54 | 87312145,10 | 101022523,8 | -10502,55 | 101012021,24 | -11547,10 | 42,78 | 0,27 |
| 9:55:00 | 87350371,94 | 1009,84 | 87351381,78 | 100934806,1 | -10494,10 | 100924312,04 | -11503,95 | 43,15 | 0,38 |
| 9:55:30 | 87389869,4 | 976,48 | 87390845,88 | 100847122,1 | -10484,16 | 100836637,92 | -11460,64 | 43,30 | 0,15 |
| 9:56:00 | 87429593,14 | 942,16 | 87430535,30 | 100759474 | -10474,80 | 100748999,16 | -11416,96 | 43,69 | 0,39 |
| 9:56:30 | 87469542,75 | 906,91 | 87470449,66 | 100671863,3 | -10466,15 | 100661397,18 | -11373,05 | 43,90 | 0,22 |
| 9:57:00 | 87509717,85 | 873,68 | 87510591,53 | 100584291,6 | -10455,13 | 100573836,51 | -11328,81 | 44,24 | 0,34 |
| 9:57:30 | 87550119,1 | 839,72 | 87550958,82 | 100496761,4 | -10444,67 | 100486316,74 | -11284,39 | 44,42 | 0,18 |
| 9:58:00 | 87590746,24 | 802,35 | 87591548,59 | 100409274,6 | -10437,34 | 100398837,29 | -11239,70 | 44,70 | 0,28 |
| 9:58:30 | 87631598,84 | 770,87 | 87632369,70 | 100321832,7 | -10423,85 | 100311408,84 | -11194,72 | 44,98 | 0,28 |
| 9:59:00 | 87672677,06 | 735,50 | 87673412,56 | 100234437,7 | -10414,01 | 100224023,70 | -11149,51 | 45,21 | 0,23 |
| 9:59:30 | 87713980,99 | 698,82 | 87714679,81 | 100147091,8 | -10405,21 | 100136686,60 | -11104,03 | 45,48 | 0,27 |
| 10:00:00 | 87755510,73 | 668,02 | 87756178,75 | 100059796,9 | -10390,28 | 100049406,65 | -11058,30 | 45,73 | 0,25 |
| 10:00:30 | 87797265,51 | 636,19 | 87797901,70 | 99972554,34 | -10376,12 | 99962178,22 | -11012,31 | 46,00 | 0,27 |
| 10:01:00 | 87839245,4 | 606,77 | 87839852,17 | 99885366,22 | -10359,34 | 99875006,88 | -10966,11 | 46,20 | 0,20 |
| 10:01:30 | 87881450,46 | 571,73 | 87882022,19 | 99798234,58 | -10347,78 | 99787886,80 | -10919,51 | 46,60 | 0,40 |
| 10:02:00 | 87923881,06 | 537,97 | 87924419,03 | 99711161,79 | -10334,79 | 99700827,00 | -10872,76 | 46,75 | 0,15 |
| 10:02:30 | 87966536,95 | 507,88 | 87967044,88 | 99624149,58 | -10317,82 | 99613831,76 | -10825,70 | 47,06 | 0,32 |
| 10:03:00 | 88009419,11 | 466,89 | 88009886,00 | 99537201,06 | -10311,53 | 99526889,53 | -10778,42 | 47,28 | 0,22 |
| 10:03:30 | 88052525,72 | 431,77 | 88052957,49 | 99450316,22 | -10299,17 | 99440017,05 | -10730,94 | 47,48 | 0,20 |
| 10:04:00 | 88095856,98 | 396,03 | 88096253,01 | 99363497,7 | -10287,15 | 99353210,55 | -10683,19 | 47,75 | 0,27 |
| 10:04:30 | 88139413,09 | 364,88 | 88139777,97 | 99276747,4 | -10270,30 | 99266477,10 | -10635,18 | 48,01 | 0,26 |
| 10:05:00 | 88183193,5 | 328,39 | 88183521,90 | 99190066,79 | -10258,55 | 99179808,24 | -10586,95 | 48,23 | 0,22 |
| 10:05:30 | 88227199 | 288,61 | 88227487,61 | 99103458,49 | -10249,79 | 99093208,70 | -10538,40 | 48,55 | 0,32 |
| 10:06:00 | 88271429,15 | 251,75 | 88271680,89 | 99016924,41 | -10237,93 | 99006686,48 | -10489,68 | 48,72 | 0,17 |
| 10:06:30 | 88315883,13 | 220,56 | 88316103,68 | 98930465,75 | -10220,05 | 98920245,71 | -10440,60 | 49,07 | 0,35 |
| 10:07:00 | 88360561,43 | 188,99 | 88360750,43 | 98844085,05 | -10202,37 | 98833882,68 | -10391,36 | 49,24 | 0,17 |
| 10:07:30 | 88405464,11 | 153,31 | 88405617,42 | 98757783,99 | -10188,54 | 98747595,45 | -10341,85 | 49,51 | 0,27 |
| 10:08:00 | 88450590,81 | 111,52 | 88450702,33 | 98671564,59 | -10180,52 | 98661384,07 | -10292,04 | 49,81 | 0,30 |

Πίνακας 4.25: Διαφορές ανάμεσα σε G12-G18 του δέκτη του ΠΑ.Δ.Α και του TT3100 για το σήμα L2

Ανάπτυξη λογισμικού για την αξιολόγηση της ποιότητας γεωδαιτικών μετρήσεων GNSS

Η ανάλυση συνεχίζεται με το σύστημα Galileo και τους δορυφόρους E04 και E19. Η αρχική σύγκριση πραγματοποιείται στο σήμα L1. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.26, όπου απεικονίζονται 50 εποχές από τη σύγκριση των δορυφόρων, με κόκκινο χρώμα έχουν μαρκαριστεί οι εποχές στις οποίες οι τιμές των τριπλών διαφορών ξεπερνούν τη μονάδα, υποδεικνύοντας την παρουσία ολίσθησης κύκλων. Επιπλέον, δεν παρατηρείται εμφανής διακοπή του σήματος.

| rowTimes | E04 | L1C UNIWA | Δ | E04 L1B TT3100 | E19 L1C UNIWA | Δ | E19 L1B TT3100 | Απλές Διαφορές | Διπλές Διαφορές | Τριπλές Διαφορές |
|----------|-------------|-----------|-------------|----------------|---------------|-------------|----------------|----------------|-----------------|------------------|
| 17:01:00 | 129191956,9 | 1369,69 | 129190587,2 | 143559109,1 | -10820,38 | 143569929,5 | 12190,07 | 26,09 | | -0,19 |
| 17:01:30 | 129168674,8 | 1323,33 | 129167351,5 | 143618596 | -10840,54 | 143629436,5 | 12163,88 | 26,19 | | -0,11 |
| 17:02:00 | 129145806,2 | 1280,78 | 129144525,4 | 143678384,3 | -10856,72 | 143689241,1 | 12137,51 | 26,37 | | -0,17 |
| 17:02:30 | 129123353 | 1229,49 | 129122123,6 | 143738473,8 | -10881,43 | 143749355,3 | 12110,92 | 26,59 | | -0,22 |
| 17:03:00 | 129101314,2 | 1179,87 | 129100134,4 | 143798861,5 | -10904,32 | 143809765,8 | 12084,19 | 26,72 | | -0,13 |
| 17:03:30 | 129079692,4 | 1131,36 | 129078561 | 143859547,6 | -10925,91 | 143870473,5 | 12057,27 | 26,93 | | -0,21 |
| 17:04:00 | 129058486,7 | 1076,64 | 129057410,1 | 143920529,5 | -10953,55 | 143931483,1 | 12030,20 | 27,07 | | -0,14 |
| 17:04:30 | 129037698 | 1030,22 | 129036667,8 | 143981805,5 | -10972,77 | 143992778,2 | 12002,99 | 27,21 | | -0,14 |
| 17:05:00 | 129017327,3 | 1004,92 | 129016322,4 | 144043375 | -10970,64 | 144054345,6 | 11975,56 | 27,43 | | -0,22 |
| 17:05:30 | 128997375,6 | 964,78 | 128996410,8 | 144105236,4 | -10983,20 | 144116219,6 | 11947,97 | 27,59 | | -0,16 |
| 17:06:00 | 128977842,5 | 919,13 | 128976923,4 | 144167387,4 | -11001,05 | 144178388,4 | 11920,17 | 27,80 | | -0,21 |
| 17:06:30 | 128958729,1 | 863,82 | 128957865,3 | 144229827,1 | -10906,47 | 144240733,6 | 11770,29 | 149,88 | | -122,08 |
| 17:07:00 | 128940035,4 | 819,07 | 128939216,3 | 144292553,4 | -10923,13 | 144303476,5 | 11742,21 | 28,09 | | 121,79 |
| 17:07:30 | 128921761,5 | 772,26 | 128920989,3 | 144355564,4 | -10941,74 | 144366506,1 | 11713,99 | 28,21 | | -0,13 |
| 17:08:00 | 128903909,6 | 725,21 | 128903184,4 | 144418860 | -10960,34 | 144429820,3 | 11685,55 | 28,44 | | -0,22 |
| 17:08:30 | 128886479 | 669,18 | 128885809,9 | 144482437,8 | -10987,80 | 144493425,6 | 11656,98 | 28,58 | | -0,14 |
| 17:09:00 | 128869470,1 | 627,08 | 128868843 | 144546295,8 | -11001,16 | 144557297 | 11628,23 | 28,74 | | -0,16 |
| 17:09:30 | 128852883,2 | 578,41 | 128852304,8 | 144610432,6 | -11023,00 | 144621455,6 | 11601,41 | 26,82 | | 1,92 |
| 17:10:00 | 128836719,8 | 532,06 | 128836187,7 | 144674847,7 | -11040,24 | 144685887,9 | 11572,30 | 29,11 | | -2,29 |
| 17:10:30 | 128820979,6 | 501,78 | 128820477,8 | 144739538,6 | -11041,28 | 144750579,8 | 11543,06 | 29,25 | | -0,13 |
| 17:11:00 | 128805662,3 | 454,42 | 128805207,9 | 144804503 | -11059,26 | 144815562,2 | 11513,68 | 29,37 | | -0,12 |
| 17:11:30 | 128790768,8 | 410,98 | 128790357,8 | 144869739,9 | -11073,15 | 144880813 | 11484,14 | 29,55 | | -0,18 |
| 17:12:00 | 128776299,5 | 357,79 | 128775941,7 | 144935247,7 | -11096,66 | 144946344,4 | 11454,44 | 29,69 | | -0,15 |
| 17:12:30 | 128762254,3 | 310,48 | 128761943,8 | 145001024,5 | -11114,15 | 145012138,7 | 11424,63 | 29,82 | | -0,12 |
| 17:13:00 | 128748633,3 | 265,70 | 128748367,6 | 145067068,2 | -11128,91 | 145078197,1 | 11394,61 | 30,02 | | -0,20 |
| 17:13:30 | 128735436,7 | 211,99 | 128735224,7 | 145133377,3 | -11152,39 | 145144529,7 | 11364,38 | 30,23 | | -0,21 |
| 17:14:00 | 128722665,4 | 168,75 | 128722496,7 | 145199950,6 | -11165,35 | 145211115,9 | 11334,10 | 30,28 | | -0,05 |
| 17:14:30 | 128710320,5 | 119,94 | 128710200,5 | 145266787,1 | -11183,70 | 145277970,8 | 11303,64 | 30,46 | | -0,18 |
| 17:15:00 | 128698401,1 | 62,77 | 128698338,3 | 145333884,3 | -11210,24 | 145345094,5 | 11273,01 | 30,63 | | -0,17 |
| 17:15:30 | 128686908,4 | 16,53 | 128686891,9 | 145401241,4 | -11226,63 | 145412468 | 11243,16 | 29,85 | | 0,78 |
| 17:16:00 | 128675842,6 | -32,87 | 128675875,4 | 145468856,6 | -11245,13 | 145480101,7 | 11212,26 | 30,90 | | -1,05 |
| 17:16:30 | 128665203,3 | -78,59 | 128665281,8 | 145536727,7 | -11264,74 | 145547992,5 | 11186,15 | 26,11 | | 4,79 |
| 17:17:00 | 128654990,2 | -128,22 | 128655118,5 | 145604852,9 | -11283,19 | 145616136 | 11154,97 | 31,18 | | -5,06 |
| 17:17:30 | 128645205,1 | -175,00 | 128645380,1 | 145673231,3 | -11298,61 | 145684529,9 | 11123,61 | 31,36 | | -0,18 |
| 17:18:00 | 128635847 | -224,81 | 128636071,8 | 145741860,8 | -11316,88 | 145753177,6 | 11092,07 | 31,54 | | -0,18 |
| 17:18:30 | 128626916,3 | -278,30 | 128627194,6 | 145810739,6 | -11338,75 | 145822078,4 | 11060,44 | 31,63 | | -0,09 |
| 17:19:00 | 128618413,3 | -322,41 | 128618735,7 | 145879866,2 | -11351,11 | 145891217,3 | 11028,71 | 31,73 | | -0,10 |
| 17:19:30 | 128610338,4 | -372,95 | 128610711,4 | 145949239,2 | -11369,73 | 145960609 | 10996,78 | 31,93 | | -0,19 |
| 17:20:00 | 128602691,3 | -426,63 | 128603117,9 | 146018856,4 | -11391,32 | 146030247,7 | 10964,69 | 32,09 | | -0,17 |
| 17:20:30 | 128595471,8 | -467,73 | 128595939,5 | 146088716 | -11400,20 | 146100116,2 | 10932,47 | 32,22 | | -0,12 |
| 17:21:00 | 128588680,9 | -514,78 | 128589195,6 | 146158817,3 | -11414,89 | 146170232,2 | 10900,11 | 32,36 | | -0,14 |
| 17:21:30 | 128582318 | -558,69 | 128582876,7 | 146229157,8 | -11426,32 | 146240584,1 | 10867,62 | 32,48 | | -0,12 |
| 17:22:00 | 128576383,9 | -604,57 | 128576988,5 | 146299736,5 | -11439,57 | 146311176,1 | 10835,00 | 32,62 | | -0,14 |
| 17:22:30 | 128570878 | -656,55 | 128571534,5 | 146370551,2 | -11458,81 | 146382010 | 10802,26 | 32,74 | | -0,12 |
| 17:23:00 | 128565800,4 | -703,80 | 128566504,2 | 146441600,1 | -11473,18 | 146453073,2 | 10769,37 | 32,88 | | -0,14 |
| 17:23:30 | 128561151,6 | -749,41 | 128561901 | 146512882,1 | -11488,72 | 146524370,8 | 10739,31 | 30,07 | | 2,82 |
| 17:24:00 | 128556930,9 | -791,40 | 128557722,3 | 146584394,6 | -11497,61 | 146595892,2 | 10706,20 | 33,11 | | -3,04 |
| 17:24:30 | 128553138,5 | -843,70 | 128553982,2 | 146656136,4 | -11516,57 | 146667652,9 | 10672,87 | 33,33 | | -0,23 |
| 17:25:00 | 128549774,4 | -892,15 | 128550666,5 | 146728105,6 | -11532,56 | 146739638,1 | 10640,41 | 32,46 | | 0,87 |
| 17:25:30 | 128546838,6 | -941,54 | 128547780,1 | 146800300,5 | -11548,42 | 146811849 | 10606,89 | 33,52 | | -1,06 |

Πίνακας 4.26: Διαφορές ανάμεσα σε E04-E19 του δέκτη του ΠΑ.Δ.Α και του TT3100 για το σήμα L1

Στον Πίνακα 4.27 απεικονίζονται οι ίδιες 50 εποχές αλλά στο σήμα L7. Με κόκκινο είναι μαρκαρισμένες οι εποχές που στην L1 εμφανίζουν αυξημένες τιμές, επομένως και ολίσθηση κύκλων. Ωστόσο εδώ παρατηρείται ότι οι τιμές είναι φυσιολογικές πράγμα που σημαίνει ότι η ολίσθηση κύκλων συμβαίνει στο σήμα L1 και δεν επηρεάζει το L7.

Ανάπτυξη λογισμικού για την αξιολόγηση της ποιότητας γεωδαιτικών μετρήσεων GNSS

| rowTimes | E04 L7Q UNIWA | Δ | E04 L7I TT3100 | E19 L7Q UNIWA | Δ | E19 L7I TT3100 | Απλές Διαφορές | Διπλές Διαφορές | Τριπλές Διαφορές |
|----------|---------------|---------|----------------|---------------|----------|----------------|----------------|-----------------|------------------|
| 17:01:00 | 98991370,34 | 1113,69 | 98990256,65 | 109999892,6 | -8318,10 | 110008210,7 | 9431,79 | 19,96 | -0,15 |
| 17:01:30 | 98973530,92 | 1078,17 | 98972452,75 | 110045473,5 | -8333,54 | 110053807 | 9411,71 | 20,07 | -0,11 |
| 17:02:00 | 98956008,25 | 1045,56 | 98954962,7 | 110091285,4 | -8345,89 | 110099631,3 | 9391,45 | 20,26 | -0,19 |
| 17:02:30 | 98938803,97 | 1006,27 | 98937797,7 | 110137328 | -8364,84 | 110145692,8 | 9371,10 | 20,35 | -0,09 |
| 17:03:00 | 98921917,17 | 968,26 | 98920948,91 | 110183599,1 | -8382,38 | 110191981,4 | 9350,63 | 20,47 | -0,12 |
| 17:03:30 | 98905349,85 | 931,09 | 98904418,77 | 110230098,8 | -8398,95 | 110238497,8 | 9330,03 | 20,60 | -0,13 |
| 17:04:00 | 98889101,4 | 889,13 | 98888212,27 | 110276825,2 | -8420,11 | 110285245,4 | 9309,24 | 20,79 | -0,18 |
| 17:04:30 | 98873172,44 | 853,58 | 98872318,86 | 110323777 | -8434,82 | 110332211,8 | 9288,40 | 20,85 | -0,06 |
| 17:05:00 | 98857563,86 | 834,20 | 98856729,66 | 110370953,7 | -8433,19 | 110379386,9 | 9267,39 | 21,01 | -0,16 |
| 17:05:30 | 98842276,23 | 803,44 | 98841472,79 | 110418354 | -8442,79 | 110426796,8 | 9246,23 | 21,16 | -0,15 |
| 17:06:00 | 98827309,36 | 768,46 | 98826540,89 | 110465976,2 | -8456,50 | 110474432,7 | 9224,96 | 21,26 | -0,10 |
| 17:06:30 | 98812664,13 | 726,10 | 98811938,03 | 110513819,6 | -8477,50 | 110522297,1 | 9203,60 | 21,36 | -0,10 |
| 17:07:00 | 98798340,45 | 691,79 | 98797648,66 | 110561882,7 | -8490,28 | 110570372,9 | 9182,07 | 21,53 | -0,17 |
| 17:07:30 | 98784338,43 | 655,92 | 98783682,51 | 110610163,8 | -8504,52 | 110618668,3 | 9160,44 | 21,63 | -0,09 |
| 17:08:00 | 98770659,74 | 619,86 | 98770039,89 | 110658663,1 | -8518,77 | 110667181,9 | 9138,62 | 21,81 | -0,18 |
| 17:08:30 | 98757303,95 | 576,93 | 98756727,02 | 110707378,6 | -8539,80 | 110715918,4 | 9116,73 | 21,89 | -0,08 |
| 17:09:00 | 98744271,2 | 544,68 | 98743726,52 | 110756308,8 | -8550,05 | 110764858,8 | 9094,73 | 22,00 | -0,11 |
| 17:09:30 | 98731561,85 | 507,39 | 98731054,46 | 110805452,6 | -8565,23 | 110814017,8 | 9072,63 | 22,11 | -0,11 |
| 17:10:00 | 98719176,96 | 471,88 | 98718705,08 | 110854809,6 | -8578,43 | 110863388 | 9050,30 | 22,32 | -0,21 |
| 17:10:30 | 98707116,34 | 448,65 | 98706667,69 | 110904378 | -8579,30 | 110912957,3 | 9027,95 | 22,35 | -0,03 |
| 17:11:00 | 98695379,8 | 412,37 | 98694967,43 | 110954155,9 | -8593,03 | 110962749 | 9005,40 | 22,56 | -0,20 |
| 17:11:30 | 98683967,95 | 379,10 | 98683588,85 | 111004142,7 | -8603,66 | 111012746,3 | 8982,76 | 22,64 | -0,09 |
| 17:12:00 | 98672881,11 | 338,34 | 98672542,78 | 111054337 | -8621,68 | 111062958,7 | 8960,01 | 22,74 | -0,10 |
| 17:12:30 | 98662119,27 | 302,06 | 98661817,2 | 111104737,5 | -8635,06 | 111113372,6 | 8937,12 | 22,89 | -0,15 |
| 17:13:00 | 98651682,44 | 267,74 | 98651414,7 | 111155342,4 | -8646,39 | 111163988,8 | 8914,13 | 22,99 | -0,10 |
| 17:13:30 | 98641570,86 | 226,61 | 98641344,24 | 111206150,7 | -8664,40 | 111214815,1 | 8891,02 | 23,11 | -0,12 |
| 17:14:00 | 98631785,11 | 193,47 | 98631591,64 | 111257161,4 | -8674,30 | 111265835,7 | 8867,78 | 23,24 | -0,12 |
| 17:14:30 | 98622326,04 | 156,07 | 98622169,97 | 111308373,8 | -8688,37 | 111317062,1 | 8844,44 | 23,34 | -0,10 |
| 17:15:00 | 98613193,04 | 112,25 | 98613080,79 | 111359785,9 | -8708,68 | 111368494,6 | 8820,93 | 23,50 | -0,16 |
| 17:15:30 | 98604387,07 | 76,84 | 98604310,23 | 111411397,3 | -8720,52 | 111420117,8 | 8797,36 | 23,58 | -0,07 |
| 17:16:00 | 98595908,09 | 38,99 | 98595869,1 | 111463206,3 | -8734,66 | 111471941 | 8773,65 | 23,71 | -0,13 |
| 17:16:30 | 98587755,95 | 3,94 | 98587752,01 | 111515211,5 | -8745,91 | 111523957,4 | 8749,85 | 23,80 | -0,09 |
| 17:17:00 | 98579930,46 | -34,09 | 98579964,55 | 111567411,3 | -8760,02 | 111576171,3 | 8725,93 | 23,92 | -0,12 |
| 17:17:30 | 98572432,79 | -69,93 | 98572502,72 | 111619805,2 | -8771,81 | 111628577 | 8701,88 | 24,05 | -0,13 |
| 17:18:00 | 98565262,39 | -108,08 | 98565370,47 | 111672391,4 | -8785,84 | 111681177,2 | 8677,76 | 24,12 | -0,07 |
| 17:18:30 | 98558419,45 | -149,08 | 98558568,53 | 111725168,7 | -8802,59 | 111733971,3 | 8653,51 | 24,25 | -0,13 |
| 17:19:00 | 98551904,18 | -182,88 | 98552087,07 | 111778135,9 | -8812,02 | 111786947,9 | 8629,14 | 24,37 | -0,12 |
| 17:19:30 | 98545717,05 | -221,61 | 98545938,66 | 111831291,9 | -8826,30 | 111840118,2 | 8604,69 | 24,45 | -0,08 |
| 17:20:00 | 98539857,63 | -262,73 | 98540120,35 | 111884634,9 | -8842,84 | 111893477,7 | 8580,12 | 24,57 | -0,12 |
| 17:20:30 | 98534325,87 | -294,21 | 98534620,09 | 111938163,7 | -8849,68 | 111947013,4 | 8555,47 | 24,65 | -0,08 |
| 17:21:00 | 98529122,48 | -330,27 | 98529452,76 | 111991877,7 | -8860,93 | 112000738,7 | 8530,66 | 24,81 | -0,16 |
| 17:21:30 | 98524247,12 | -363,91 | 98524611,04 | 112045775 | -8869,69 | 112054644,7 | 8505,78 | 24,88 | -0,07 |
| 17:22:00 | 98519700,24 | -399,07 | 98520099,31 | 112099854,8 | -8879,87 | 112108734,7 | 8480,80 | 24,98 | -0,10 |
| 17:22:30 | 98515481,49 | -438,90 | 98515920,4 | 112154115,4 | -8894,53 | 112163010 | 8455,63 | 25,17 | -0,19 |
| 17:23:00 | 98511590,9 | -475,12 | 98512066,01 | 112208555,5 | -8905,52 | 112217461 | 8430,41 | 25,23 | -0,05 |
| 17:23:30 | 98508028,93 | -510,07 | 98508538,99 | 112263174,2 | -8915,19 | 112272089,4 | 8405,13 | 25,28 | -0,06 |
| 17:24:00 | 98504794,93 | -542,25 | 98505337,18 | 112317969,5 | -8921,97 | 112326891,5 | 8379,72 | 25,41 | -0,13 |
| 17:24:30 | 98501889,11 | -582,30 | 98502471,42 | 112372940,5 | -8936,52 | 112381877 | 8354,22 | 25,50 | -0,10 |
| 17:25:00 | 98499311,43 | -619,42 | 98499930,86 | 112428085,7 | -8948,04 | 112437033,8 | 8328,62 | 25,60 | -0,09 |
| 17:25:30 | 98497061,97 | -657,27 | 98497719,24 | 112483404 | -8960,15 | 112492364,1 | 8302,88 | 25,74 | -0,14 |

Πίνακας 4.27: Διαφορές ανάμεσα σε E04-E19 του δέκτη του ΠΑ.Δ.Α και του TT3100 για το σήμα L7

Η επόμενη σύγκριση θα πραγματοποιηθεί ανάμεσα στον σταθμό αναφοράς του ΠΑ.Δ.Α. και στον δέκτη χαμηλού κόστους TM0600 για το σύστημα GPS, εστιάζοντας στους δορυφόρους G12 και G18 στο σήμα L1. Στον Πίνακα 4.28 απεικονίζονται οι τελευταίες 50 εποχές, όπου παρατηρείται ολίσθηση κύκλων, όπως υποδεικνύεται από τις αυξημένες τιμές στις εποχές που είναι μαρκαρισμένες με κόκκινο χρώμα.

Ανάπτυξη λογισμικού για την αξιολόγηση της ποιότητας γεωδαιτικών μετρήσεων GNSS

| rowTimes | G12 L1C TM0600 | Δ | G12 L1C UNIWA | G18 L1C TM0600 | Δ | G18 L1C UNIWA | Απλές Διαφορές | Διπλές Διαφορές | Τριπλές Διαφορές |
|----------|----------------|------------|---------------|----------------|------------|---------------|----------------|-----------------|------------------|
| 11:27:00 | 121341486,21 | 4658960,67 | 126000446,9 | 107379706,51 | 4659497,35 | 112039203,9 | -536,68 | 89,81 | -0,01 |
| 11:27:30 | 121455456,77 | 4642346,21 | 126097803 | 107331353,41 | 4642793,06 | 111974146,5 | -446,85 | 89,83 | 0,02 |
| 11:28:00 | 121569619,19 | 4625720,82 | 126195340 | 107283447,59 | 4626077,85 | 111909525,4 | -357,03 | 89,83 | -0,01 |
| 11:28:30 | 121683977,32 | 4609079,67 | 126293057 | 107235994,66 | 4609346,90 | 111845341,6 | -267,22 | 89,80 | -0,02 |
| 11:29:00 | 121798534,62 | 4592417,50 | 126390952,1 | 107189001,25 | 4592594,99 | 111781596,2 | -177,50 | 89,73 | -0,07 |
| 11:29:30 | 121913291,78 | 4575732,77 | 126489024,6 | 107142470,34 | 4575820,43 | 111718290,8 | -87,66 | 89,84 | 0,11 |
| 11:30:00 | 122028249,63 | 4559023,72 | 126587273,3 | 107096404,75 | 4559021,66 | 111655426,4 | 2,06 | 89,72 | -0,12 |
| 11:30:30 | 122143414,97 | 4542282,18 | 126685697,1 | 107050813,55 | 4542190,36 | 111593003,9 | 91,81 | 89,75 | 0,03 |
| 11:31:00 | 122258782,82 | 4525512,20 | 126784295 | 107005694,70 | 4525330,66 | 111531025,4 | 181,54 | 89,72 | -0,03 |
| 11:31:30 | 122374359,04 | 4508705,89 | 126883064,9 | 106961056,26 | 4508434,68 | 111469490,9 | 271,21 | 89,67 | -0,05 |
| 11:32:00 | 122490136,66 | 4491869,85 | 126982006,5 | 106916893,41 | 4491508,97 | 111408402,4 | 360,87 | 89,66 | -0,01 |
| 11:32:30 | 122606123,97 | 4474994,29 | 127081118,3 | 106873216,76 | 4474543,77 | 111347760,5 | 450,52 | 89,64 | -0,02 |
| 11:33:00 | 122722320,10 | 4458079,41 | 127180399,5 | 106830027,73 | 4457539,39 | 111287567,1 | 540,03 | 89,51 | -0,14 |
| 11:33:30 | 122838722,89 | 4441125,19 | 127279848,1 | 106787326,76 | 4440495,61 | 111227822,4 | 629,58 | 89,55 | 0,04 |
| 11:34:00 | 122955335,33 | 4424128,17 | 127379463,5 | 106745119,16 | 4423409,12 | 111168528,3 | 719,05 | 89,47 | -0,08 |
| 11:34:30 | 123072140,55 | 4407102,95 | 127479243,5 | 106703390,10 | 4406294,44 | 111109684,5 | 808,50 | 89,46 | -0,01 |
| 11:35:00 | 123189130,60 | 4390057,02 | 127579187,6 | 106662134,31 | 4389159,07 | 111051293,4 | 897,95 | 89,45 | -0,01 |
| 11:35:30 | 123306308,25 | 4372985,53 | 127679293,8 | 106621356,19 | 4371998,25 | 110993354,4 | 987,28 | 89,33 | -0,12 |
| 11:36:00 | 123423659,64 | 4355902,49 | 127779562,1 | 106581044,40 | 4354825,90 | 110935870,3 | 1076,59 | 89,31 | -0,02 |
| 11:36:30 | 123541192,83 | 4338796,65 | 127879989,5 | 106541209,68 | 4337630,76 | 110878840,4 | 1165,89 | 89,30 | -0,01 |
| 11:37:00 | 123658918,98 | 4321657,86 | 127980576,8 | 106501864,89 | 4320402,75 | 110822267,6 | 1255,12 | 89,22 | -0,07 |
| 11:37:30 | 123776834,30 | 4304487,52 | 128081321,8 | 106463008,35 | 4303143,28 | 110766151,6 | 1344,25 | 89,13 | -0,10 |
| 11:38:00 | 123894933,50 | 4287289,91 | 128182223,4 | 106424637,24 | 4285856,59 | 110710493,8 | 1433,32 | 89,08 | -0,05 |
| 11:38:30 | 124013227,67 | 4270052,25 | 128283279,9 | 106386765,18 | 4268529,86 | 110655295 | 1522,39 | 89,06 | -0,02 |
| 11:39:00 | 124131710,59 | 4252779,57 | 128384490,2 | 106349388,15 | 4251168,17 | 110600556,3 | 1611,40 | 89,01 | -0,05 |
| 11:39:30 | 124250368,65 | 4235484,34 | 128485853 | 106312494,42 | 4233784,05 | 110546278,5 | 1700,28 | 88,88 | -0,13 |
| 11:40:00 | 124369188,81 | 4218178,04 | 128587366,9 | 106276072,92 | 4216389,00 | 110492461,9 | 1789,04 | 88,76 | -0,12 |
| 11:40:30 | 124488165,30 | 4200865,37 | 128689030,7 | 106240120,34 | 4198987,55 | 110439107,9 | 1877,82 | 88,78 | 0,02 |
| 11:41:00 | 124607293,44 | 4183550,46 | 128790843,9 | 106204634,16 | 4181583,97 | 110386218,1 | 1966,49 | 88,66 | -0,12 |
| 11:41:30 | 124726581,06 | 4166223,90 | 128892805 | 106169624,43 | 4164168,80 | 110333793,2 | 2055,10 | 88,61 | -0,05 |
| 11:42:00 | 124846020,17 | 4148891,38 | 128994911,6 | 106135085,10 | 4146747,73 | 110281832,8 | 2143,65 | 88,55 | -0,06 |
| 11:42:30 | 124965601,19 | 4131561,21 | 129097162,4 | 106101008,39 | 4129329,17 | 110230337,6 | 2232,04 | 88,39 | -0,16 |
| 11:43:00 | 125085331,42 | 4114224,75 | 129199556,2 | 106067404,04 | 4111904,34 | 110179308,4 | 2320,41 | 88,36 | -0,03 |
| 11:43:30 | 125205211,00 | 4096880,39 | 129302091,4 | 106034274,53 | 4094471,71 | 110128746,2 | 2408,69 | 88,28 | -0,08 |
| 11:44:00 | 125325237,14 | 4079530,78 | 129404767,9 | 106001618,95 | 4077033,91 | 110078652,9 | 2496,87 | 88,18 | -0,10 |
| 11:44:30 | 125445401,85 | 4062181,89 | 129507583,7 | 105969431,31 | 4059596,92 | 110029028,2 | 2584,97 | 88,10 | -0,08 |
| 11:45:00 | 125565698,24 | 4044839,29 | 129610537,5 | 105937706,77 | 4042166,31 | 109979873,1 | 2672,97 | 88,01 | -0,09 |
| 11:45:30 | 125686130,02 | 4027497,42 | 129713627,4 | 105906451,22 | 4024736,56 | 109931187,8 | 2760,86 | 87,88 | -0,13 |
| 11:46:00 | 125806687,71 | 4010165,19 | 129816852,9 | 105875657,09 | 4007316,58 | 109882973,7 | 2848,60 | 87,75 | -0,13 |
| 11:46:30 | 125927375,69 | 3992836,51 | 129920212,2 | 105845330,70 | 3989900,19 | 109835230,9 | 2936,32 | 87,71 | -0,04 |
| 11:47:00 | 126048202,24 | 3975501,83 | 130023704,1 | 105815482,36 | 3972477,94 | 109787960,3 | 3023,89 | 87,58 | -0,14 |
| 11:47:30 | 126169161,10 | 3958165,75 | 130127326,8 | 105786107,79 | 3955054,44 | 109741162,2 | 3111,31 | 87,42 | -0,16 |
| 11:48:00 | 126290257,29 | 3940822,29 | 130231079,6 | 105757209,17 | 3937628,63 | 109694837,8 | 3193,66 | 82,35 | -5,07 |
| 11:48:30 | 126411497,32 | 3923463,41 | 130334960,7 | 105728804,83 | 3920182,42 | 109648987,2 | 3280,99 | 87,33 | 4,98 |
| 11:49:00 | 126532877,08 | 3906091,55 | 130438968,6 | 105700887,63 | 3902723,44 | 109603611,1 | 3368,11 | 87,12 | -0,22 |
| 11:49:30 | 126654397,90 | 3888704,62 | 130543102,5 | 105673460,76 | 3885249,46 | 109558710,2 | 3455,16 | 87,05 | -0,07 |
| 11:50:00 | 126776066,28 | 3871294,48 | 130647360,8 | 105646532,80 | 3867752,38 | 109514285,2 | 3542,09 | 86,93 | -0,12 |
| 11:50:30 | 126897870,58 | 3853871,18 | 130751741,8 | 105620093,90 | 3850242,26 | 109470336,2 | 3628,93 | 86,83 | -0,10 |
| 11:51:00 | 127019821,74 | 3836422,29 | 130856244 | 105594156,81 | 3832706,72 | 109426863,5 | 3715,57 | 86,64 | -0,19 |
| 11:51:30 | 127141910,81 | 3818955,82 | 130960866,6 | 105568714,67 | 3815153,70 | 109383868,4 | 3802,12 | 86,55 | -0,09 |

Πίνακας 4.28: Διαφορές ανάμεσα σε G12-G18 του δέκτη του ΠΑ.Δ.Α και του TM0600 για το σήμα L1

Ανάπτυξη λογισμικού για την αξιολόγηση της ποιότητας γεωδαιτικών μετρήσεων GNSS

Στον Πίνακα 4.2-28, όπου απεικονίζονται οι ίδιες εποχές όπως στο σήμα L1, αλλά αυτή τη φορά για το σήμα L2, παρατηρούνται περισσότερες ολισθήσεις κύκλων. Επίσης, οι μετρήσεις των εποχών που ήταν επηρεασμένες από ολισθήσεις κύκλων στην L1, εμφανίζουν αυξημένες τιμές και στο σήμα L2.

| rowTimes | G12 L2L TM0600 | Δ | G12 L2L UNIWA | G18 L2L TM0600 | Δ | G18 L2L UNIWA | Απλές Διαφορές | Διπλές Διαφορές | Τριπλές Διαφορές |
|----------|----------------|------------|---------------|----------------|------------|---------------|----------------|-----------------|------------------|
| 11:27:00 | 94551976,02 | 3630133,01 | 98182109,03 | 83672579,24 | 3630766,09 | 87303345,33 | 633,08 | -70,03 | -0,06 |
| 11:27:30 | 94640854,88 | 3617115,69 | 98257970,57 | 83634901,61 | 3617749,74 | 87252651,35 | 634,05 | 0,97 | 71,00 |
| 11:28:00 | 94729812,35 | 3604160,78 | 98333973,12 | 83597572,49 | 3604724,88 | 87202297,37 | 564,10 | -69,95 | -70,92 |
| 11:28:30 | 94818922,21 | 3591193,67 | 98410115,87 | 83560596,27 | 3591687,78 | 87152284,05 | 494,12 | -69,98 | -0,04 |
| 11:29:00 | 94908187,33 | 3578210,14 | 98486397,47 | 83523978,16 | 3578634,30 | 87102612,47 | 424,17 | -69,95 | 0,04 |
| 11:29:30 | 94997608,15 | 3565209,05 | 98562817,2 | 83487720,38 | 3565563,24 | 87053283,62 | 354,19 | -69,98 | -0,03 |
| 11:30:00 | 95087183,33 | 3552189,08 | 98639374,41 | 83451825,18 | 3552473,32 | 87004298,5 | 284,24 | -69,96 | 0,02 |
| 11:30:30 | 95176924,27 | 3539143,66 | 98716067,94 | 83416299,62 | 3539358,05 | 86955657,68 | 214,39 | -69,84 | 0,11 |
| 11:31:00 | 95266820,99 | 3526076,15 | 98792897,13 | 83381142,17 | 3526220,62 | 86907362,79 | 144,47 | -69,92 | -0,08 |
| 11:31:30 | 95356880,00 | 3512980,38 | 98869860,38 | 83346359,04 | 3513054,92 | 86859413,96 | 74,54 | -69,93 | -0,01 |
| 11:32:00 | 95447096,00 | 3499861,38 | 98946957,38 | 83311946,50 | 3499866,10 | 86811812,59 | 4,71 | -69,83 | 0,10 |
| 11:32:30 | 95537475,39 | 3486711,61 | 99024187 | 83277912,83 | 3486646,46 | 86764559,29 | -65,15 | -69,86 | -0,03 |
| 11:33:00 | 95628017,53 | 3473531,13 | 99101548,66 | 83244259,14 | 3473396,27 | 86717655,4 | -134,86 | -69,71 | 0,15 |
| 11:33:30 | 95718720,65 | 3460320,04 | 99179040,69 | 83210985,74 | 3460115,41 | 86671101,15 | -204,63 | -69,77 | -0,06 |
| 11:34:00 | 95809587,14 | 3447075,66 | 99256662,79 | 83178096,84 | 3446801,22 | 86624898,06 | -274,43 | -69,80 | -0,03 |
| 11:34:30 | 95900603,86 | 3433809,22 | 99334413,09 | 83145580,83 | 3433465,06 | 86579045,89 | -344,16 | -69,73 | 0,07 |
| 11:35:00 | 95991764,58 | 3420526,68 | 99412291,27 | 83113433,52 | 3420112,86 | 86533546,38 | -413,82 | -69,66 | 0,06 |
| 11:35:30 | 96083071,52 | 3407224,25 | 99490295,76 | 83081658,49 | 3406740,75 | 86488399,23 | -483,50 | -69,67 | -0,01 |
| 11:36:00 | 96174513,82 | 3393912,80 | 99568426,62 | 83050246,80 | 3393359,70 | 86443606,5 | -553,10 | -69,60 | 0,07 |
| 11:36:30 | 96266097,80 | 3380583,55 | 99646681,36 | 83019206,80 | 3379960,93 | 86399167,73 | -622,63 | -69,53 | 0,07 |
| 11:37:00 | 96357832,14 | 3367228,62 | 99725060,76 | 82988548,59 | 3366536,54 | 86355085,13 | -692,08 | -69,45 | 0,07 |
| 11:37:30 | 96449713,82 | 3353849,18 | 99803563 | 82958270,86 | 3353087,60 | 86311358,46 | -761,58 | -69,50 | -0,05 |
| 11:38:00 | 96541738,85 | 3340448,44 | 99882187,29 | 82928371,35 | 3339617,49 | 86267988,84 | -830,95 | -69,37 | 0,13 |
| 11:38:30 | 96633915,77 | 3327016,49 | 99960932,27 | 82898860,75 | 3326116,14 | 86224976,89 | -900,35 | -69,40 | -0,03 |
| 11:39:00 | 96726239,79 | 3313557,24 | 100039797 | 82869735,89 | 3312587,53 | 86182323,42 | -969,70 | -69,35 | 0,05 |
| 11:39:30 | 96818700,17 | 3300080,50 | 100118780,7 | 82840987,64 | 3299041,44 | 86140029,08 | -1039,06 | -69,36 | -0,01 |
| 11:40:00 | 96911286,94 | 3286595,12 | 100197882,1 | 82812607,33 | 3285486,85 | 86098094,18 | -1108,27 | -69,21 | 0,15 |
| 11:40:30 | 97003995,59 | 3273104,65 | 100277100,2 | 82784592,45 | 3271927,26 | 86056519,71 | -1177,39 | -69,12 | 0,09 |
| 11:41:00 | 97096850,33 | 3259584,56 | 100356434,9 | 82756940,94 | 3258366,04 | 86015306,98 | -1218,52 | -69,14 | 27,98 |
| 11:41:30 | 97189782,46 | 3246102,26 | 100435884,7 | 82729660,72 | 3244795,75 | 85974456,47 | -1306,51 | -69,98 | -46,85 |
| 11:42:00 | 97282851,52 | 3232596,40 | 100515447,9 | 82702747,05 | 3231220,87 | 85933967,92 | -1375,53 | -69,02 | 18,96 |
| 11:42:30 | 97376031,13 | 3219092,42 | 100595123,6 | 82676193,82 | 3217647,97 | 85893841,8 | -1444,45 | -68,92 | 0,10 |
| 11:43:00 | 97469327,07 | 3205583,48 | 100674910,5 | 82650008,67 | 3204070,19 | 85854078,86 | -1513,29 | -68,84 | 0,08 |
| 11:43:30 | 97562739,37 | 3192068,41 | 100754807,8 | 82624193,49 | 3190486,37 | 85814679,86 | -1582,04 | -68,75 | 0,08 |
| 11:44:00 | 97656265,88 | 3178549,23 | 100834815,1 | 82598747,65 | 3176898,46 | 85775646,1 | -1650,77 | -68,73 | 0,03 |
| 11:44:30 | 97749900,32 | 3165030,62 | 100914930,9 | 82573666,43 | 3163311,21 | 85736977,64 | -1719,41 | -68,64 | 0,09 |
| 11:45:00 | 97843637,41 | 3151516,93 | 100995154,3 | 82548946,07 | 3149728,92 | 85698674,99 | -1788,00 | -68,60 | 0,04 |
| 11:45:30 | 97937479,95 | 3138003,79 | 101075483,7 | 82524591,16 | 3136147,29 | 85660738,46 | -1856,50 | -68,49 | 0,11 |
| 11:46:00 | 98031420,63 | 3124498,17 | 101155918,8 | 82500595,82 | 3122573,23 | 85623169,05 | -1924,94 | -68,45 | 0,04 |
| 11:46:30 | 98125462,85 | 3110995,25 | 101236458,1 | 82476964,92 | 3109002,01 | 85585966,93 | -1993,24 | -68,30 | 0,15 |
| 11:47:00 | 98219612,93 | 3097487,77 | 101317100,7 | 82453706,52 | 3095426,28 | 85549132,79 | -2061,50 | -68,26 | 0,04 |
| 11:47:30 | 98313866,19 | 3083979,09 | 101397845,3 | 82430817,32 | 3081849,50 | 85512666,82 | -2129,59 | -68,09 | 0,16 |
| 11:48:00 | 98408226,46 | 3070464,70 | 101478691,2 | 82408298,96 | 3068270,95 | 85476569,91 | -2193,75 | -64,16 | 3,93 |
| 11:48:30 | 98502698,79 | 3056938,26 | 101559637 | 82386165,75 | 3054676,52 | 85440842,27 | -2261,74 | -67,99 | -3,83 |
| 11:49:00 | 98597279,97 | 3043401,83 | 101640681,8 | 82364412,13 | 3041072,12 | 85405484,25 | -2329,72 | -67,97 | 0,02 |
| 11:49:30 | 98691971,10 | 3029853,55 | 101721824,6 | 82343040,60 | 3027456,04 | 85370496,64 | -2397,50 | -67,79 | 0,18 |
| 11:50:00 | 98786777,13 | 3016287,24 | 101803064,4 | 82322057,81 | 3013821,98 | 85335879,79 | -2465,26 | -67,75 | 0,04 |
| 11:50:30 | 98881689,20 | 3002710,55 | 101884399,7 | 82301456,14 | 3000177,71 | 85301633,86 | -2532,84 | -67,58 | 0,18 |
| 11:51:00 | 98976715,56 | 2989114,07 | 101965829,6 | 82281245,46 | 2986513,69 | 85267759,15 | -2600,38 | -67,54 | 0,04 |
| 11:51:30 | 99071849,44 | 2975503,83 | 102047353,3 | 82261420,50 | 2972835,98 | 85234256,48 | -2667,85 | -67,47 | 0,07 |

Πίνακας 4.29: Διαφορές ανάμεσα σε G12-G18 του δέκτη του ΠΑ.Δ.Α και του TM0600 για το σήμα L2

Ανάπτυξη λογισμικού για την αξιολόγηση της ποιότητας γεωδαιτικών μετρήσεων GNSS

Τέλος, θα αναλυθούν τα δεδομένα που έχουν καταγράψει οι δέκτες του συστήματος Galileo για τους δορυφόρους E07 και E19. Ξεκινώντας με το σήμα L1 και τις τελευταίες 50 εποχές που απεικονίζονται στον Πίνακα 4.30, παρατηρείται ότι δεν εμφανίζεται ολίσθηση κύκλων.

| rowTimes | E04 L1C UNIWA | Δ | E04 L1C TM0600 | E19 L1C UNIWA | Δ | E19 L1C TM0600 | Απλές Διαφορές | Διπλές Διαφορές | Τριπλές Διαφορές |
|----------|---------------|-------------|----------------|---------------|-------------|----------------|----------------|-----------------|------------------|
| 17:01:00 | 129191956,9 | -5974249,76 | 135166206,6 | 143559109,1 | -5986376,94 | 149545486,1 | 12127,18 | 26,11 | -0,18 |
| 17:01:30 | 129168674,8 | -5987275,00 | 135155949,8 | 143618596 | -5999376,06 | 149617972,1 | 12101,05 | 26,13 | -0,02 |
| 17:02:00 | 129145806,2 | -6000282,48 | 135146088,7 | 143678384,3 | -6012357,11 | 149690741,5 | 12074,63 | 26,42 | -0,29 |
| 17:02:30 | 129123353 | -6013275,09 | 135136628,1 | 143738473,8 | -6025323,08 | 149763796,9 | 12047,98 | 26,65 | -0,23 |
| 17:03:00 | 129101314,2 | -6026254,85 | 135127569,1 | 143798861,5 | -6038276,10 | 149837137,6 | 12021,25 | 26,74 | -0,09 |
| 17:03:30 | 129079692,4 | -6039236,07 | 135118928,5 | 143859547,6 | -6051230,42 | 149910778 | 11994,34 | 26,91 | -0,17 |
| 17:04:00 | 129058486,7 | -6052225,56 | 135110712,3 | 143920529,5 | -6064192,77 | 149984722,3 | 11967,20 | 27,14 | -0,23 |
| 17:04:30 | 129037698 | -6065219,71 | 135102917,7 | 143981805,5 | -6077159,69 | 150058965,2 | 11939,98 | 27,23 | -0,09 |
| 17:05:00 | 129017327,3 | -6078211,34 | 135095538,7 | 144043375 | -6090123,86 | 150133498,9 | 11912,52 | 27,46 | -0,23 |
| 17:05:30 | 128997375,6 | -6091202,62 | 135088578,2 | 144105236,4 | -6103087,55 | 150208324 | 11884,92 | 27,60 | -0,14 |
| 17:06:00 | 128977842,5 | -6104193,79 | 135082036,3 | 144167387,4 | -6116050,91 | 150283438,3 | 11857,12 | 27,81 | -0,21 |
| 17:06:30 | 128958729,1 | -6117175,04 | 135075904,2 | 144229827,1 | -6129004,22 | 150358831,3 | 11829,18 | 27,93 | -0,13 |
| 17:07:00 | 128940035,4 | -6130157,40 | 135070192,8 | 144292553,4 | -6141958,49 | 150434511,9 | 11801,08 | 28,10 | -0,16 |
| 17:07:30 | 128921761,5 | -6143134,74 | 135064896,3 | 144355564,4 | -6154907,55 | 150510471,9 | 11772,81 | 28,28 | -0,18 |
| 17:08:00 | 128903909,6 | -6156102,28 | 135060011,9 | 144418860 | -6167846,62 | 150586706,6 | 11744,34 | 28,47 | -0,19 |
| 17:08:30 | 128886479 | -6169058,46 | 135055537,5 | 144482437,8 | -6180774,24 | 150663212 | 11715,78 | 28,56 | -0,09 |
| 17:09:00 | 128869470,1 | -6182008,89 | 135051479 | 144546295,8 | -6193695,95 | 150739991,8 | 11687,06 | 28,72 | -0,16 |
| 17:09:30 | 128852883,2 | -6194956,72 | 135047839,9 | 144610432,6 | -6206614,88 | 150817047,5 | 11658,15 | 28,91 | -0,19 |
| 17:10:00 | 128836719,8 | -6207897,61 | 135044617,4 | 144674847,7 | -6219526,64 | 150894374,3 | 11629,03 | 29,12 | -0,21 |
| 17:10:30 | 128820979,6 | -6220836,58 | 135041816,2 | 144739538,6 | -6232436,36 | 150971974,9 | 11599,78 | 29,25 | -0,13 |
| 17:11:00 | 128805662,3 | -6233772,86 | 135039435,2 | 144804503 | -6245343,21 | 151049846,2 | 11570,35 | 29,43 | -0,19 |
| 17:11:30 | 128790768,8 | -6246708,44 | 135037477,3 | 144869739,9 | -6258249,23 | 151127989,1 | 11540,79 | 29,55 | -0,12 |
| 17:12:00 | 128776299,5 | -6259633,96 | 135035933,4 | 144935247,7 | -6271145,03 | 151206392,7 | 11511,07 | 29,73 | -0,17 |
| 17:12:30 | 128762254,3 | -6272552,44 | 135034806,7 | 145001024,5 | -6284033,58 | 151285058,1 | 11481,14 | 29,93 | -0,21 |
| 17:13:00 | 128748633,3 | -6285466,96 | 135034100,2 | 145067068,2 | -6296918,14 | 151363986,4 | 11451,17 | 29,96 | -0,03 |
| 17:13:30 | 128735436,7 | -6298383,13 | 135033819,8 | 145133377,3 | -6309804,06 | 151443181,4 | 11420,94 | 30,24 | -0,27 |
| 17:14:00 | 128722665,4 | -6311294,76 | 135033960,2 | 145199950,6 | -6322685,44 | 151522636 | 11390,68 | 30,26 | -0,02 |
| 17:14:30 | 128710320,5 | -6324198,79 | 135034519,3 | 145266787,1 | -6335558,97 | 151602346 | 11360,18 | 30,50 | -0,24 |
| 17:15:00 | 128698401,1 | -6337091,59 | 135035492,6 | 145333884,3 | -6348421,12 | 151682305,4 | 11329,53 | 30,65 | -0,15 |
| 17:15:30 | 128686908,4 | -6349988,82 | 135036897,2 | 145401241,4 | -6361287,53 | 151762528,9 | 11298,70 | 30,83 | -0,18 |
| 17:16:00 | 128675842,6 | -6362882,47 | 135038725 | 145468856,6 | -6374150,23 | 151843006,8 | 11267,76 | 30,94 | -0,11 |
| 17:16:30 | 128665203,3 | -6375773,71 | 135040977 | 145536727,7 | -6387010,40 | 151923738,1 | 11236,69 | 31,07 | -0,13 |
| 17:17:00 | 128654990,2 | -6388646,69 | 135043636,9 | 145604852,9 | -6399852,18 | 152004705 | 11205,49 | 31,20 | -0,13 |
| 17:17:30 | 128645205,1 | -6401503,69 | 135046708,8 | 145673231,3 | -6412677,78 | 152085909,1 | 11174,08 | 31,41 | -0,21 |
| 17:18:00 | 128635847 | -6414348,42 | 135050195,4 | 145741860,8 | -6425490,99 | 152167351,7 | 11142,58 | 31,51 | -0,10 |
| 17:18:30 | 128626916,3 | -6427190,86 | 135054107,1 | 145810739,6 | -6438301,79 | 152249041,4 | 11110,93 | 31,65 | -0,14 |
| 17:19:00 | 128618413,3 | -6440028,35 | 135058441,6 | 145879866,2 | -6451107,47 | 152330973,7 | 11079,12 | 31,81 | -0,16 |
| 17:19:30 | 128610338,4 | -6452865,06 | 135063203,5 | 145949239,2 | -6463912,25 | 152413151,5 | 11047,19 | 31,93 | -0,12 |
| 17:20:00 | 128602691,3 | -6465691,12 | 135068382,4 | 146018856,4 | -6476706,25 | 152495562,6 | 11015,14 | 32,06 | -0,13 |
| 17:20:30 | 128595471,8 | -6478519,15 | 135073991 | 146088716 | -6489502,08 | 152578218,1 | 10982,93 | 32,20 | -0,15 |
| 17:21:00 | 128588680,9 | -6491343,46 | 135080024,3 | 146158817,3 | -6502293,98 | 152661111,3 | 10950,52 | 32,41 | -0,21 |
| 17:21:30 | 128582318 | -6504166,04 | 135086484,1 | 146229157,8 | -6515084,11 | 152744241,9 | 10918,07 | 32,45 | -0,04 |
| 17:22:00 | 128576383,9 | -6516986,19 | 135093370,1 | 146299736,5 | -6527871,62 | 152827608,2 | 10885,43 | 32,63 | -0,18 |
| 17:22:30 | 128570878 | -6529802,25 | 135100680,3 | 146370551,2 | -6540654,89 | 152911206,1 | 10852,63 | 32,80 | -0,17 |
| 17:23:00 | 128565800,4 | -6542616,26 | 135108416,6 | 146441600,1 | -6553436,00 | 152995036,1 | 10819,74 | 32,89 | -0,09 |
| 17:23:30 | 128561151,6 | -6555428,19 | 135116579,8 | 146512882,1 | -6566214,87 | 153079097 | 10786,68 | 33,06 | -0,17 |
| 17:24:00 | 128556930,9 | -6568229,06 | 135125160 | 146584394,6 | -6578982,63 | 153163377,2 | 10753,57 | 33,11 | -0,05 |
| 17:24:30 | 128553138,5 | -6581022,40 | 135134160,9 | 146656136,4 | -6591742,59 | 153247879 | 10720,19 | 33,38 | -0,27 |
| 17:25:00 | 128549774,4 | -6593818,29 | 135143592,6 | 146728105,6 | -6604505,03 | 153332610,6 | 10686,74 | 33,45 | -0,06 |
| 17:25:30 | 128546838,6 | -6606611,33 | 135153449,9 | 146800300,5 | -6617264,45 | 153417565 | 10653,12 | 33,62 | -0,17 |

Πίνακας 4.30: Διαφορές ανάμεσα σε E04-E19 του δέκτη του ΠΑ.Δ.Α και του TM0600 για το σήμα L1

4.2.3 Σύγκριση μεθόδων προσδιορισμού ολίσθησης κύκλων

Κατά τη διάρκεια της παρούσας πτυχιακής εργασίας, για τον προσδιορισμό της ολίσθησης κύκλων χρησιμοποιήθηκαν δύο μέθοδοι: η μέθοδος Ionospheric Residual και η μέθοδος των διαφορών. Η βασική διαφορά μεταξύ των δύο μεθόδων έγκειται στα δεδομένα που χρειάζονται για τον προσδιορισμό της ολίσθησης κύκλων. Η μέθοδος Ionospheric Residual απαιτεί τη χρήση δύο σημάτων από έναν δορυφόρο, καθώς στο πρώτο στάδιο γίνεται η αφαίρεση των σημάτων μεταξύ τους. Αντίθετα, στη μέθοδο των διαφορών απαιτείται ένα ζεύγος δορυφόρων, οι οποίοι έχουν καταγράψει δεδομένα στα ίδια σήματα την ίδια χρονική στιγμή, ώστε να πραγματοποιηθεί η σύγκριση και ο προσδιορισμός της ολίσθησης κύκλων. Αυτός ήταν και ο κύριος λόγος που η μέθοδος Ionospheric Residual επιλέχθηκε για χρήση από το λογισμικό.

Όπως προκύπτει και θεωρητικά, η μέθοδος Ionospheric Residual μπορεί να προσδιορίσει σε ποια εποχή υπάρχει ολίσθηση κύκλων ανάμεσα στα δύο σήματα, αλλά δεν μπορεί να καθορίσει σε ποιο σήμα συμβαίνει αυτό (Πίνακας 4.32).

| E04 TM0600 | | | |
|-------------------|------------------|-------------------|-----------------------|
| rowTimes | IonRes L1C - L7Q | dIonRes L1C - L7Q | Cycle Slips_L1C - L7Q |
| 30/3/2024 6:37:00 | 2.6479 | 0.0071 | FALSE |
| E04 UNIWA | | | |
| rowTimes | IonRes L1C - L7Q | dIonRes L1C - L7Q | Cycle Slips_L1C - L7Q |
| 30/3/2024 6:37:00 | 1.4248 | 0.0086 | FALSE |
| E19 TM0600 | | | |
| rowTimes | IonRes L1C - L7Q | dIonRes L1C - L7Q | Cycle Slips_L1C - L7Q |
| 30/3/2024 6:37:00 | -7.1637 | 10.8891 | TRUE |
| E19 UNIWA | | | |
| rowTimes | IonRes L1C - L7Q | dIonRes L1C - L7Q | Cycle Slips_L1C - L7Q |
| 30/3/2024 6:37:00 | -2.8968 | 0.0248 | FALSE |

Πίνακας 4.32: Εποχή από τα δεδομένα της μεθόδου Ionospheric Residual που εντοπίζεται ολίσθηση κύκλων για όλους τους δορυφόρους

Αντίθετα, η μέθοδος των διαφορών όχι μόνο καταφέρνει να προσδιορίσει την εποχή στην οποία παρατηρείται ολίσθηση κύκλων, αλλά και το συγκεκριμένο σήμα του ζεύγους των δορυφόρων στο οποίο συμβαίνει η ολίσθηση. Ωστόσο, η μέθοδος αυτή δεν μπορεί να προσδιορίσει σε ποιον από τους δύο δορυφόρους παρουσιάζεται η ολίσθηση (Πίνακας 4.33).

| rowTimes | Τριπλές Διαφορές L1 E04-E19 | Τριπλές Διαφορές L7 E04-E19 |
|-------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 30/3/2024 6:37:00 | 0.32 | 44.12 |

Πίνακας 4.33: Εποχή από τα δεδομένα της μεθόδου των διαφορών που εντοπίζεται ολίσθηση κύκλων

Επιπροσθέτως, όπως παρατηρήθηκε και στις δύο μελέτες, η μέθοδος Ionospheric Residual αδυνατεί να εντοπίσει την ολίσθηση κύκλων όταν αυτή συμβαίνει με ίσο μέγεθος και στις δύο συχνότητες. Αυτό επιβεβαιώθηκε μέσω της σύγκρισης των δύο αρχείων δεδομένων που προέκυψαν από τις αντίστοιχες μεθόδους. Στον Πίνακα 4.34 παρουσιάζονται οι τριπλές διαφορές δύο εποχών από τα δεδομένα της μεθόδου των διαφορών για τους δορυφόρους E04 και E19 του συστήματος Galileo, χρησιμοποιώντας τους δέκτες του ΠΑ.Δ.Α. και TM0600, όπου εντοπίστηκε ισότιμη ολίσθηση κύκλων και στα δύο σήματα.

| rowTimes | Τριπλές Διαφορές L1 E04-E19 | Τριπλές Διαφορές L7 E04-E19 |
|-------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 30/3/2024 5:36:30 | 3.17 | 2.42 |
| 30/3/2024 5:37:00 | -2.69 | -2.03 |

Πίνακας 4.34: Εποχές που έχει εντοπιστεί ολίσθηση κύκλων και στα δυο σήματα

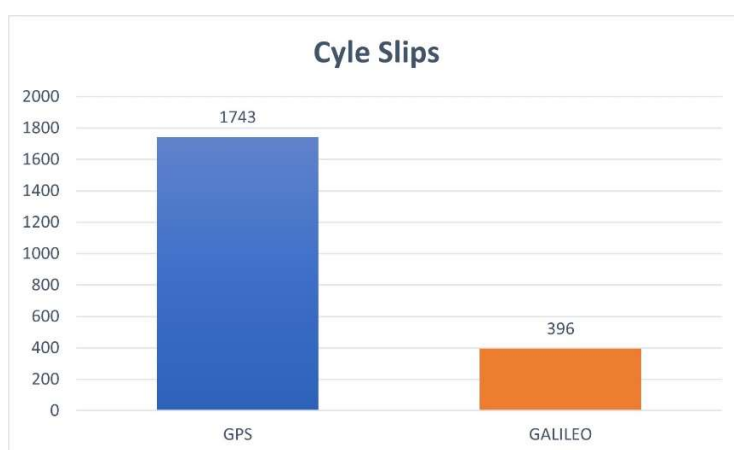
Στον Πίνακα 4.35 παρουσιάζονται οι αντίστοιχες εποχές χρησιμοποιώντας τη μέθοδο Ionospheric Residual. Καμία από τις τιμές στη στήλη “dIonRes L1C-L7Q” δεν παρουσιάζει αυξημένες τιμές. Αντιθέτως, οι τιμές εμφανίζονται φυσιολογικές και κοντά στο μηδέν. Ως εκ τούτου, η μέθοδος δεν εντοπίζει την ύπαρξη ολίσθησης κύκλων, όπως αυτή έχει επιβεβαιωθεί μέσω της μεθόδου των διαφορών στον Πίνακα 4.34.

| E04 TM0600 | | | |
|-------------------|------------------|-------------------|-----------------------|
| rowTimes | IonRes L1C - L7Q | dIonRes L1C - L7Q | Cycle Slips_L1C - L7Q |
| 30/3/2024 5:36:30 | 1.9638 | 0.0064 | FALSE |
| 30/3/2024 5:37:00 | 1.9709 | 0.0071 | FALSE |
| E04 UNIWA | | | |
| rowTimes | IonRes L1C - L7Q | dIonRes L1C - L7Q | Cycle Slips_L1C - L7Q |
| 30/3/2024 5:36:30 | 0.7516 | 0.0016 | FALSE |
| 30/3/2024 5:37:00 | 0.7550 | 0.0034 | FALSE |
| E19 TM0600 | | | |
| rowTimes | IonRes L1C - L7Q | dIonRes L1C - L7Q | Cycle Slips_L1C - L7Q |
| 30/3/2024 5:36:30 | 1.6328 | 0.0135 | FALSE |
| 30/3/2024 5:37:00 | 1.6502 | 0.0174 | FALSE |
| E19 UNIWA | | | |
| rowTimes | IonRes L1C - L7Q | dIonRes L1C - L7Q | Cycle Slips_L1C - L7Q |
| 30/3/2024 5:36:30 | -5.0212 | 0.0107 | FALSE |
| 30/3/2024 5:37:00 | -5.0098 | 0.0114 | FALSE |

Πίνακας 4.35: Αντίστοιχες εποχές όλων των δορυφόρων από την μέθοδο Ionospheric Residual

4.2.4 Σύγκριση ανάμεσα στα δορυφορικά συστήματα GPS - Galileo

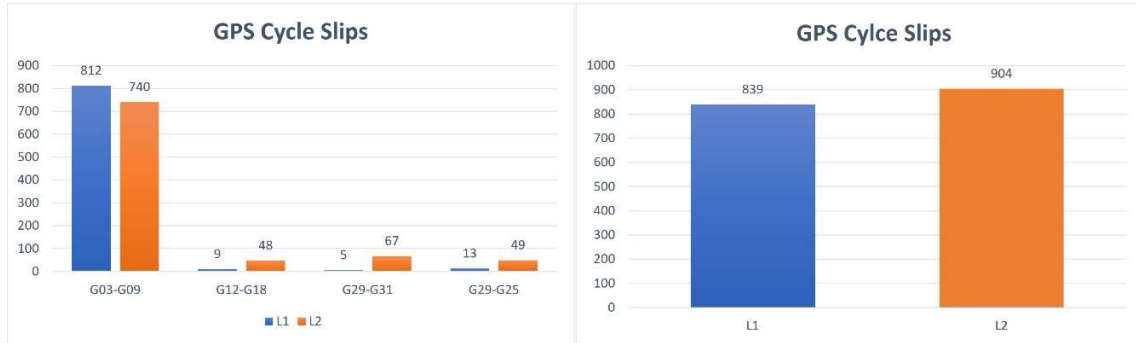
Κατά τη διάρκεια της σύγκρισης των τριών δεκτών διαφορετικού κόστους, η οποία πραγματοποιήθηκε στην προηγούμενη υποενότητα, εξετάστηκαν 4 ζεύγη δορυφόρων για τα συστήματα GPS (G03-G09, G12-G18, G29-G31, G29-G25) και Galileo (E04-E19, E03-E09, E11-E12, E21-E27), με στόχο τον προσδιορισμό των ολισθήσεων κύκλων στα δεδομένα που καταγράφηκαν από τους δέκτες μέσω της μεθόδου των διαφορών. Πιο συγκεκριμένα, δημιουργήθηκαν διπλές και τριπλές διαφορές μεταξύ των δεκτών UNIWA1 και TM0600, καθώς και των δεκτών UNIWA1 και TT3100. Από τα δεδομένα που συλλέχθηκαν, και όπως φαίνεται στο Γράφημα 4.33, όπου απεικονίζεται το άθροισμα των ολισθήσεων κύκλων για τα ζεύγη των δορυφόρων που συγκρίθηκαν ανά δορυφορικό σύστημα, προκύπτει ότι το δορυφορικό σύστημα GPS εμφάνισε μεγαλύτερο αριθμό ολισθήσεων κύκλων (cycle slips) σε σύγκριση με το σύστημα Galileo.



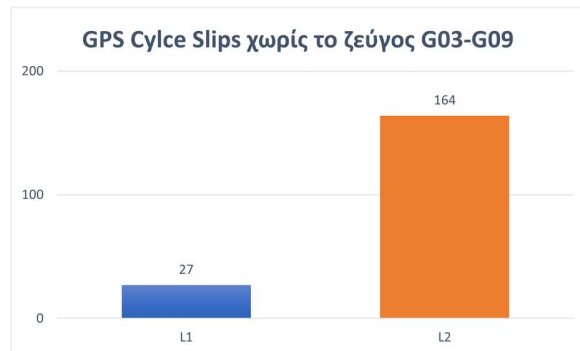
Γράφημα 4.33: Το άθροισμα των ολισθήσεων κύκλων για τα ζεύγη των δορυφόρων που συγκρίθηκαν ανά δορυφορικό σύστημα

Στο Γράφημα 4.34 απεικονίζονται οι ολισθήσεις κύκλων για τα σήματα L1 και L2 στα ζεύγη δορυφόρων που χρησιμοποιήθηκαν για το σύστημα GPS, καθώς και ο συνολικός αριθμός των ολισθήσεων κύκλων ανά σήμα. Παρατηρείται ότι, για τα ζεύγη G12-G18, G29-G31 και G29-G25, ο αριθμός των ολισθήσεων κύκλων στο σήμα L2 είναι μεγαλύτερος συγκριτικά με το σήμα L1. Εξάιρεση αποτελεί το ζεύγος δορυφόρων G03-G09, όπου παρατηρείται υψηλότερος αριθμός ολισθήσεων κύκλων στο σήμα L1.

Παρόλο που πραγματοποιήθηκε επιβεβαίωση των δεδομένων για τη συγκεκριμένη περίπτωση, απαιτείται περαιτέρω διερεύνηση για να κατανοηθεί πλήρως η αιτία αυτής της ασυνήθιστης διαφοράς.

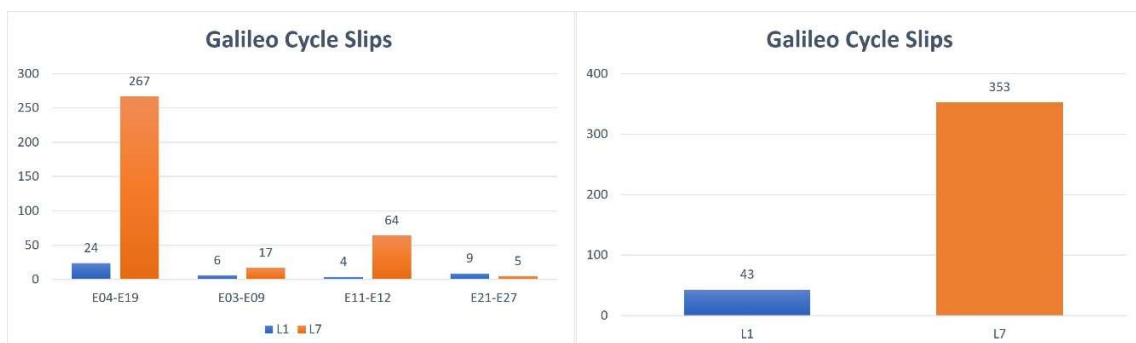


Γράφημα 4.34: Ολισθήσεις κύκλων στα σήματα L1 και L2 του GPS



Γράφημα 4.35: Αθροισμα των ολισθήσεων κύκλων στα σήματα L1 και L2 του GPS χωρίς το ζεύγος G03-G09

Αυτό δεν ισχύει στην περίπτωση του συστήματος Galileo και των σημάτων L1 και L7, όπως φαίνεται στο Γράφημα 4.36, όπου οι ολισθήσεις κύκλων στο σήμα L7 είναι αισθητά περισσότερες σε σύγκριση με τις ολισθήσεις που έχουν εντοπιστεί στο σήμα L1.

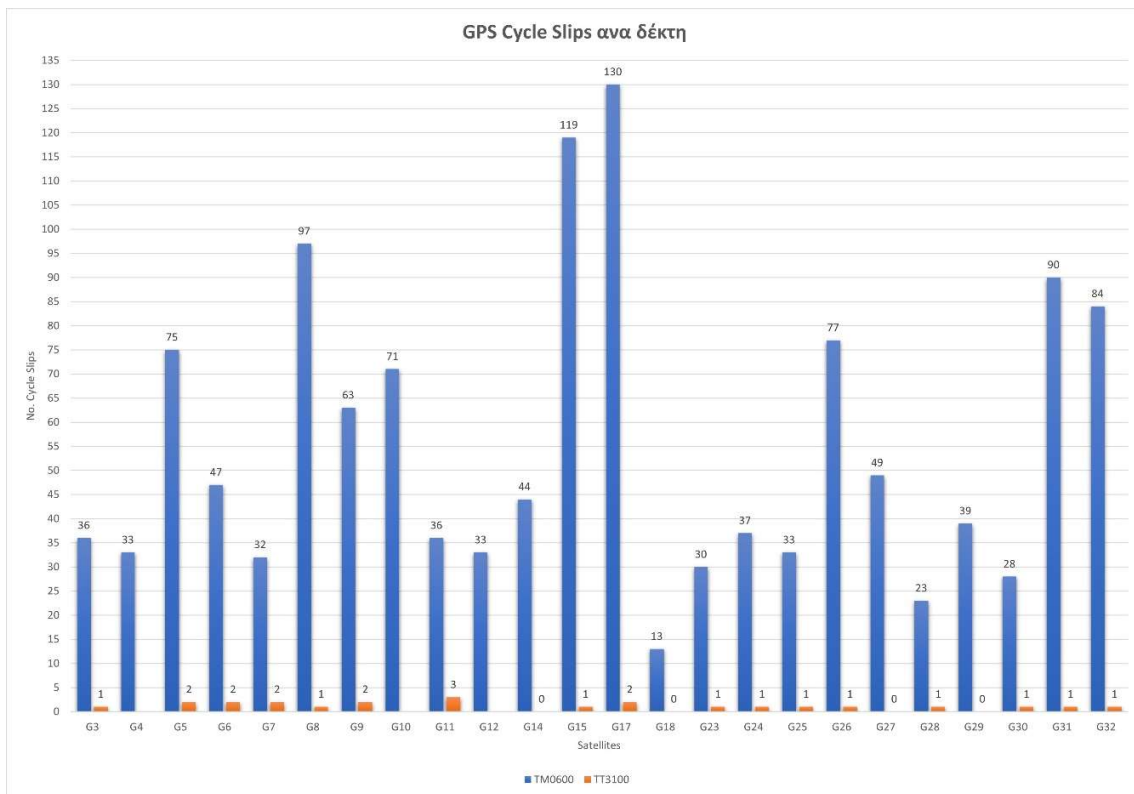


Γράφημα 4.36: Ολίσθηση κύκλων στα σήματα L1 και L7 του Galileo

4.2.5 Σύγκριση των σημάτων στους δέκτες μεσαίου και χαμηλού κόστους

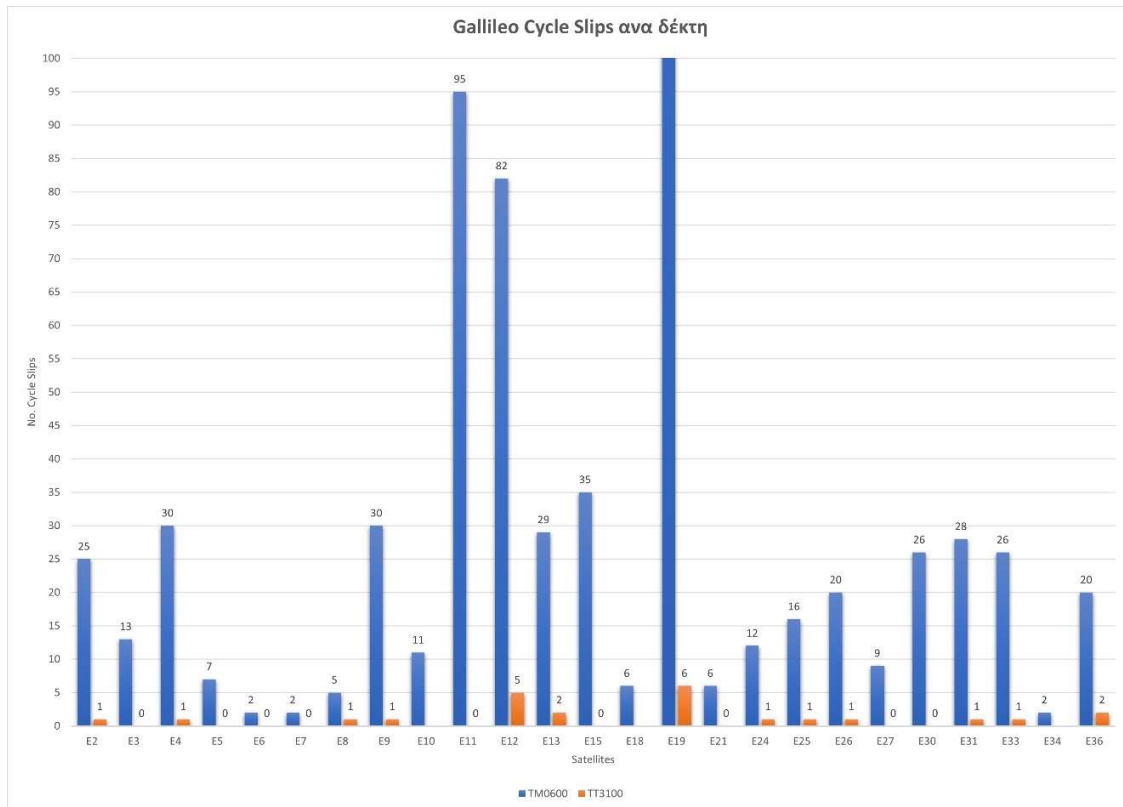
Παρατηρώντας τα παρακάτω γραφήματα, επιβεβαιώνεται ότι το κόστος του δέκτη επηρεάζει την ποιότητα και την αξιοπιστία των καταγεγραμμένων μετρήσεων.

Πιο συγκεκριμένα, στο Γράφημα 4.37 απεικονίζεται ο συνολικός αριθμός ολισθήσεων κύκλων που καταγράφηκαν από τους δέκτες TM0600 και TT3100, ανά δορυφόρο, για τα σήματα L1 και L2 του συστήματος GPS, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του Ionospheric Residual. Είναι εμφανές ότι στα δεδομένα του δέκτη χαμηλού κόστους (TM0600) παρατηρούνται σημαντικά περισσότερες ολισθήσεις κύκλων σε σύγκριση με τα δεδομένα του δέκτη μεσαίου κόστους (TT3100).



Γράφημα 4.37: Ολισθήσεις κύκλων ανά δορυφόρο για τους δέκτες TM0600 και TT3100 στο σύστημα GPS

Αντίστοιχα, στο Γράφημα 3.38 απεικονίζεται ο συνολικός αριθμός ολισθήσεων κύκλων που καταγράφηκαν από τους δέκτες TM0600 και TT3100, ανά δορυφόρο, για τα σήματα L1 και L7 του συστήματος Galileo, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του Ionospheric Residual. Και εδώ προκύπτει το ίδιο αποτέλεσμα, δηλαδή ότι οι ολισθήσεις κύκλων είναι εμφανώς περισσότερες στα δεδομένα που έχουν καταγραφεί για τον δέκτη χαμηλού κόστους (TM0600). Ειδικότερα, για τον δορυφόρο E19, όπως αναφέρεται και στις σελίδες 92 και 93, παρατηρήθηκαν 392 ολισθήσεις κύκλων. Αυτό αποδίδεται στην χαμηλή γωνία ανύψωσης του δορυφόρου, γεγονός που προκαλεί προβλήματα στην καταγραφή των δεδομένων, αυξάνοντας την πιθανότητα διακοπής της λήψης του σήματος. Ο εν λόγω αριθμός δεν εμφανίζεται στο Γράφημα 4.38, ώστε να αναδειχθεί πιο καθαρά η διαφορά στον αριθμό ολισθήσεων κύκλων που παρουσιάζει ο δέκτης TM0600, σε σύγκριση με τον μικρό αριθμό ολισθήσεων κύκλων που καταγράφηκαν από τον δέκτη TT3100 ανά δορυφόρο.



Γράφημα 4.38: Ολισθήσεις κύκλων ανά δορυφόρο για τους δέκτες TM0600 και TT3100 στο σύστημα Galileo

5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία αναπτύχθηκε λογισμικό για τη συγκριτική αξιολόγηση των πρωτογενών μετρήσεων των συστημάτων GNSS. Το λογισμικό αυτό παρέχει τη δυνατότητα ανάλυσης του σηματοθορυβικού λόγου (SNR) και ανίχνευσης σφαλμάτων ολίσθησης κύκλων (cycle slips). Με τη χρήση αυτών των λειτουργιών, πραγματοποιήθηκε ανάλυση δεδομένων που προέκυψαν από συγκριτικές μελέτες ανάμεσα σε δέκτες διαφορετικού κόστους και ποιότητας, καθώς και σε περιβάλλοντα με ποικίλες συνθήκες και εμπόδια. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την έρευνα παρουσιάζονται συνοπτικά στα παρακάτω συμπεράσματα, προσφέροντας πολύτιμα ευρήματα για την απόδοση και αξιοπιστία των συστημάτων GNSS καθώς και των δεκτών που χρησιμοποιήθηκαν.

Το MATLAB αποδείχθηκε ένα ιδιαίτερα εύχρηστο και αποτελεσματικό εργαλείο για την ανάπτυξη του λογισμικού, καθώς παρέχει ένα φιλικό προς τον χρήστη περιβάλλον και πληθώρα ενσωματωμένων λειτουργιών για την επεξεργασία, ανάλυση και οπτικοποίηση των δεδομένων GNSS. Η δυνατότητα του MATLAB να διαβάζει αρχεία RINEX, η αξιοπιστία του στις πράξεις πινάκων, καθώς και η ποιότητα των γραφημάτων που παράγει, συνέβαλαν ουσιαστικά στην επίτευξη αξιόπιστων αποτελεσμάτων και βοήθησαν στην καλύτερη κατανόηση του σηματοθορυβικού λόγου (SNR) καθώς και στην σωστή ανίχνευση των ολισθήσεων κύκλων.

Η ανάλυση του σηματοθορυβικού λόγου (SNR) έδειξε ότι το σύστημα Galileo υπερέχει ελαφρώς σε σχέση με το σύστημα GPS όσον αφορά την ποιότητα των σημάτων. Πιο συγκεκριμένα, οι τιμές SNR που καταγράφηκαν για τους δορυφόρους του Galileo ήταν κατά μέσο όρο υψηλότερες από αυτές του GPS, γεγονός που υποδεικνύει καλύτερη ποιότητα σήματος και λιγότερο θόρυβο. Αυτή η υπεροχή παρατηρήθηκε ιδιαίτερα στις συχνότητες L2 και E5, όπως φαίνεται από τη σύγκριση των τιμών SNR σε διάφορες περιπτώσεις μετρήσεων.

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, δεν υπάρχει κάποια μέθοδος ανίχνευσης ολίσθησης κύκλων (cycle slips) που να υπερέχει καθολικά έναντι όλων των άλλων. Κάθε μέθοδος έχει τα δικά της πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, γεγονός που την καθιστά κατάλληλη για διαφορετικές εφαρμογές και συνθήκες μέτρησης.

Είναι απαραίτητο να λαμβάνεται υπόψη ότι οι αυξημένες τιμές στο Ionospheric Residual, οι οποίες προκύπτουν έπειτα από διακοπή λήψης του σήματος, δεν πρέπει να ερμηνεύονται ως ολίσθηση κύκλων (cycle slips). Αυτές οι αυξημένες τιμές μπορεί να οφείλονται στη διακοπή λήψης και όχι σε πραγματική μεταβολή της φάσης του σήματος. Ως εκ τούτου, πρέπει να γίνεται προσεκτική ανάλυση των τιμών, ώστε να διασφαλίζεται η σωστή αξιολόγηση των δεδομένων και να αποφεύγονται λανθασμένες ερμηνείες.

Από την ανάλυση των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν για τους δέκτες διαφορετικού κόστους προέκυψε ότι ο δέκτης μεσαίου κόστους (TT3100) παρουσίασε απόδοση συγκρίσιμη με εκείνη του γεωδαιτικού δέκτη του ΠΑ.Δ.Α. σε ό,τι αφορά την ποιότητα των μετρήσεων και την ακρίβεια των δεδομένων. Αντίθετα, ο δέκτης χαμηλού κόστους (TM0600) κατέγραψε τον μεγαλύτερο αριθμό ολισθήσεων κύκλων (cycle slips) και παρουσίασε σημαντική απόκλιση στην απόδοση συγκριτικά με τους άλλους δύο δέκτες.

Επίσης, από την ανάλυση των δεδομένων προέκυψε ότι η μέθοδος Ionospheric Residual δεν είναι ικανή να ανιχνεύσει ισόποσες ολισθήσεις κύκλων (cycle slips) που συμβαίνουν ταυτόχρονα και στις δύο συχνότητες ενός δορυφόρου. Αντίθετα, η μέθοδος των διαφορών έχει τη δυνατότητα να εντοπίσει τέτοιες ολισθήσεις, καθιστώντας την πιο αποτελεσματική για την ανάλυση πολύπλοκων περιπτώσεων όπου οι ολισθήσεις κύκλων επηρεάζουν περισσότερες από μία συχνότητες.

Όπως επιβεβαιώθηκε και στην ανάλυση των δεδομένων, η σύγκριση των δορυφορικών συστημάτων GPS και Galileo έδειξε ότι τα σήματα L2 και L7 (κωδικοποίηση σημάτων κατά RINEX) είναι πιο ευάλωτα και παρουσιάζουν μεγαλύτερο αριθμό ολισθήσεων κύκλων (cycle slips) σε σχέση με τα σήματα L1. Αυτό υποδεικνύει ότι τα σήματα L2 και L7 επηρεάζονται περισσότερο από περιβαλλοντικούς παράγοντες και διακοπές στη λήψη, γεγονός που μπορεί να επηρεάσει την ακρίβεια των μετρήσεων, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις με εμπόδια ή παρεμβολές.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ - ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

European Space Agency – *What is Galileo?*

https://www.esa.int/Applications/Satellite_navigation/Galileo/What_is_Galileo

European Union Agency of the Space Programme – *Constellation Information* <https://www.gsc-europa.eu/system-service-status/constellation-information>

Lu, M., & Yao, Z. (2020). BeiDou navigation satellite system. *Position, navigation, and timing technologies in the 21st century: Integrated satellite navigation, sensor systems, and civil applications*, 1, 143-170.

Kapalan, E. D., & Hegarty, C. J. (2006). *Understanding GPS: Principles and Application*. London: Artech House.

Teunissen, P. (2017). Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems.

Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., & Waskle, E. (2007). *GNSS—global navigation satellite systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more*. Springer Science & Business Media.

Kim, M., Seo, J., & Lee, J. (2014). A comprehensive method for GNSS data quality determination to improve ionospheric data analysis. *Sensors*, 14(8), 14971-14993.

Liu, Q., Li, W., Zhang, S., Nan, Y., Peng, J., & Ma, Z. (2023). Analysis of signal-to-noise ratio retrieved from multi-GNSS satellite data of land surface reflections. *GPS Solutions*, 27(3), 151.

Hieu, L. V., Ferreira, V. G., He, X., & Tang, X. (2014). Study on cycle-slip detection and repair methods for a single dual-frequency global positioning system (GPS) receiver. *Boletim de Ciências Geodésicas*, 20(4), 984-1004.

Wang, Y. K., Li, K., Zhao, L., Li, Z., & Wei, J. (2016). A new modified method for cycle-slips detection based on polynomial fitting method. In *China Satellite Navigation Conference (CSNC) 2016 Proceedings: Volume I* (pp. 135-143). Springer Singapore.

Vaclavovic, P., & Dousa, J. (2016). G-Nut/Anubis: open-source tool for multi-GNSS data monitoring with a multipath detection for new signals, frequencies and constellations. In *IAG 150 Years: Proceedings of the IAG Scientific Assembly in Postdam, Germany, 2013* (pp. 775-782). Springer International Publishing.

Estey, L. H., & Meertens, C. M. (1999). TEQC: the multi-purpose toolkit for GPS/GLONASS data. *GPS solutions*, 3(1), 42-49.

Dai, Z. (2012). MATLAB software for GPS cycle-slip processing. *GPS solutions*, 16(2), 267-272.

Romero, I. (2020). RINEX: the receiver independent Exchange format version 3.05. *ESA/ESOC/Navigation Support Office: Darmstadt, Germany*.

Gianniou, M., Mastoris, D., Argyrakis, P., & Christou, M. (2022). Performance of Galileo for geodetic positioning under challenging signal reception conditions. *EUREF Annual Symposium, June 1-3, Zagreb, Croatia*.

Xu, G., & Xu, Y. (2007). *GPS*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Roberts, G. W. (2017) Triple Frequency multi-GNSS Cycle Slip Detection using Ionospheric Residuals. *FIG Working Week 2017, Helsinki*

Karaim, M., Karamat, T. B., Noureldin, A., & El-Shafie, A. (2014). GPS cycle slip detection and correction at measurement level. *Br. J. Appl. Sci. Technol*, 4(29), 4239-4251.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α΄

```
clc;
clear;
close all;

% Συνάρτηση για φιλτράρισμα δεδομένων
function filteredData = extractAndFilterData(data, sat)
    % Φιλτράρει τα δεδομένα με βάση την επιλογή του δορυφόρου
    filteredData = data(data.SatelliteID == sat, :);
end

% Συνάρτηση για την εκτύπωση των αποτελεσμάτων σε figure
function scatterData(allData, allSelectedColumns, allSats, allGNSS)
    figure;

    for setIndex = 1:2
        data = allData{setIndex};
        selectedColumns = allSelectedColumns{setIndex};
        satNumber = allSats{setIndex}; % Αποθηκευμένος αριθμός δορυφόρου
        selectedGNSS = allGNSS{setIndex}; % Αποθηκευμένο GNSS

        % Προσδιορισμός του προθέματος με βάση το GNSS
        switch selectedGNSS
            case 'GPS'
                prefix = 'G';
            case 'GLONASS'
                prefix = 'R';
            case 'Galileo'
                prefix = 'E';
            case 'BeiDou'
                prefix = 'C';
        end

        % Subplot για κάθε σετ
        subplot(1, 2, setIndex);
        hold on;

        for i = 1:length(selectedColumns)
            scatter(data.Time, data.(selectedColumns{i}), 'filled', ...
                'DisplayName', sprintf('%s', selectedColumns{i}));
        end

        xlabel('GPS Time', 'FontWeight', 'bold');
        ylabel('SNR (DB - Hz)', 'FontWeight', 'bold');
        title(sprintf('SNR of Satellite %s%d', prefix, satNumber));
        legend('Location', 'northeast');
        grid on;
        hold off;
        fontsize(16, "points")
        ylim([10 80]);
    end
end

% factors για κάθε συχνότητα
FrequencyBands.GPS.L1 = 0.190293673;
FrequencyBands.GPS.L2 = 0.244210213;
FrequencyBands.GPS.L5 = 0.254828049;
FrequencyBands.Galileo.L1 = 0.190293673;
FrequencyBands.Galileo.L5 = 0.25481722;
```

```
FrequencyBands.Galileo.L6 = 0.234441805;
FrequencyBands.Galileo.L7 = 0.24834937;
FrequencyBands.Galileo.L8 = 0.251547001;
FrequencyBands.BeiDou.L1 = 0.192039486;
FrequencyBands.BeiDou.L2 = 0.192039486;
FrequencyBands.BeiDou.L5 = 0.254828049;
FrequencyBands.BeiDou.L6 = 0.236332465;
FrequencyBands.BeiDou.L7 = 0.24834937;
FrequencyBands.BeiDou.L8 = 0.251547001;

% Επιλογή αρχείου απο τον χρήστη
[file, path] = uigetfile('*.rnx', 'Select a RINEX file');

if isequal(file, 0)
    msgbox('User canceled file selection.', 'No Selection', 'warn');
    return;
end

% Επιλογή του task
EpiLogh = menu('Choose an option:', 'SNR Alanysis', 'Cycle Slip Detection');

if EpiLogh == 0
    msgbox('User canceled task selection.', 'No Selection', 'warn');
    return;
end

switch EpiLogh
    case 1
        % Κώδικας για snr_analysis

        % Πίνακες καταχώρησης μετρήσεων και επιλεγμένων στηλών
        allData = cell(1, 2);
        allSelectedColumns = cell(1, 2);
        allSats = cell(1, 2); % Προσθήκη πίνακα για τους δορυφόρους
        allGNSS = cell(1, 2); % Δημιουργία κελιού για το GNSS

        % Path του αρχείου
        filePath = fullfile(path, file);

        % Διαβάζει το Rinex
        data = rinexread(filePath);

        for setIndex = 1:2
            try
                % Εμφάνιση διαθέσιμων GNSS επιλογών
                gnssOptions = fieldnames(data);
                gnssChoice = menu('Choose a GNSS:', gnssOptions);

                if gnssChoice == 0
                    msgbox('User canceled GNSS selection.', 'No Selection', 'warn');
                    return;
                end

                % Αποθηκεύει το επιλεγμένο GNSS
                selectedGNSS = gnssOptions{gnssChoice};
                allGNSS{setIndex} = selectedGNSS;

                % Εμφάνιση διαθέσιμων δορυφόρων για το επιλεγμένο GNSS
                satOptions = unique(data.(selectedGNSS).SatelliteID);
                satOptionsStr = cellstr(num2str(satOptions));
            catch
            end
        end
    end
end
```



```
satChoice = menu('Choose a satellite:', satOptionsStr);

if satChoice == 0
msgbox('User canceled satellite selection.', 'No Selection', 'warn');
    return;
end

% Αποθηκεύει τον επιλεγμένο δορυφόρο
sat = satOptions(satChoice);
allSats{setIndex} = sat;

% Φιλτράρισμα των δεδομένων ανάλογα με τις επιλογές του χρήστη
filteredData = extractAndFilterData(data.(selectedGNSS), sat);

% Εμφάνιση διαθέσιμων στηλών για το επιλεγμένο GNSS
columnOptions = fieldnames(filteredData);
validColumns = columnOptions(startsWith(columnOptions, 'S') &
    strlength(columnOptions) == 3);

if isempty(validColumns)
    disp('No valid columns starting with "S" and having 3
        characters.');
```

```
    return;
end

columnIndices = listdlg('ListString', validColumns, 'PromptString',
    'Choose frequency bands:', 'SelectionMode', 'multiple');

if isempty(columnIndices)
msgbox('User canceled frequency band selection.', 'No Selection',
'warn');
```

```
    return;
end

selectedColumns = validColumns(columnIndices);
selectedTable = filteredData(:, selectedColumns);
allData{setIndex} = selectedTable;
allSelectedColumns{setIndex} = selectedColumns;

catch exception
    fprintf('Error reading or processing file: %s\n', file);
    disp(exception.message)
end

end

% Scatter των δεδομένων από τα δυο σετ
scatterData(allData, allSelectedColumns, allSats, allGNSS);

extractFiles = questdlg('Do you want to extract the selected data sets to Excel
files?', 'Save Files', 'Yes', 'No', 'No');
if isequal(extractFiles, 'Yes')
    for setIndex = 1:2
        excelFileName = sprintf('SNR_Analysis_Set_%d.xlsx', setIndex);
        writetimetable(allData{setIndex}, excelFileName);
        fprintf('Set %d data saved to Excel: %s\n', setIndex, excelFileName);
    end
end

end
```

```
case 2
% Κώδικας για τα Cycle Slips
% Path του αρχείου
filePath = fullfile(path, file);

try
% Διαβάζει το αρχείο Rinex
data = rinexread(filePath);

% Δίνει τα διαθέσιμα GNSS για επιλογή από τον χρήστη
gnssOptions = fieldnames(data);
gnssOptions = intersect(gnssOptions, {'GPS', 'Galileo', 'BeiDou'});
gnssChoice = menu('Choose a GNSS:', gnssOptions);

% Έλεγχος αν έχει ακυρωθεί η επιλογή
if gnssChoice == 0
    msgbox('User canceled GNSS selection.', 'No Selection', 'warn');
    return;
end

% Το επιλεγμένο GNSS
selectedGNSS = gnssOptions{gnssChoice};

% Δίνει τους διαθέσιμους δορυφόρους για επιλογή από τον χρήστη
satOptions = unique(data.(selectedGNSS).SatelliteID);
satOptionsStr = cellstr(num2str(satOptions));
satChoice = menu('Choose a satellite:', satOptionsStr);

% Έλεγχος αν έχει ακυρωθεί η επιλογή
if satChoice == 0
    msgbox('User canceled satellite selection.', 'No Selection', 'warn');
    return;
end

% 0 επιλεγμένος δορυφόρος
sat = satOptions(satChoice);

% Φιλτράρει τα δεδομένα με βάση την επιλογή με τη συνάρτηση
% extractAndFilterData
filteredData = extractAndFilterData(data.(selectedGNSS), sat);

% Δείχνει τις διαθέσιμες στήλες για επιλογή από τον χρήστη
columnOptions = fieldnames(filteredData);
maxColumns = length(columnOptions);
validColumns = cell(1, maxColumns);

% Τσεκάρει ποιές στήλες ξεκινάνε με το γράμμα L και έχουν 3 γράμματα
% έτσι ώστε να μας δώσει τις στήλες με τα δεδομένα των συχνοτήτων
count = 0;
for i = 1:maxColumns
    columnName = columnOptions{i};
    if startsWith(columnName, 'L') && strlength(columnName) == 3 && ...
        ~all(ismissing(filteredData.(columnName)))
        count = count + 1;
        validColumns{count} = columnName;
    end
end

validColumns = validColumns(1:count);

if isempty(validColumns)
```

```
    msgbox('No valid columns available for selection.', 'No Columns',  
    'warn');  
    return;  
end  
  
% Ζητάει από τον χρήστη να επιλέξει τις συχνότητες  
columnIndices = listdlg('ListString', validColumns, 'PromptString',  
    'Choose columns for frequencies:', 'SelectionMode', 'multiple');  
  
% Έλεγχος αν ο χρήστης ακύρωσε την επιλογή  
if isempty(columnIndices)  
    disp('User canceled column selection.');
```

σωστά

```
    return;  
end  
  
selectedColumns = validColumns(columnIndices);  
  
% Δημιουργεί έναν πίνακα με βάση το μέγεθος του timetable με τα δεδομένα  
% για να γίνει η αποθήκευση των μετρήσεων σε δεύτερο χρόνο  
tableHeight = height(filteredData);  
rowTimes = filteredData.Time;  
dataTable = table(rowTimes);  
  
% Με βάση το επιλεγμένο GNSS και τα ονόματα των συχνοτήτων πολλαπλασιάζει τα  
columnName);  
  
% FrequencyBands  
for i = 1:length(selectedColumns)  
    columnName = selectedColumns{i};  
  
    if strcmp(selectedGNSS, 'GPS')  
        if startsWith(columnName, 'L1')  
            factor = FrequencyBands.GPS.L1;  
        elseif startsWith(columnName, 'L2')  
            factor = FrequencyBands.GPS.L2;  
        elseif startsWith(columnName, 'L5')  
            factor = FrequencyBands.GPS.L5;  
        else  
            error('No multiplication factor found for column: %s',  
columnName);  
        end  
    elseif strcmp(selectedGNSS, 'Galileo')  
        if startsWith(columnName, 'L1')  
            factor = FrequencyBands.Galileo.L1;  
        elseif startsWith(columnName, 'L5')  
            factor = FrequencyBands.Galileo.L5;  
        elseif startsWith(columnName, 'L6')  
            factor = FrequencyBands.Galileo.L6;  
        elseif startsWith(columnName, 'L7')  
            factor = FrequencyBands.Galileo.L7;  
        elseif startsWith(columnName, 'L8')  
            factor = FrequencyBands.Galileo.L8;  
        else  
            error('No multiplication factor found for column: %s',  
columnName);  
        end  
    elseif strcmp(selectedGNSS, 'BeiDou')  
        if startsWith(columnName, 'L1')  
            factor = FrequencyBands.BeiDou.L1;  
        elseif startsWith(columnName, 'L2')  
            factor = FrequencyBands.BeiDou.L2;  
        elseif startsWith(columnName, 'L5')
```

```

        factor = FrequencyBands.BeiDou.L5;
    elseif startsWith(columnName, 'L6')
        factor = FrequencyBands.BeiDou.L6;
    elseif startsWith(columnName, 'L7')
        factor = FrequencyBands.BeiDou.L7;
    elseif startsWith(columnName, 'L8')
        factor = FrequencyBands.BeiDou.L8;
    else
        error('No multiplication factor found for column: %s',
columnName);
    end
end

% κάνει τον πολλαπλασιασμό
dataTable.(columnName) = filteredData.(columnName) * factor;
end

% Δίνει όλους τους δυνατούς συνδυασμούς για την αφαίρεση
combinations = nchoosek(1:length(selectedColumns), 2);
numCombinations = size(combinations, 1);
diffColumnNameNames = cell(1, numCombinations);

for i = 1:numCombinations
    col1 = selectedColumns{combinations(i, 1)};
    col2 = selectedColumns{combinations(i, 2)};
    L1 = dataTable.(col1);
    L2 = dataTable.(col2);

    % Έλεγχος αν υπάρχουν δεδομένα και κάνει την αφαίρεση
    validIndices = ~ismissing(L1) & ~ismissing(L2);
    if any(validIndices)
        diff = NaN(size(L1));
        diff(validIndices) = L1(validIndices) - L2(validIndices);
        diffColumnName = sprintf('%s - %s', col1, col2);
        dataTable.(diffColumnName) = diff;
        diffColumnNameNames{i} = diffColumnName;
    end
end

% βγάζει τις άδειες τιμές
diffColumnNameNames = diffColumnNameNames(~cellfun('isempty', diffColumnNameNames));

figure;
% Κάνει την αφαίρεση από γραμμή σε γραμμή και κάνει plot
for i = 1:length(diffColumnNameNames)
    diffColumnName = diffColumnNameNames{i};
    dIonRes = NaN(tableHeight, 1);
    if ismember(diffColumnName, dataTable.Properties.VariableNames)
        dIonRes(2:end) = dataTable.(diffColumnName)(2:end) -
            dataTable.(diffColumnName)(1:end-1);
        dataTable.(['d', diffColumnName]) = abs(dIonRes);

        % Έλεγχος των τιμών που ξεπερνούν το όριο
        threshold = 0.5;
        exceedThreshold = dataTable.(['d', diffColumnName]) > threshold;
        dataTable.(['Cycle Slips_', diffColumnName]) = exceedThreshold;

        % Plotting
        subplot(2, length(diffColumnNameNames), i);
        scatter(dataTable.rowTimes, dataTable.(diffColumnName), 'filled');
        xlabel('GPS Time', 'fontweight', 'bold');
    end
end

```

```

ylabel('Ionospheric Residual (m)', 'fontweight', 'bold');
title(['Satellite ', num2str(sat), ' ', selectedGNSS, '
Ionospheric Residual ', '(' , diffColumnName, ')']);
legend('Location', 'northwest');
fontsize(16, "points");
grid on;

subplot(2, length(diffColumnNames), length(diffColumnNames) + i);
scatter(dataTable.rowTimes, dataTable.(['d', diffColumnName]),
'filled');
hold on;
scatter(dataTable.rowTimes(exceedThreshold), dataTable.(['d',
diffColumnName])(exceedThreshold), 'filled', 'MarkerFaceColor',
'red');
xlabel('GPS Time', 'fontweight', 'bold');
ylabel('Ionospheric Residual (m)', 'fontweight', 'bold');
title(['Satellite ', num2str(sat), ' ', selectedGNSS, ' time
difference of Ionospheric Residual ', diffColumnName, ')']);
legend('Location', 'northwest');
fontsize(16, "points");
grid on;

maxValue = max(dataTable.(['d', diffColumnName]));

% Όρια για του άξονα Y για το plot
ylim([0, maxValue*1.5]);

end
end

FileName = extractBefore(file, 7);

% Ρωτάει τον χρήστη για αποθήκευση του αρχείου Excel
answer = questdlg('Do you want to save the results to Excel?', 'Save to
Excel', 'Yes', 'No', 'Yes');

if strcmp(answer, 'Yes')

% Δημιουργία αρχείου excel
switch selectedGNSS
case 'GPS'
prefix = 'G';
case 'GLONASS'
prefix = 'R';
case 'Galileo'
prefix = 'E';
case 'BeiDou'
prefix = 'C';
end

% Δημιουργία του ονόματος του αρχείου με το prefix
excelFileName = sprintf('%s_%s%d_cycle_slips_%s.xlsx', selectedGNSS,
prefix, sat, FileName);

% Αποθήκευση όλων των δεδομένων στο φύλλο AllData πρώτα
writetable(dataTable, excelFileName, 'Sheet', 'AllData');

% Προσθήκη των υπόλοιπων φύλλων για κάθε συνδυασμό
for i = 1:length(diffColumnNames)

```

```
% Εξαγωγή μόνο των δεδομένων που αντιστοιχούν στον τρέχοντα
% συνδυασμό
combinationData = dataTable(:, {'rowTimes', diffColumnNames{i}, ...
    strcat('d', diffColumnNames{i}), strcat('Cycle Slips_',
    diffColumnNames{i})});

% Υπολογισμός του count των cycle slips
cycleSlipsCount = sum(dataTable.(strcat('Cycle Slips_',
    diffColumnNames{i})));

% Δημιουργία πίνακα με το count των cycle slips
countTable = table({''}, cycleSlipsCount, 'VariableNames', {' ', 'Cycle
Slips Summary'});

% Αποθήκευση των δεδομένων στο Excel
writetable(combinationData, excelFileName, 'Sheet', diffColumnNames{i});

% Αποθήκευση του πίνακα με το count στο τέλος του φύλλου
writetable(countTable, excelFileName, 'Sheet', diffColumnNames{i},
'Range', 'E1');

    end

    disp(['Data with cycle slips and summary saved to Excel: ',
    excelFileName]);
end

catch exception
    fprintf('Error reading or processing file: %s\n', file);
    disp(exception.message)
end

end
```