



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΙΚΗΣ  
ΠΜΣ: ΓΕΩΧΩΡΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ

## **Μετρολογικός έλεγχος δεκτών GNSS χαμηλού κόστους για εφαρμογές RTK**

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

**ΚΩΝΣΤΑΝΤΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ**

ΑΜ:1617

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:

**Μ. ΓΙΑΝΝΙΟΥ**

ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΠΑ.Δ.Α.

ΑΘΗΝΑ 2019



**Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής**

**Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών - Γεωχωρικές Τεχνολογίες**

**Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία**

Μετρολογικός έλεγχος δεκτών GNSS χαμηλού κόστους για εφαρμογές RTK.

Κωνσταντάς Γεώργιος

**Τριμελής Επιτροπή**

Μ. Γιαννίου

Αναπληρωτής Καθηγητής ΠΑ.Δ.Α., Τμήμα Μηχανικών Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής

(επιβλέπων)

Β. Παγούνης

Καθηγητής ΠΑ.Δ.Α., Τμήμα Μηχανικών Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής

(μέλος 1)

Β. Ανδριτσάνος

Αναπληρωτής Καθηγητής ΠΑ.Δ.Α., Τμήμα Μηχανικών Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής

(μέλος 2)



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα Παγκόσμια Δορυφορικά Συστήματα Πλοήγησης χρησιμοποιούνται τα τελευταία 30 χρόνια τόσο σε επιστημονικές εφαρμογές, όσο και σε επαγγελματικές ή καθημερινές χρήσεις. Η ανάγκη για ανάπτυξη ενός αξιόπιστου συστήματος πλοήγησης, κυρίως τα χρόνια μέχρι την παύση της Επιλεκτικής Διαθεσιμότητας για το GPS το 2000, απέδωσε στην εφαρμογή διαφορικών και σχετικών μεθόδων εντοπισμού, που δίνουν τη δυνατότητα προσδιορισμού θέσης με ακρίβεια έως και μερικά mm. Την τελευταία δεκαετία η χρήση των GNSS επεκτάθηκε σε κάθε πτυχή της ανθρώπινης δραστηριότητας και οι δέκτες GNSS εξελίχθηκαν. Η δυνατότητα απλών δεικτών πλοήγησης, ενσωματωμένων σε φορητές συσκευές ή ως chipsets, να πραγματοποιούν μετρήσεις κώδικα, αξιοποιείται από μη εξειδικευμένους χρήστες σε επίπεδο μαζικής παραγωγής. Η εξέλιξη αυτών των δεικτών ώστε να παρατηρούν φάσεις και σε μερικές περιπτώσεις σε περισσότερες συχνότητες, ανοίγει την αγορά των υπηρεσιών υψηλής ακρίβειας στο επίπεδο μαζικής παραγωγής.

Η εργασία αυτή αξιοποιεί ένα σύστημα χαμηλού κόστους της ελβετικής εταιρείας u-blox, ώστε να πραγματοποιήσει μία σειρά από μετρολογικούς ελέγχους, όπως αυτοί περιγράφονται στο πρότυπο του Διεθνούς Οργανισμού Πιστοποίησης ISO με την κωδική ονομασία 17123-8, που περιλαμβάνει μεθόδους ελέγχων πεδίου για γεωδαιτικές και τοπογραφικές διατάξεις στην μέθοδο Σχετικού Κινηματικού Εντοπισμού Πραγματικού χρόνου (RTK).

Προκειμένου το σύστημα να είναι απαλλαγμένο από συστηματικά σφάλματα που σχετίζονται με τις μετρητικές διατάξεις, σχεδιάστηκαν και κατασκευάστηκαν πρωτότυπες βάσεις που ενσωματώνονται εύκολα και με χαμηλό κόστος στον εξοπλισμό ενός συνηθισμένου γραφείου μηχανικού. Για την ίδρυση του Δικτύου Ελέγχου κατά το πρότυπο του ISO, χρησιμοποιήθηκαν γεωδαιτικά όργανα υψηλής ακρίβειας.

Τα αποτελέσματα του μετρολογικού ελέγχου αποδίδουν τυπικές αποκλίσεις βελτιωμένες συγκριτικά με τις a-priori που δίνονται από τον κατασκευαστή και η συμπεριφορά του συστήματος κρίνεται ικανοποιητική με όρους αξιοπιστίας, σταθερότητας λύσης και εύρωστης λειτουργίας.

Αποδεικνύεται ότι οι δέκτες GNSS χαμηλού κόστους με δυνατότητα μέτρησης φάσεων, έχουν αντίστοιχη απόδοση λειτουργίας και ακρίβειας με ακριβότερους δέκτες για εφαρμογές πραγματικού χρόνου σε περιορισμένου μήκους βάσεις. Μπορούν δυνητικά να θεωρηθούν δέκτες τοπογραφικής-γεωδαιτικής ακρίβειας και να αντικαταστήσουν τους ακριβότερους γεωδαιτικούς δέκτες σε μία σειρά από καθημερινές εργασίες του Τοπογράφου Μηχανικού. Ωστόσο, η

λειτουργία τους σε δύσκολες συνθήκες, όπως αυτές που αντιμετωπίζονται σε καθημερινές τοπογραφικές εργασίες, χρειάζεται να εξεταστεί περαιτέρω.

University of West Attica  
School of Engineering  
Department of Surveying & Geoinformatics Engineering  
Master of Science in Geospatial Technologies

**Metrological testing of low-cost GNSS receivers for RTK applications**

Master Thesis

**Konstantas Georgios**

September 2019

**ABSTRACT**

Global Navigation Satellite Systems are used during the last 30 years in scientific, as well in business and commercial applications. The need for reliable navigation systems, mainly until the termination of Selective Availability for GPS in 2000, yielded in implementing of differential and relative navigation methods that resulted in positioning determination in the level of few millimeters. During the last decade, GNSS use expanded in every aspect of human activity, so GNSS receivers' development flourished. Navigation receivers, integrated in mobile devices or simple chipsets, are effectively used by non-specialists in mass-market level. Further evolution of such receivers, such as phase observation capability and multi-frequency functions, opens up the market for high-precision services for commercial use.

This Thesis exploits a low-cost GNSS evaluation kit of Swiss company u-blox, in order to implement field tests, as described in the ISO standard 17123-8. The standard consists of methods of field testing of GNSS equipment in Real Time Kinematic (RTK).

Prototype adapters for fixing the u-blox kit on a tribrach were designed and fabricated, in order to create a measuring system free of systematic errors. The prototypes were designed so that they could be easily and cheaply integrated in an engineer's office equipment. High-precision geodetic equipment was used to establish the field network.

Results of the field tests produced improved standard deviations compared to a-priori values given by the receivers' manufacturer. The system's behaviour is considered satisfactory in terms of reliability, stability of solution and robustness.

It is stated that low-cost GNSS receivers with carrier-phase measurement capability, achieve similar level of performance and accuracy as their expensive alternatives in short baseline RTK applications. Under optimal observation conditions, they can offer survey-grade accuracy and be a substitute of geodetic receivers for tasks of a Geomatics Engineer. Nevertheless, their performance under challenging conditions, like the ones encountered in the every-day surveying works, needs to be further investigated.



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία, όπως παρουσιάζεται, εκπονήθηκε στο πλαίσιο της ολοκλήρωσης του κύριου σπουδών μου στο Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Γεωχωρικές Τεχνολογίες» του Τμήματος Μηχανικών Τοπογραφίας & Γεωπληροφορικής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής.

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον επιβλέποντα Καθηγητή μου Μ. Γιαννίου, για την έμπνευση, την εμπιστοσύνη, την υποστήριξη καθόλη την διάρκεια των σπουδών μου, τόσο σε προπτυχιακό, όσο και σε μεταπτυχιακό επίπεδο.

Ευχαριστώ επίσης τους φίλους, Ι. Πολυράτη, Μηχανολόγο Μηχανικό και Ε. Ρινάκη, Τεχνίτη Ξυλουργικής, για την σημαντική τους συνεισφορά στον σχεδιασμό και την κατασκευή των πρωτότυπων βάσεων που χρησιμοποιήθηκαν στις μετρητικές μου διατάξεις.

Ειδική ευχαριστήρια μνεία στην οικογένειά μου, τους γονείς μου και τον αδελφό μου, για την κατανόηση και υποστήριξη τους όλα τα χρόνια των σπουδών μου.

ARP	Antenna Reference Point
ATR	Automatic Target Recognition
BDS	BeiDou Navigation Satellite System
CAD	Computed Aided Design
CDGNSS	Carrier-phase Differential Global Navigation Satellite Systems
CDMA	Code Division Multiple Access
CEP	Circular Error Probable
CLI	Command-line interface
COM	Communication port
CORS	Continuously Operating Reference Station
CSNO	Chinese Satellite Navigation Office
DDC	Display Data Channel
DGNSS	Differential Global Navigation Satellite System
DGPS	Differential Global Positioning System
DOP	Dilution of Precision
DRMS	Distance Root Mean Square
ECEF	Earth-Centered Earth-Fixed
ECI	Earth-Centered Inertial
EDM	Electronic Distance Measurement
EGNOS	European Geostationary Navigation Overlay Service
ESA	European Space Agency
ETRS	European Terrestrial Reference System
EUREF	European Terrestrial Reference Frame
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FIG	Fédération Internationale des Géomètres
GDOP	Geometric Dilution of Precision
GIS	Geographic Information System
GLONASS	Global Navigation System
GNSS	Global Navigation Satellite Systems
GPS	Global Positioning System
GUI	Graphical User Interface
HAE	Height Above ellipsoid
HEPOS	HEllenic POsitioning System
HTRS	Hellenic Terrestrial Reference System
IGS	International GNSS Service
IMU	Inertial measurement unit
ISO	International Organization for Standardization
ITRF	International Terrestrial Reference Frame
ITRS	International Terrestrial Reference System
LED	Light Emitting Diode
LOS	Line Of Sight
MGEX	Multi-GNSS Experiment

MSAS	MTSAT Satellite Augmentation System
MSL	Mean Sea Level
MSM	Multiple Signal Message
NED	Northing Easting Down
NLOS	Non Line Of Sight
NTRIP	Networked Transport of RTCM via Internet Protocol)
NMEA	National Marine Electronics Association
OEM	Original Equipment Manufacturer
PCV	Phase Center Variations
PDA	Personal Digital Assistant
PDF	Print Document Format
PRS	Public Regulated Service
PVT	Position Velocity Time
RMS	Quasi-Zenith Satellite System
RTCM	Radio Technical Commission for Maritime Services
RTK	Real-Time Kinematic
SAR	Search And Rescue
SBAS	Satellite-Based Augmentation Systems
SEP	Spherical Error Probable
SLAM	Simultaneous Localization And Mapping
SPI	Serial Peripheral Interface
SV	Satellite Vehicle
TOA	Time Of Arrival
TTF	Time To First Fix
UART	Universal asynchronous receiver-transmitter
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
UHF	Ultra High Frequency
USB	Universal Serial Bus
UTC	Coordinated Universal Time
VISRTK	Visual RTK
WAAS	Unmanned Aerial Vehicle
WGS	World Geodetic System

ΓΥΣ	Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού
ΕΓΣΑ	Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς



## Πίνακας Περιεχομένων

Εισαγωγή .....	1
Σκοπός της εργασίας.....	1
Δομή της εργασίας .....	1
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 Γενικά περί GNSS.....</b>	<b>3</b>
1.1 Πλοήγηση .....	3
1.2 GNSS - Εισαγωγή.....	3
1.3 Βασικές Αρχές δορυφορικής πλοήγησης.....	5
1.3.1 Η αρχιτεκτονική ενός συστήματος GNSS .....	5
1.3.2 Η δομή του σήματος GNSS. Η περίπτωση του GPS.....	8
1.3.3 Μέθοδοι εντοπισμού με GNSS. Οι μετρήσεις κώδικα και φάσης.....	10
1.4 Περιγραφή των Παγκόσμιων Δορυφορικών Συστημάτων Πλοήγησης .....	14
1.4.1 GLONASS.....	15
1.4.2 GALILEO .....	15
1.4.3 BeiDou.....	17
1.4.4 Διαφορές μεταξύ συστημάτων GNSS .....	18
1.4.5 Μαθηματικό Μοντέλο GPS.....	19
1.4.6 Μαθηματικό Μοντέλο GLONASS .....	20
1.5 Πηγές σφαλμάτων στον Δορυφορικό Εντοπισμό .....	21
1.5.1 Σφάλματα σχετιζόμενα με τους δορυφόρους.....	21
1.5.2 Σφάλματα σχετιζόμενα με τους δέκτες και το περιβάλλον μετρήσεων .....	23
1.5.3 Σφάλματα σχετιζόμενα με τη διάδοση του σήματος .....	25
1.6 Μέτρα Ακρίβειας.....	27
1.7 Τεχνικές Διαφορικού εντοπισμού (DGNSS).....	31
1.7.1 Διαφορικές τεχνικές βασισμένες σε μετρήσεις κώδικα.....	33
1.7.2 Διαφορικές τεχνικές βασισμένες σε μετρήσεις φάσης - ο σχετικός εντοπισμός... 34	

1.7.3	Μέθοδος Σχετικού Στατικού προσδιορισμού θέσης .....	37
1.7.4	Μέθοδος Σχετικού Κινηματικού προσδιορισμού θέσης .....	37
1.7.5	Μηνύματα διορθώσεων DGNS .....	38
1.8	Συστήματα Αναφοράς.....	40
1.8.1	WGS 84.....	41
1.8.2	Τοπικά συστήματα αναφοράς. Το ΕΓΣΑ87 .....	42
1.8.3	HTRS07.....	43
1.8.4	Η χρήση του HEPOS. Μετασχηματισμός μεταξύ HTRS07-ΕΓΣΑ87 .....	43
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 Οι Δέκτες GNSS.....</b>		<b>46</b>
2.1	Η Δομή του Γεωδαιτικού Δέκτη GNSS.....	46
2.2	Τα Προϊόντα OEM (Original Equipment Manufacturer).....	48
2.3	Οι δέκτες πλοήγησης – υψηλής ευαισθησίας, Low-cost GNSS.....	49
2.4	Η αγορά των Δεκτών Πλοήγησης .....	51
2.5	Το U-blox evaluation kit C94-m8p.....	54
2.5.1	Ρύθμιση των δεκτών.....	56
2.5.2	Το λογισμικό u-center .....	57
2.5.3	Ρυθμίσεις για λειτουργία Base .....	58
2.5.4	Ρυθμίσεις για λειτουργία Rover.....	60
2.5.5	Ρυθμίσεις κοινές για λειτουργίες base και rover .....	60
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 Έλεγχος διατάξεων κατά ISO 17123 part 8 .....</b>		<b>63</b>
3.1	Βασικές Προϋποθέσεις του ISO 17123-8.....	63
3.2	Απλοποιημένο Τεστ.....	64
3.2.1	Μετρήσεις Απλοποιημένου τεστ .....	64
3.2.2	Υπολογισμοί απλοποιημένου τεστ.....	65
3.3	Πλήρες Τεστ.....	66
3.3.1	Μετρήσεις Πλήρους Τεστ.....	66
3.3.2	Υπολογισμοί Πλήρους Τεστ .....	67
3.3.3	Στατιστικοί έλεγχοι Πλήρους Τεστ .....	68

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4</b>	<b>Αξιολογήση u-blox C94-M8p-3 kit με πειραματική διεξαγωγή ελέγχου ISO 17123-8</b>	<b>71</b>
4.1	Προσέγγιση.....	71
4.2	Προετοιμασία εργασιών πεδίου.....	73
4.3	Εξοπλισμός.....	74
4.3.1	Γεωδαιτικός δέκτης GPS Topcon HiPer PRO.....	75
4.3.2	Ρομποτικός Γεωδαιτικός Σταθμός Leica TS30.....	76
4.3.3	Σύστημα δεκτών GNSS υψηλής ευαισθησίας u-blox C94-M8P.....	77
4.4	Η ίδρυση του Δικτύου Ελέγχου.....	79
4.5	Η διαδικασία της πειραματικής διεξαγωγής ελέγχου κατά ISO 17123-8 για το u-blox c94-m8p.....	85
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5</b>	<b>Επεξεργασία Δεδομένων και Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων.....</b>	<b>87</b>
5.1	Διαλογή μετρήσεων και μετασχηματισμός σε προβολικές συντεταγμένες.....	87
5.2	Οι Ελεγχοι κατά ISO 17123-8 για το u-blox C94-M8P.....	90
5.2.1	Ο έλεγχος του Απλοποιημένου Τεστ για το u-blox C94-M8P.....	90
5.2.2	Παρατηρήσεις και σχολιασμός του Απλοποιημένου Τεστ.....	98
5.2.3	Η υλοποίηση του Πλήρους Τεστ για το u-blox C94-M8P.....	100
5.2.4	Στατιστικοί έλεγχοι του Πλήρους Τεστ.....	102
5.2.5	Έλεγχος σφαλμάτων a-posteriori.....	105
5.2.6	Σύγκριση δεδομένων προερχόμενων από το μήνυμα υψηλής ακρίβειας.....	106
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6</b>	<b>Συμπεράσματα – Προοπτικές.....</b>	<b>108</b>
6.1	Εισαγωγή.....	108
6.2	Συμπεράσματα.....	110
6.3	Προοπτικές.....	112
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7</b>	<b>Ευρετήριο εικόνων και πινάκων.....</b>	<b>116</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8</b>	<b>Βιβλιογραφία - Πηγές.....</b>	<b>119</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9</b>	<b>Παράρτημα.....</b>	<b>122</b>





## Εισαγωγή

### ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Τα Παγκόσμια Συστήματα Δορυφορικής Πλοήγησης (GNSS) αξιοποιούνται στην καθημερινότητα σε ένα ευρύ φάσμα της ανθρώπινης δραστηριότητας. Η ανάπτυξη δεκτών χαμηλού κόστους, δηλαδή με κόστος αγοράς μικρότερο από 1000 \$, που παρατηρούν φάσεις, έχει ενδιαφέρον για όσες εφαρμογές απαιτούν ακρίβειες προσδιορισμού θέσης της τάξης λίγων cm. Η εργασία έχει ως αντικείμενο την αξιολόγηση της απόδοσης των δεκτών GNSS χαμηλού κόστους για εφαρμογές πραγματικού χρόνου (RTK), μέσω μετρολογικών ελέγχων που βασίζονται στο Πρότυπο του Διεθνούς Οργανισμού Πιστοποίησης (ISO) 17123-8.

Ο σκοπός των εργασιών είναι να αποδειχθεί κατά πόσο αυτοί οι δέκτες μπορούν να θεωρηθούν τοπογραφικής ακρίβειας (survey-grade) και εάν μπορούν να αξιοποιηθούν σε τοπογραφικές – γεωδαιτικές εφαρμογές.

### ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η εργασία αναπτύχθηκε σε 6 Κεφάλαια.

Στο πρώτο Κεφάλαιο παρουσιάζεται μια εισαγωγή στα Παγκόσμια Συστήματα Δορυφορικής Πλοήγησης (GNSS). Παρατίθενται οι βασικές αρχές, η αρχιτεκτονική ενός συστήματος GNSS και επεξηγείται η δομή του σήματος που εκπέμπουν οι δορυφόροι. Περιγράφονται επίσης οι τρόποι μέτρησης της απόστασης μεταξύ δορυφόρων – δεκτών (μετρήσεις κώδικα και μετρήσεις φάσεων). Παρουσιάζεται μία σύντομη περιγραφή των χαρακτηριστικών των κυριότερων GNSS και αναλύονται οι διαφορές τους. Αναφέρονται οι πηγές σφαλμάτων στον δορυφορικό εντοπισμό και η έκφρασή των αβεβαιοτήτων τους μέσω των μέτρων ακριβείας. Γίνεται μία εκτεταμένη αναφορά στις τεχνικές διαφορικού (DGNSS) και σχετικού εντοπισμού, καθώς αποτελούν τον πυρήνα της εργασίας. Τέλος, γίνεται αναφορά στα Συστήματα Αναφοράς και την χρήση του HEPOS.

Το δεύτερο Κεφάλαιο είναι αφιερωμένο στους δέκτες GNSS. Περιγράφεται η δομή ενός γεωδαιτικού δέκτη, επεξηγείται ο όρος OEM και γίνεται μία αναφορά στους δέκτες πλοήγησης – υψηλής ευαισθησίας και την αγορά του GNSS. Τέλος, γίνεται μια παρουσίαση του u-blox evaluation kit C94-M8P, που χρησιμοποιήθηκε στον μετρολογικό έλεγχο.

Το τρίτο Κεφάλαιο αφορά την αναλυτική περιγραφή του Προτύπου ISO 17123-8. Περιγράφονται οι βασικές προϋποθέσεις του Προτύπου και αναφέρονται οι διαδικασίες που προβλέπει για τις μετρήσεις και τους υπολογισμούς, τόσο στην Απλοποιημένη, όσο και στην Πλήρη μορφή του. Με τον ίδιο τρόπο παρουσιάζονται οι στατιστικοί έλεγχοι που προβλέπονται.

Το τέταρτο Κεφάλαιο περιγράφει την προσέγγιση και την μεθοδολογία που ακολουθήθηκε προκειμένου να αξιολογηθούν οι δέκτες u-blox με διεξαγωγή του μετρολογικού ελέγχου κατά ISO. Αναφέρονται οι διαδικασίες της προετοιμασίας των εργασιών πεδίου, ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε και οι ρουτίνες ίδρυσης του Δικτύου ελέγχου. Τέλος περιγράφεται η διαδικασία των εργασιών πεδίου.

Στο πέμπτο Κεφάλαιο αναλύεται η επεξεργασία των δεδομένων που συλλέχθηκαν και η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Περιγράφεται η διαλογή των μετρήσεων και στη συνέχεια η διεξαγωγή του ελέγχου τόσο του Απλοποιημένου, όσο και του Πλήρους τεστ και των στατιστικών ελέγχων, με σχόλια και παρατηρήσεις.

Το έκτο και τελευταίο Κεφάλαιο είναι αφιερωμένο στην σύνοψη των συμπερασμάτων και στη παρουσίαση των προοπτικών που υπάρχουν στον χώρο των δεκτών GNSS χαμηλού κόστους.

Στο τέλος της εργασίας, παρατίθενται σε μορφή παραρτήματος επιλεγμένες παρατηρήσεις που πραγματοποίησε ο δέκτης rover κατά τη διάρκεια της διαδικασίας του ISO τεστ, όπως καταγραφθήκαν και επεξεργάστηκαν.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 Γενικά περί GNSS

### 1.1 ΠΛΟΗΓΗΣΗ

Με τον όρο πλοήγηση, δηλαδή την ενέργεια του πλοηγώ, νοείται ο προσδιορισμός θέσης μιας κινούμενης πλατφόρμας και η καθοδήγηση της. Ο προσδιορισμός θέσης συνίσταται στον υπολογισμό συντεταγμένων σε ένα σαφώς καθορισμένο σύστημα αναφοράς συντεταγμένων (προβολικών ή γεωγραφικών). Συντελείται μέσω μετρήσεων διαφόρων φυσικών μεγεθών, μεταξύ σημείων γνωστής θέσης και του υπό προσδιορισμού σημείου. Οι μετρήσεις (πχ. αποστάσεων, γωνιών) δίνουν έναν γεωμετρικό τόπο για τη θέση του αγνώστου σημείου που ονομάζεται γραμμή θέσης (Line of Position) [1]. Το στίγμα προκύπτει από την τομή 2 ή περισσότερων γραμμών θέσης.

Σαν πιο γενικός όρος, η πλοήγηση περιλαμβάνει επίσης τον προσδιορισμό της ταχύτητας και του προσανατολισμού μιας πλατφόρμας. Σε άλλες προσεγγίσεις, αναφέρεται ως η τέχνη του προγραμματισμού και διατήρησης της διαδρομής από ένα γνωστό σημείο σε ένα άλλο, αποφεύγοντας εμπόδια και συγκρούσεις, αυτόματα ή χειροκίνητα [2].

Στη βιβλιογραφία, αναφέρονται πολλές μέθοδοι πλοήγησης. Ένας βασικός διαχωρισμός αυτών πραγματοποιείται με βάση τις τεχνικές προσδιορισμού της τρέχουσας θέσης:

- Dead Reckoning (πλοήγηση με αναμέτρηση): Η μεταβολή προκύπτει, γενικά, από την προηγούμενη θέση και την μεταβολή της μέσω ολοκλήρωσης της παρατήρησης της ταχύτητας. Σε σημείο με γνωστό διάνυσμα θέσης, προστίθεται η μεταβολή της θέσης για εύρεση νέου διανύσματος.

$$X_2 = X_1 + \Delta X_{12} \quad (1)$$

- Position Fixing: Προσδιορισμός θέσης χωρίς γνώση προηγούμενης θέσης, όπως πραγματοποιείται με τα επίγεια ή δορυφορικά συστήματα (πχ μέτρηση GNSS, Radar).

### 1.2 GNSS - ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η δορυφορική πλοήγηση είναι μία μέθοδος που χρησιμοποιεί ένα ή περισσότερα Δορυφορικά Συστήματα Πλοήγησης, με σκοπό να προσδιοριστεί η θέση, η ταχύτητα και ο χρόνος οπουδήποτε στον κόσμο. Δορυφορικοί δέκτες χρησιμοποιούνται σε παγκόσμιο επίπεδο, τόσο

από πολίτες, όσο και από οργανισμούς για προσδιορισμό θέσης, πλοήγησης, τοπογραφίας, χρόνου, σε μια πληθώρα πρακτικών, εμπορικών, επαγγελματικών, στρατιωτικών εφαρμογών.

Η δορυφορική πλοήγηση βασίζεται στη μέτρηση αποστάσεων με την αρχή TOA (Time of Arrival), δηλαδή μετρώντας τον χρόνο που χρειάζεται ένα σήμα που διαβιβάζεται από έναν πομπό που βρίσκεται σε γνωστή θέση μέχρι να φτάσει σε έναν δέκτη.

Ο χρόνος διάδοσης του σήματος, πολλαπλασιασμένος με την ταχύτητα του σήματος, δίνει την απόσταση μεταξύ πομπού - δέκτη. Με ταυτόχρονες μετρήσεις από πολλαπλούς πομπούς που βρίσκονται σε γνωστές θέσεις, ο δέκτης μπορεί να προσδιορίσει τη θέση του με τη διαδικασία της πλευρικής οπισθοτομίας στο χώρο.

Ο όρος GNSS αφορά κάθε παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα πλοήγησης, που μέσω ενός δικτύου δορυφόρων παγκόσμιας κάλυψης, μεταδίδει σήματα με πληροφορία θέσης και χρόνου.

Χρησιμοποιώντας ένα τέτοιο σύστημα ένας χρήστης μπορεί να προσδιορίσει άμεσα σε οποιοδήποτε σημείο υπάρχει κάλυψη από τους δορυφόρους:

- Θέση (γεωγραφικό πλάτος, μήκος και ελλειψοειδές υψόμετρο) με ακρίβειες από 20m έως λίγα χιλιοστά.
- Χρόνο (UTC) με ακρίβεια από 60ns έως λίγα ns.

Ως παράγωγα μεγέθη, μπορούν επίσης να προσδιοριστούν η ταχύτητα, η επιτάχυνση και η κατεύθυνση μιας κινούμενης πλατφόρμας που παρατηρεί μέσω δέκτη τους δορυφόρους που απαρτίζουν το σύστημα GNSS.

Η αρχή λειτουργίας των δορυφορικών συστημάτων πλοήγησης παγκόσμιας κάλυψης, περιλαμβάνει 24 ή περισσότερους δορυφόρους, με απόσταση από το γεώκεντρο μεταξύ 25000 και 30000 χλμ., ώστε να υπάρχει θέαση 4 δορυφόρων ταυτόχρονα σε οποιαδήποτε θέση της γης. Η βασική αρχή, αποτελεί τον προσδιορισμό τριών συνιστωσών διανύσματος θέσης και μιας διόρθωσης χρόνου. Στην πράξη, συνήθως παρατηρούνται περισσότεροι δορυφόροι από τους 4 απαιτούμενους, οπότε υπάρχει περίσσεια παρατηρήσεων. Η αξιοπιστία των δεδομένων επιτυγχάνεται με υποβοήθηση από τα διαστημικά συστήματα επαύξησης (SBAS).

Πλεονέκτημα ενός συστήματος GNSS είναι η ανεξαρτησία του στον καθορισμό αρχικών τιμών (self-initializing).

Βασικά μειονεκτήματα ενός συστήματος GNSS, για εφαρμογές πλοήγησης, αποτελούν ο χαμηλός ρυθμός εξόδου των αποτελεσμάτων (συνήθως 1Hz στους απλούς δέκτες), η χαμηλή ακρίβεια

attitude και η ευαισθησία στις παρεμβολές του σήματος. Σαφής είναι και η αδυναμία λειτουργίας του συστήματος χωρίς επαρκώς ανοιχτό ορίζοντα.

### 1.3 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗΣ ΠΛΟΗΓΗΣΗΣ

Τα δορυφορικά συστήματα πλοήγησης χρησιμοποιούν δύο βασικές αρχές για τον προσδιορισμό συντεταγμένων:

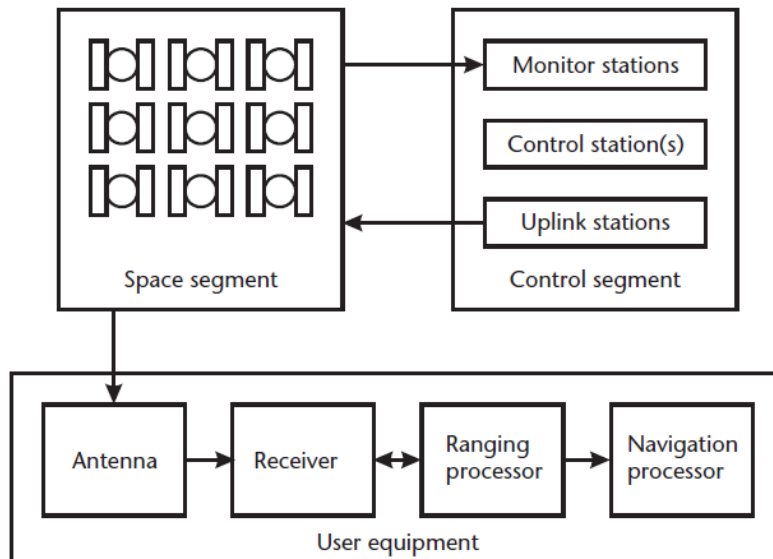
- 1) Δορυφόροι με γνωστή θέση (γνωστές τροχιές) εκπέμπουν ένα γνωστό σήμα.
- 2) Το διάστημα μεταξύ δορυφόρου - δέκτη υπολογίζεται από την μέτρηση του χρόνου που μεσολαβεί μεταξύ την εκπομπή του σήματος από τον δορυφόρο και τη λήψη του σήματος από τον δέκτη.

Τα δορυφορικά συστήματα πλοήγησης αποτελούνται από σχηματισμό δορυφόρων κατανεμημένο έτσι, ώστε, δυνητικά σε κάθε σημείο στο έδαφος, να είναι δυνατή η ταυτόχρονη θέαση τουλάχιστον 4 δορυφόρων. Οι δορυφόροι GNSS εκπέμπουν συνεχώς με ακρίβεια τη θέση και τον χρόνο τους, με σήματα που ταξιδεύουν με την ταχύτητα του φωτός (περίπου 300000km/s) και ως εκ τούτου χρειάζονται περίπου 67ms να φτάσουν σε έναν δέκτη GNSS επί τη Γης. Για τον υπολογισμό του χρόνου ταξιδιού και συνεπαγωγικά της απόστασης μεταξύ πομπού – δέκτη, χρησιμοποιείται η γνώση του χρόνου εκπομπής από τον δορυφόρο, σε συνδυασμό με την χρονομέτρηση του χρόνου άφιξης του σήματος στον δέκτη. Τα δύο ρολόγια πρέπει να είναι συγχρονισμένα και η ακρίβεια προσδιορισμού του χρόνου επηρεάζεται άμεσα η ακρίβεια προσδιορισμού του διανύσματος πομπού - δέκτη.

Στον τρισδιάστατο χώρο, η θέση προσδιορίζεται στην πράξη από την τομή 3 σφαιρών ακτίνας ίσης με το διάστημα δορυφόρου – δέκτη. Αυτό το αξίωμα θα ικανοποιούταν πλήρως, μόνο εάν τα ρολόγια σε δορυφόρους και δέκτες ήταν πλήρως συγχρονισμένα. Για την επίτευξη λύσης στον τρισδιάστατο χώρο, απαιτείται η επίλυση 4 αγνώστων παραμέτρων (latitude, longitude, height, Receiver Time Offset), οπότε παρατηρήσεις προς τουλάχιστον 4 δορυφόρους (4 εξισώσεις).

#### 1.3.1 Η αρχιτεκτονική ενός συστήματος GNSS

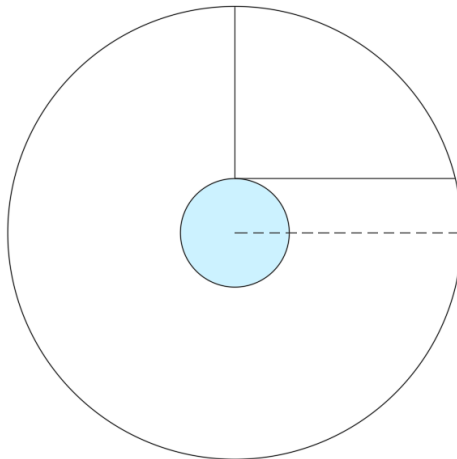
Η αρχιτεκτονική ενός δορυφορικού συστήματος πλοήγησης αποτελείται από 3 συστατικά: το τμήμα διαστήματος, το επίγειο τμήμα ελέγχου και το τμήμα χρηστών.



Εικόνα 1 - Αρχιτεκτονική συστήματος GNSS. Πηγή: [2]

### Το τμήμα διαστήματος (Space Segment)

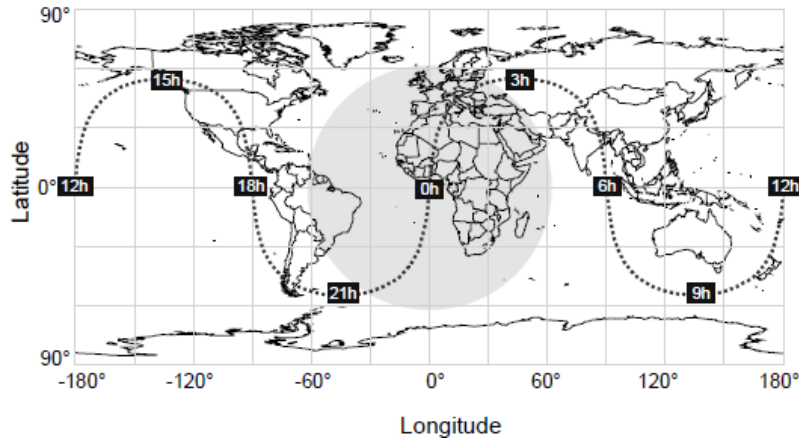
Το τμήμα διαστήματος ενός συστήματος GNSS αποτελείται από έως 32 δορυφόρους σε διαφορετικά τροχιακά επίπεδα (συνήθως 3 ή 6). Η ελλειπτική τους κίνηση (σχεδόν κυκλική) πραγματοποιείται σε ακτίνα μήκους  $26560 \text{ km}^1$ , που αντιστοιχεί σε απόσταση από ένα σημείο στη Γη από  $20192 \text{ km}$  όταν βρίσκονται στο ζενίθ, έως  $25785 \text{ km}$  όταν βρίσκονται σε γωνία ανύψωσης  $0^\circ$ , με κλίση περίπου  $55^\circ$  από τον Ισημερινό.



Εικόνα 2 - Η τροχιά ενός δορυφόρου και η διαφορά της απόστασης από ένα σημείο στη Γη σε γωνίες ανύψωσης  $0^\circ$  και  $90^\circ$ .

<sup>1</sup> Τα στοιχεία που παρατίθενται αφορούν το σύστημα GPS. Τα άλλα συστήματα GNSS έχουν ελαφρώς διαφοροποιημένο τμήμα διαστήματος, όπως θα αναφερθεί στη παράγραφο 1.4.

Για παγκόσμια κάλυψη χρειάζονται τουλάχιστον 24 δορυφόροι, δηλαδή σε ένα τέτοιο σύστημα αντιστοιχούν από 4-5 σε κάθε τροχιά. Η περίοδος περιστροφής κάθε δορυφόρου διαρκεί περίπου 12 ώρες και λόγω της περιστροφικής κίνησης της Γης, ο δορυφόρος βρίσκεται στην ίδια θέση κάθε 23 ώρες και 56 λεπτά.



Εικόνα 3 - Εμβέλεια ενός δορυφόρου GNSS σε ένα 24ώρο. Πηγή: [3]

### Το τμήμα ελέγχου (Control Segment)

Το τμήμα ελέγχου αποτελείται από επίγειους σταθμούς ελέγχου, επιφορτισμένους με την παρακολούθηση του τμήματος διαστήματος. Το τμήμα ελέγχου είναι υπεύθυνο για την υγεία, την συντήρηση των δορυφόρων και την ορθή τους λειτουργία. Αυτή αποτελείται από την διατήρηση των δορυφόρων σε σωστές τροχιές και από την παρακολούθηση της υγείας και της κατάστασης τους. Τουλάχιστον μία φορά την ημέρα, γίνεται διόρθωση των ρολογιών και ανανέωση των συνιστωσών του μηνύματος πλοήγησης που εκπέμπει ένας δορυφόρος (εφημερίδες και almanac).

Το almanac είναι ένα μειωμένης ακρίβειας υποσύνολο της εφημερίδας. Περιέχει τις 7 από τις συνολικά 15 παραμέτρους που σχετίζονται με την τροχιά ενός δορυφόρου [4]. Το almanac χρησιμοποιείται για μία προσεγγιστική εκτίμηση της θέσης των δορυφόρων, ώστε να βοηθήσει στη διαδικασία της αρχικοποίησης του δορυφορικού σήματος στον δέκτη.

Συνοψίζοντας, οι βασικές αρμοδιότητες του τμήματος ελέγχου είναι:

- Η παρακολούθηση της κίνησης των δορυφόρων και ο υπολογισμός των δεδομένων της τροχιάς τους (εφημερίδα).
- Η παρακολούθηση των ρολογιών του τμήματος διαστήματος και η πρόβλεψη της συμπεριφοράς τους.
- Ο συγχρονισμός του δορυφορικού χρόνου.

- Η προώθηση των δεδομένων τροχιάς ακριβείας από το τμήμα διαστήματος στο τμήμα χρηστών.
- Η προώθηση των δεδομένων των προσεγγιστικών τροχιακών δεδομένων από το τμήμα διαστήματος στο τμήμα χρηστών (almanac).
- Η προώθηση των πληροφοριών όπως η υγεία των δορυφόρων, σφαλμάτων ρολογιών και άλλων ιδιοτήτων του τμήματος διαστήματος.

Στην περίπτωση του συστήματος GPS, το τμήμα ελέγχου ήταν υπεύθυνο για την Επιλεκτική Διαθεσιμότητα του δορυφορικού σήματος, που ήταν σε ισχύ μέχρι τον Μάιο του 2000.

### Το τμήμα χρηστών (User Segment)

Το τμήμα χρηστών αποτελείται από οποιαδήποτε συσκευή χρησιμοποιεί δέκτες GNSS για προσδιορισμό θέσης. Μέσω επεξεργασίας των σημάτων που ταξιδεύουν στις φέρουσες συχνότητες, οι χρήστες αποκτούν πληροφορίες σχετικά με τη θέση, την ταχύτητα και τον χρόνο (PVT). Καθώς η τεχνολογία στοχεύει στην σμίκρυνση των συσκευών και στην μαζική παραγωγή, η αγορά προχώρησε στην δημιουργία χαμηλού κόστους δεκτών GNSS, προσφέροντας δυνατότητες δορυφορικού εντοπισμού σε καθημερινής χρήσης συσκευές, όπως κινητά τηλέφωνα, PDA και κινούμενες πλατφόρμες. Το αποτέλεσμα είναι η ολοένα και μεγαλύτερη αύξηση του τμήματος χρηστών. Καθώς το τμήμα χρηστών αφορά τους δέκτες GNSS, θα γίνει εκτενής αναφορά στην αντίστοιχη παράγραφο (2.1).

#### 1.3.2 Η δομή του σήματος GNSS. Η περίπτωση του GPS.

Ο κάθε ένας από τους δορυφόρους είναι εξοπλισμένος με ατομικά ρολόγια ακριβείας, που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή μιας θεμελιώδους συχνότητας (10.23 MHz) για το σήμα και τη διατήρηση της κλίμακας του χρόνου. Για το σύστημα GPS, το σήμα ταξιδεύει πάνω σε κύματα-φορείς υψηλής συχνότητας, άμεσα συσχετισμένα με τη θεμελιώδη συχνότητα. Συγκεκριμένα, όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα οι λεγόμενες φέρουσες συχνότητες των σημάτων είναι οι εξής :

Πίνακας 1 - Οι συχνότητες των σημάτων GPS (πριν τον εκμοντερνισμό του συστήματος).

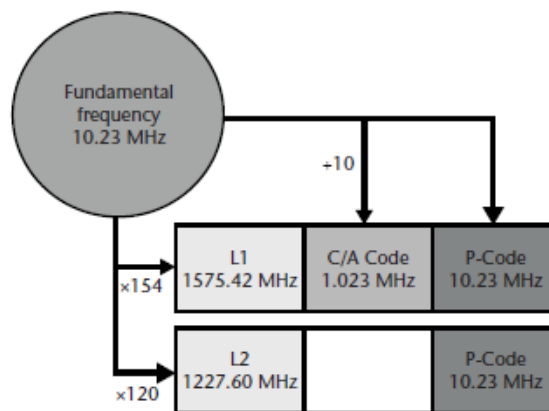
Θεμελιώδης συχνότητα	Διαμόρφωση	Φορείς
$f_0 = 10.23\text{MHz}$	$f_0 \times 154$	L1: 1575.42 MHz
	$f_0 \times 120$	L2: 1227.6 MHz



Η εκτίμηση της απόστασης πραγματοποιείται με δύο τρόπους. Είτε με πληροφορία εξαγόμενη από τη φάση του φέροντος κύματος, είτε με τη χρήση των μετρητικών κωδικών.

Οι μετρητικοί κώδικες, είναι δύο binary ακολουθίες που είναι διαμορφωμένες πάνω στη φέρουσα συχνότητα L1. Πρόκειται για τον κώδικα C/A (Coarse/Acquisition - προσεγγιστικός) και των κώδικα P (Precise - ακριβείας). Σε μη στρατιωτικούς δέκτες, είναι δυνατή η αποκρυπτογράφηση του πολιτικού – προσεγγιστικού κώδικα (C/A). Αυτοί οι κώδικες ονομάζονται και κώδικες ψευδοτυχαίου θορύβου, καθώς ενώ μοιάζουν να είναι τυχαίοι, μπορούν να αποκρυπτογραφηθούν από δέκτες που έχουν τα αντίγραφα τους.

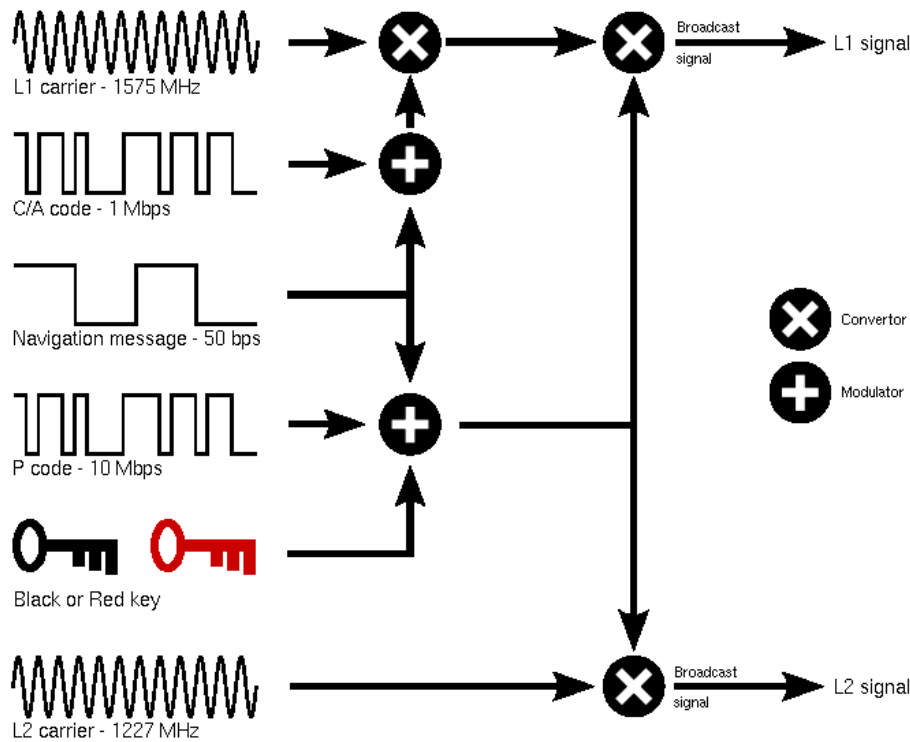
Η ένταση του σήματος τους που φτάνει στην Γη είναι μεταξύ -153dBW και -160dBW για την συχνότητα L1 και ακόμα πιο ασθενής για τις άλλες εκπεμπόμενες συχνότητες. Οι δορυφόροι τείνουν να αποκλίνουν από τις σχεδιασμένες τροχιές τους και υπόκεινται κατά διαστήματα σε διορθώσεις από το σύστημα ελέγχου [4].



Εικόνα 4 - Η δομή του σήματος GPS (πρω των εκμοντερισμό του συστήματος). Πηγή: Leica Geosystems

Η δομή του εκπεμπόμενου σήματος, εκτός από τις φέρουσες συχνότητες και τους μετρητικούς κώδικες, αποτελείται και από το μήνυμα πλοήγησης, απαραίτητο για την εξαγωγή μετρητικής πληροφορίας. Είναι ένας χαμηλής συχνότητας κώδικας (50Hz) που περιέχει τις εξής πληροφορίες:

- Τις εφημερίδες των δορυφόρων, δηλαδή πληροφορίες σχετικά με την τροχιά των δορυφόρων και τη διόρθωση των ρολογιών.
- Ιονοσφαιρικές διορθώσεις από το τμήμα ελέγχου.
- Το almanac, μία προσεγγιστική πληροφορία σχετικά με το που βρίσκεται ο κάθε δορυφόρος, ικανή για αναγνώριση των δορυφόρων και όχι για υπολογισμό απόστασης, όπως από τις εφημερίδες.
- Πληροφορίες για την υγεία των δορυφόρων.



Εικόνα 5 - Η διαμόρφωση των φορέων L1 και L2 του σήματος GPS. Πηγή: Wikimedia Commons

### 1.3.3 Μέθοδοι εντοπισμού με GNSS. Οι μετρήσεις κώδικα και φάσης.

Ο δορυφορικός εντοπισμός σχετίζεται άμεσα με το φαινόμενο Doppler. Το φαινόμενο Doppler αφορά την αρχή, ότι ένας παρατηρητής αντιλαμβάνεται διαφορετική συχνότητα από αυτή που εκπέμπει μια πηγή, λόγω της σχετικής μεταξύ τους κίνησης. Παρατηρώντας αυτή την διαφορά συχνότητας για ένα μικρό χρονικό διάστημα, ένας δέκτης μπορεί να ορίσει τη θέση του, σε συνδυασμό με γνώση της ακριβούς τροχιακής κίνησης των δορυφόρων. Εάν ως παρατηρητής θεωρηθεί ένας δέκτης GNSS και ως πηγή ένας δορυφόρος συστήματος GNSS, τότε ισχύει η σχέση [5] :

$$f_0 = f_s \left( \frac{1 - \frac{v \cos \theta}{c}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \right) \quad (2)$$

όπου:

- $f_0$  η συχνότητα που αντιλαμβάνεται ο δέκτης
- $f_s$  η συχνότητα που εκπέμπει ο δορυφόρος
- $c$  η ταχύτητα διάδοσης του σήματος στο κενό
- $v$  η σχετική ταχύτητα δέκτη – δορυφόρου

Η διαφορά  $\Delta f = f_0 - f_s$ , ονομάζεται μετατόπιση Doppler και είναι θετική όταν ο δορυφόρος πλησιάζει και αρνητική όταν απομακρύνεται. Αυτή η διαφορά λαμβάνεται υπ' όψιν στις κατασκευές δεκτών, ώστε να είναι δυνατή η αναγνώριση του δορυφορικού σήματος.

Στα συστήματα δορυφορικής πλοήγησης, υπάρχουν δύο είδη παρατηρήσεων στο δορυφορικό σήμα που μπορεί ο δέκτης να υπολογίσει την απόσταση του από τον κάθε δορυφόρο. Οι ψευδοαποστάσεις, δηλαδή ο υπολογισμός της απόστασης από τον κώδικα C/A (για την περίπτωση του GPS) και οι φάσεις του φέροντος κύματος. Λόγω των χαρακτηριστικών των σημάτων, όπως αποτυπώνονται στον παρακάτω Πίνακα, το μήκος κύματος των σημάτων είναι αυτό που καθορίζει και την ακρίβεια προσδιορισμού της απόστασης.

Πίνακας 2 - Χαρακτηριστικά των εκπεμπόμενων σημάτων GPS.

Θεμελιώδης Συχνότητα ατομικού ρολογιού	$f_0=10.23$ MHz
Συχνότητα L1	$154 * f_0 = 1575.42$ <b>Μήκος κύματος 19.05 cm</b>
Συχνότητα L2	$120 * f_0 = 1227.60$ MHz <b>Μήκος κύματος 24.45 cm</b>
C/A κώδικας	$f_0/10 = 1.023$ MHz <b>Μήκος κύματος 293.1 m</b>
Μήνυμα πλοήγησης	50 bps

Ο προσδιορισμός της απόστασης μεταξύ δορυφόρου – δέκτη, μπορεί να πραγματοποιηθεί με ελάχιστη μονάδα μέτρησης το 1% του μήκους κύματος. Αυτό συνεπάγεται, βέλτιστα και με κατάλληλες τεχνικές, μέγιστες ακρίβειες της τάξης του 0.25 m για μετρήσεις κώδικα και μερικόν χιλιοστών για μετρήσεις φάσης. Οι δέκτες καθημερινής χρήσης, όπως αυτοί που είναι ενσωματωμένοι σε κινητές συσκευές, tablets κλπ, έχουν, συνήθως, δυνατότητα υπολογισμού αποστάσεων μόνο μέσω του C/A κώδικα.

### Μετρήσεις Κώδικα (Code Ranging)

Ένας δέκτης GNSS υπολογίζει την απόσταση  $R$  από έναν παρατηρούμενο δορυφόρο, μετρώντας τον χρόνο  $\Delta t$  που κάνει ένας κώδικας ψευδοτυχαίου θορύβου να ταξιδέψει από τον πομπό (δορυφόρο) μέχρι τον δέκτη. Η απόσταση, σε απλοϊκή προσέγγιση, δίνεται από την σχέση:

$$R = c * \Delta t \quad (3)$$

- όπου  $c$  η ταχύτητα του φωτός.

Καθώς οι μετρήσεις είναι δύσκολο να υπολογιστούν άμεσα, ακολουθείται ενδεικτικά η παρακάτω διαδικασία. Σημειώνεται ότι η αναφερόμενη διαδικασία αφορά τις παρατηρήσεις L1 C/A του GPS.

- Όλοι οι δορυφόροι εκπέμπουν το σήμα L1, που ενσωματώνει τον C/A κώδικα, μοναδικό για κάθε δορυφόρο.
- Ο δέκτης ξεινά να δημιουργεί ένα όμοιο αντίγραφο του C/A.
- Το αντίγραφο συγκρίνεται με τον εισερχόμενο κώδικα συνεχώς (auto correlation) και μετατοπίζεται μέχρι να βρεθεί στην ίδια φάση με το εισερχόμενο.
- Το εύρος της μετατόπισης ισούται με το  $\Delta t$ .
- Υπολογίζεται η απόσταση, βάσει του τύπου (3).

Προκειμένου να γίνει ορθός υπολογισμός βάσει του χρόνου, όλα τα ρολόγια που συμμετέχουν στη διαδικασία, πρέπει να είναι συγχρονισμένα. Για λόγους κόστους, τα ρολόγια των δεκτών είναι χαμηλότερης ακρίβειας από τα ατομικά ρολόγια των δορυφόρων. Γι' αυτόν τον λόγο, η υπολογισμένη απόσταση από κώδικα ονομάζεται ψευδοαπόσταση, καθώς εκκρεμεί πάντα ο πλήρης συγχρονισμός του ρολογιού του δέκτη με το χρόνο GPS.

Εκτός από την πληροφορία σχετικά με τις διορθώσεις χρόνου, το μήνυμα πλοήγησης περιέχει επίσης όπως αναφέρθηκε τις εφημερίδες των δορυφόρων, οπότε και ταυτίζεται η υπολογισμένη απόσταση με τον δορυφόρο που αντιστοιχεί. Με υπολογισμένες αποστάσεις μεταξύ περισσότερων δορυφόρων, πρόκειται ουσιαστικά για μέθοδο δορυφορικής πλευρικής οπισθοτομίας, όπου οι δορυφόροι χρησιμοποιούνται ως σημεία γνωστής θέσης. Ένα ορθότερο μαθηματικό μοντέλο για τον υπολογισμό της απόστασης μεταξύ δέκτη - δορυφόρου μέσω κώδικα, αγνοώντας προς το παρόν τα περισσότερα σφάλματα που το επηρεάζουν, θα ήταν το εξής:

$$R = \rho + c * (dt - dT) \quad (4)$$

όπου

- $\rho$  η ψευδοαπόσταση
- $dt$  η διαφορά του ρολογιού δορυφόρου από το χρόνο GPS.
- $dT$ , η διαφορά του ρολογιού δέκτη από το χρόνο GPS.

Καθώς το offset του ρολογιού του δορυφόρου μπορεί να μοντελοποιηθεί από τη πληροφορία που μεταφέρει το μήνυμα πλοήγησης, η εξίσωση (3) απλοποιείται:

$$R = \rho + c * (-dT) = R = \rho - c * dT \quad (5)$$

Η αληθής απόσταση R δίνεται από τη γνωστή σχέση:

$$R = \sqrt{(X_s - X_r)^2 + (Y_s - Y_r)^2 + (Z_s - Z_r)^2} \quad (6)$$

όπου τα X,Y,Z αφορούν τις συντεταγμένες για δορυφόρο (s, γνωστές) και δέκτη (r, άγνωστες). Συνδυάζοντας τις εξισώσεις (5) και (6):

$$\rho = \sqrt{(X_s - X_r)^2 + (Y_s - Y_r)^2 + (Z_s - Z_r)^2} + c * dT \quad (7)$$

Γίνεται εύκολα αντιληπτό, ότι η εξίσωση της ψευδοαπόστασης είναι μια εξίσωση με 4 αγνώστους. Απαιτούνται λοιπόν παρατηρήσεις προς τουλάχιστον 4 δορυφόρους, ώστε να δοθεί μία λύσης τρισδιάστατης θέσης, ή 3 δορυφόροι για λύση δύο διαστάσεων (όπως πχ σε εφαρμογές πλοήγησης στη θάλασσα).

### Μετρήσεις φάσης (Carrier phase measurements)

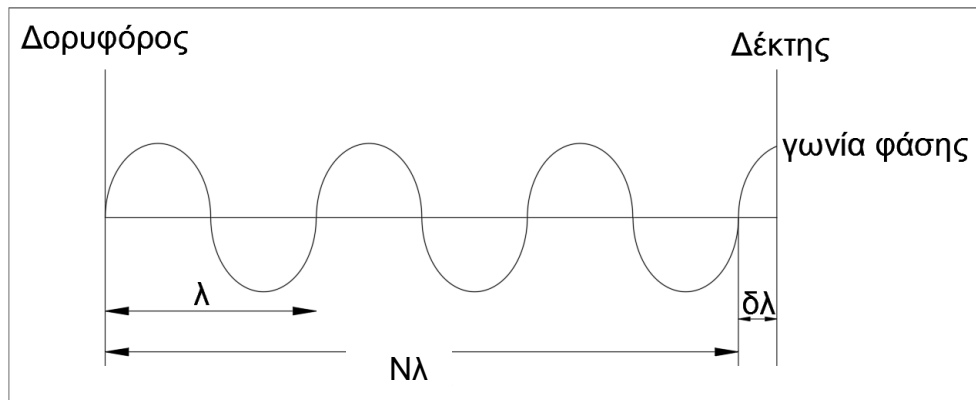
Ακόμα και στο σύγχρονο, βελτιωμένο σε δομή σήμα GNSS, με χρήση 2 πολιτικών κωδικών (L1 C/A, L2C) και 3 (L1, L2, L5) συχνοτήτων στην περίπτωση του GPS, η ακρίβεια υπολογισμού τρισδιάστατης θέσης από μετρήσεις κώδικα δε μπορεί να ξεπεράσει τα μερικά μέτρα. Οι εφαρμογές υψηλής ακρίβειας, όπως οι γεωδαιτικές μετρήσεις, απαιτούν ακρίβειες στο επίπεδο του cm, ή και καλύτερες. Γι αυτόν τον σκοπό, έχει αναπτυχθεί η μέθοδος υπολογισμού της απόστασης μεταξύ δορυφόρου – δέκτη, υπολογίζοντας την απόσταση από το φέρον κύμα.

Η αρχή του υπολογισμού απόστασης από την φάση, συνοψίζεται στον τύπο:

$$R = N\lambda + \Delta\lambda \quad (8)$$

όπου:

- N είναι ο ακέραιος αριθμός μηκών κύματος.
- λ είναι η γνωστή τιμή του μήκους κύματος.
- Δλ είναι το κλασματικό μέρος του μήκους κύματος = φ/2π\*λ.
- φ είναι η γωνία φάσης.



Εικόνα 6 - Η απόσταση υπολογισμένη από μετρήσεις φάσης.

Όπως γίνεται αντιληπτό, ο υπολογισμός της απόστασης χωρίζεται στο κομμάτι του ακέραιου μέρους και στο κομμάτι του κλασματικού μέρους.

Για το κλασματικό μέρος, ο δέκτης το υπολογίζει με συσχέτιση του εισερχόμενου σήματος με ένα αντίγραφο ίδιας συχνότητας που παράγεται από τον δέκτη, προσδιορίζοντας έτσι τη διαφορά φάσης των δύο σημάτων (εισερχόμενο και αντίγραφο). Αυτό εύκολα μπορεί να μετατραπεί σε γεωμετρική απόσταση.

Για το ακέραιο μέρος, το πρώτο βήμα στις περισσότερες τεχνικές επίλυσης της ασάφειας, είναι να δοθούν αρχικές προσεγγιστικές τιμές μέσω των μετρήσεων κώδικα με πληροφορίες από το μήνυμα πλοήγησης, με τον τρόπο που αναφέρθηκε παραπάνω. Χρησιμοποιώντας αυτές τις προσεγγιστικές τιμές, ο αλγόριθμος επίλυσης μπορεί να συνεχιστεί με μία σειρά από διαφορετικές μεθόδους [6]. Συνηθέστερη μέθοδος είναι μέσω δοκιμών μέχρι την επίτευξη μιας βέλτιστης λύσης βάσει στατιστικών ελέγχων και ενός ορισμένου κατωφλίου. Σε κάθε περίπτωση, η επίλυση της ασάφειας για το ακέραιο μέρος, πραγματοποιείται συνήθως με μεθόδους σχετικού εντοπισμού, όπως θα αναλυθεί στη συνέχεια.

#### 1.4 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΠΑΓΚΟΣΜΙΩΝ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΟΗΓΗΣΗΣ

Οι σύγχρονοι δέκτες GNSS έχουν την δυνατότητα να λαμβάνουν σήματα από μία πληθώρα συστημάτων Παγκόσμιας Δορυφορικής Πλοήγησης. Το Multi-GNSS είναι ένα σύστημα υπολογισμού θέσης, ταχύτητας και χρόνου (Position Time Velocity-PVT) αξιοποιώντας σήματα εκπεμπόμενα από πολλαπλά δορυφορικά συστήματα. Το αμερικανικό GPS υπήρξε ανέκαθεν το κυρίαρχο σύστημα GNSS για εμπορικές χρήσεις, αλλά πλέον όλο και περισσότεροι δέκτες μπορούν να αξιοποιήσουν τα σήματα συστημάτων GNSS, όπως του πλήρως λειτουργικού

ρωσικού GLONASS, αλλά και των αναπτυσσόμενων, όπως το ευρωπαϊκό GALILEO και το κινέζικο BeiDou. Ταυτόχρονα λειτουργούν και είναι διαθέσιμα συστήματα γεωστατικών δορυφόρων επαύξησης ακριβείας (SBAS), όπως τα WAAS (ΗΠΑ), EGNOS (Ευρώπη), MSAS (Ιαπωνία).

Το πλεονέκτημα χρήσης πολλαπλών δορυφορικών συστημάτων, είναι ότι προσφέρουν ευκολότερη περίσσεια παρατηρήσεων και βελτιώνουν τις λύσεις ακόμα και σε δύσκολο περιβάλλον λειτουργίας, ενώ εξασφαλίζεται εύρωστη λειτουργία στις παρεμβολές με τη χρήση των πολλαπλών συχνοτήτων από διαφορετικά συστήματα.

#### **1.4.1 GLONASS**

Το Παγκόσμιο Δορυφορικό Σύστημα Πλοήγησης GLONASS (GLObal NAVigation Satellite System) είναι ένα σύστημα δορυφορικού εντοπισμού παγκόσμιας κάλυψης που διευθύνεται από το Ρωσικό Υπουργείο Άμυνας. Το πρόγραμμα ξεκίνησε από την πρώην Σοβιετική Ένωση και σήμερα είναι υπό την δικαιοδοσία της Κοινοπολιτείας των Ανεξάρτητων Κρατών. Οι 3 πρώτοι δοκιμαστικοί δορυφόροι εκτοξεύθηκαν στις 12 Οκτωβρίου 1982.

Σήμερα, βρίσκονται στο τμήμα διαστήματος του συστήματος 27 δορυφόροι σε τροχιά, εκ των οποίων οι 24 είναι σε πλήρη λειτουργία, οι 2 λειτουργούν ως αναπληρωματικοί και ο ένας είναι σε φάση δοκιμών<sup>2</sup>. Τα βασικά χαρακτηριστικά του τμήματος διαστήματος του GLONASS είναι τα εξής:

- Λειτουργεί σε 3 επίπεδα τροχιών, με γωνία  $64.8^\circ$  από τον ισημερινό, ώστε να έχει καλύτερη κάλυψη στις πολικές περιοχές.
- Το υψόμετρο πτήσης είναι 19100km.
- Η περίοδος τροχιάς είναι 11 ώρες 15 λεπτά και 8 δευτερόλεπτα.
- Ο κάθε δορυφόρος εκπέμπει δύο κώδικες (πολιτικό και στρατιωτικό) σε δύο συχνότητες. Ο κάθε δορυφόρος εκπέμπει τον ίδιο κώδικα αλλά σε διαφορετικές συχνότητες (περισσότερα στο 1.4.4 παρακάτω)

#### **1.4.2 GALILEO**

Το σύστημα GALILEO είναι το Πρόγραμμα του ευρωπαϊκού GNSS που αναπτύσσεται από την Ευρωπαϊκή Ένωση σε συνεργασία με την Ευρωπαϊκή Διαστημική Υπηρεσία (ESA). Ο σχεδιασμός για την πλήρη λειτουργία του αφορά 30 δορυφόρους σε 3 επίπεδα τροχιών, σε

---

<sup>2</sup> πηγή δεδομένων GLONASS: <https://glonass-iac.ru/en/GLONASS/index.php>

υψόμετρο 23222 km πάνω από την επιφάνεια της Γης. Η γωνία κλίσης τους είναι καθορισμένη στις 56 μοίρες από τον ισημερινό.

Σήμερα, βρίσκονται στο τμήμα διαστήματος του GALILEO 22 πλήρως λειτουργικοί δορυφόροι, 2 σε στάδιο δοκιμών, 1 που δε χρησιμοποιείται και 1 που δεν είναι διαθέσιμος. Οι βασικές επιδιώξεις του Προγράμματος, σύμφωνα με την Ε.Ε.<sup>3</sup> είναι:

- Να επιτευχθεί ανεξαρτησία από τις δορυφορικές υπηρεσίες πλοήγησης των ΗΠΑ.
- Να δημιουργηθεί ένα αξιόπιστο σύστημα πλοήγησης. Σε κατάσταση πλήρους λειτουργίας, αναμένεται να προσφέρει ακρίβεια αυτόνομου εντοπισμού 4-15m για εμπορικές χρήσεις και 4-6m σε κρίσιμες χρήσεις που αφορούν την ασφάλεια. Εισάγονται διαδικασίες διαμόρφωσης του σήματος τέτοιες, που θα θωρακίζουν το σήμα ώστε να είναι πιο ανθεκτικό σε επίδραση του φαινομένου της πολυανάκλασης.
- Να υπάρχει ένα πλήρως πολιτικό σύστημα πλοήγησης. Το GALILEO αναπτύσσεται με γνώμονα τις πολιτικές/εμπορικές εφαρμογές, με εγγύηση λειτουργίας.
- Να δημιουργηθούν θέσεις εργασίας.
- Να αποκτηθεί τεχνογνωσία εντός Ευρώπης. Γίνεται προσπάθεια τα κύρια μέρη να κατασκευάζονται εντός ΕΕ (πχ τα ατομικά ρολόγια που χρησιμοποιούνται στους δορυφόρους του συστήματος).

Το GALILEO προσφέρει 5 διαφορετικά επίπεδα υπηρεσιών.

- 1) Η Ανοιχτή Υπηρεσία (Open Service-OS), προορίζεται για εφαρμογές μαζικής παραγωγής. Εκπέμπει σήμα στην ίδια συχνότητα με την L1 του GPS, δίνοντας τη δυνατότητα στους δέκτες χαμηλού κόστους μίας συχνότητας να συνδυάζουν μετρήσεις στα δύο συστήματα.
- 2) Η Εμπορική Υπηρεσία (Commercial Service-CS), προορίζεται για χρήσεις σε εφαρμογές με υψηλότερες απαιτήσεις απόδοσης. Θα διατίθεται με ετήσια συνδρομή.
- 3) Η Υπηρεσία Διάσωσης Ζωής (Safety of Life-SoL), προορίζεται κυρίως για χρήσεις μεταφορών, ώστε να διασφαλίζονται κωδικοποιημένες υπηρεσίες (κάτι σαν τους στρατιωτικούς κρυπτογραφημένους κώδικες του GPS) από πιστοποιημένους διπλόσυχνους δέκτες.
- 4) Η Υπηρεσία για την Προστασία των Πολιτών (Public Regulated Service-PRS), αφορά μια πολιτική υπηρεσία που θα παρέχει κωδικοποιημένες/πιστοποιημένες υπηρεσίες σε θεσμούς όπως στρατός, αστυνομία, πυροσβεστική και συνοριακούς σταθμούς. Θα

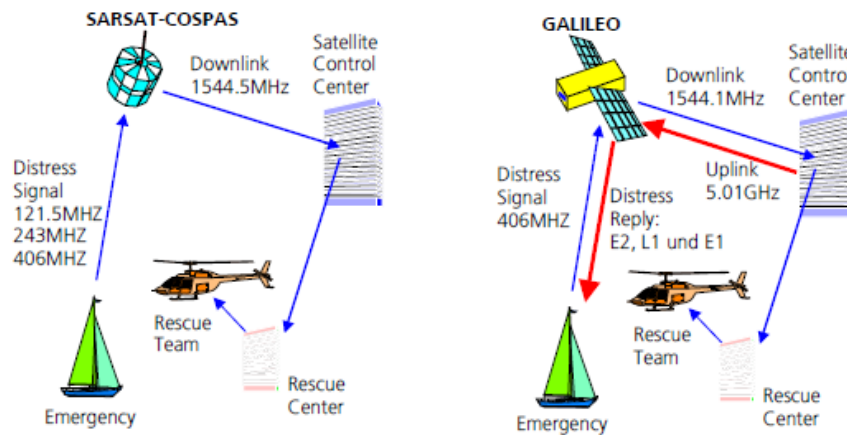
---

<sup>3</sup> πηγή δεδομένων GALILEO: <https://www.gsa.europa.eu>



διατηρεί την λειτουργία του, ακόμα και αν για λόγους ασφαλείας παύση η λειτουργία του δορυφορικού συστήματος.

- 5) Η Υπηρεσία Έρευνας και Διάσωσης (Search and Rescue-SAR function), θα χρησιμοποιείται για επιχειρήσεις διάσωσης. Η διαφορά με τις υπόλοιπες υπηρεσίες είναι η δυνατότητα αμφίδρομης επικοινωνίας μεταξύ τμήματος χρήστη – τμήματος διαστήματος – τμήματος ελέγχου.



Εικόνα 7 - Η υπηρεσία SAR. Δεξιά η διαφοροποίηση του GALILEO, σε σχέση με άλλα συστήματα που αναπτύσσουν παρόμοιες υπηρεσίες. Πηγή: [3]

Οι ονομαστικές σχεδιαζόμενες ακρίβειες για κάθε υπηρεσία, όπως παρέχονται από τη GSA, αποτυπώνονται στον παρακάτω Πίνακα.

Πίνακας 3 - Ονομαστικές ακρίβειες προσδιορισμού θέσης των υπηρεσιών GALILEO. Πηγή: European GNSS Agency.

Υπηρεσία	Τύπος δέκτη	Οριζοντιογραφική ακρίβεια θέσης	Κατακόρυφη ακρίβεια θέσης
OS	Μονής Συχνότητας	15m	35m
	Διπλής Συχνότητας	4m	8m
CS	Διπλής Συχνότητας	<1m	<1m
PRS	Μονής Συχνότητας	6.5m	12m
SoL	Διπλής Συχνότητας	4-6m	4-6m

### 1.4.3 BeiDou

Η Λαϊκή Δημοκρατία της Κίνας ανέπτυξε το δικό της σύστημα δορυφορικής πλοήγησης σε 3 στάδια. Στο πρώτο (BDS-1) που διήρκησε από το 1994 έως το 2003, ένα πειραματικό σύστημα 3 δορυφόρων, με αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ των τμημάτων (χρηστών, διαστήματος, ελέγχου) παρείχε τοπικά υπηρεσίες προσδιορισμού θέσης, χρόνου και επικοινωνιών. Στο δεύτερο στάδιο

(BDS-2) που διήρκησε μεταξύ 2004 – 2012, ένα σύστημα 14 δορυφόρων (5 γεωστατικών, 5 υψηλής τροχιάς και 4 μεσαίας τροχιάς) διεύρυνε το πεδίο λειτουργίας του BDS-1 στην ευρύτερη περιοχή της Ασίας και του Ειρηνικού Ωκεανού.

Το τρίτο στάδιο, από το 2009 και έως σήμερα, αφορά ένα παγκόσμιο σύστημα δορυφορικού εντοπισμού, που αυτή τη στιγμή περιλαμβάνει συνολικά 40 δορυφόρους, εκ των οποίων λειτουργικοί είναι οι 33. Το σύστημα λειτουργεί τόσο παθητικά, όπως τα υπόλοιπα GNSS, όσο και αμφίδρομα, όπως τα BDS-1 και BDS-2 και παρέχει υπηρεσίες βασικής και υψηλής ακρίβειας πλοήγησης, επαύξησης ακρίβειας (SBAS) και επικοινωνιών. Σύμφωνα με το Γραφείο Κινέζικης Δορυφορικής Πλοήγησης (CSNO), οι τρέχουσες βασικές αποδόσεις του συστήματος αποτυπώνονται ως εξής [7] :

- Κάλυψη του συστήματος: Παγκόσμια
- Ακρίβεια προσδιορισμού θέσης: 10m οριζοντιογραφικά και κατακόρυφα (2σ – 95%)
- Ακρίβεια προσδιορισμού ταχύτητας: 0.2 m/s (2σ – 95%)
- Ακρίβεια προσδιορισμού χρόνου: 20ns (2σ – 95%)
- Διαθεσιμότητα συστήματος: καλύτερη από 95%

Οι παραπάνω αποδόσεις είναι επαυξημένες κατά 100% στην περιοχή της Ασίας και του Ειρηνικού Ωκεανού.

#### 1.4.4 Διαφορές μεταξύ συστημάτων GNSS

Εκτός από τις αναφερόμενες διαφορές στον τρόπο ανάπτυξης των Προγραμμάτων τους, τα GNSS έχουν θεμελιώδεις διαφορές και σε τεχνικά θέματα. Για την εκπομπή του σήματος, το Glonass χρησιμοποιεί την τεχνική FDMA. Πρόκειται για εφαρμογή ενός συστήματος πολλαπλής προσπέλασης με διαίρεση συχνότητας, δηλαδή κάθε δορυφόρος έχει δική του συχνότητα, αλλά τον ίδιο κωδικό. Σε αυτή τη τεχνική πολυπλεξίας (multiplexing), για κάθε δορυφόρο αντιστοιχούν γειτονικές συχνότητες εντός των L1 και L2. Καθώς οι διαφορετικές φέρουσες συχνότητες παράγονται με διαφορετικό τρόπο, προκαλούνται καθυστερήσεις στους υπολογισμούς που αντιστοιχούν σε μερικά εκατοστά. [8]

Στα υπόλοιπα συστήματα (GPS, BeiDou, Galileo) οι δορυφόροι χρησιμοποιούν τις ίδιες συχνότητες, αλλά έχουν διαφορετικούς κώδικες (τεχνική CDMA). Στο μέλλον, αναμένεται εκσυγχρονισμένο σύστημα CDMA, ώστε να είναι δυνατή η διαλειτουργικότητα μεταξύ των συστημάτων. Οι πολλαπλοί δορυφορικοί σχηματισμοί καθιστούν δυνατή την εύρωστη λειτουργία GNSS σε αστικό περιβάλλον και σε παλιότερα απαγορευτικές θέσεις (κάτω από γέφυρες, σε πυκνή

βλάβηση κλπ). Μπορεί σε αυτές τις περιπτώσεις να υπάρχει μειωμένος ορίζοντας, όμως ο αριθμός των ορατών δορυφόρων είναι επαρκής για επίλυση. Στο πλαίσιο αυτό, προωθείται από την IGS η καμπάνια MGEX (Multi-GNSS Experiment).

Παρακάτω παρουσιάζονται οι διαφορές στα μαθηματικά μοντέλα για τον υπολογισμό αποστάσεων από παρατηρήσεις με τις διαφορετικές τεχνικές.

#### 1.4.5 Μαθηματικό Μοντέλο GPS

Το μαθηματικό μοντέλο για μετρήσεις GPS, δηλαδή η απόσταση μεταξύ δορυφόρου και δέκτη, έχει κάποιες διαφοροποιήσεις εξαρτώμενες από τον τύπο σήματος που λαμβάνει ο δέκτης. Υπολογισμένη από μετρήσεις κώδικα, μετρήσεις φάσεων και μετρήσεις Doppler, με την τεχνική CDMA συνοψίζεται ως εξής [9]:

$$P_i = \rho + c(dt^{GPS} - dT^{GPS}) + I_i + T + (b_{r,P_i}^{GPS} - b_{r,P_i}^S) + m_{p_i} + e_{p_i} \quad (9)$$

$$\varphi_i = \rho + c(dt^{GPS} - dT^{GPS} - I_i + T + N * \lambda_i + (b_{r,\varphi_i}^{GPS} - b_{r,\varphi_i}^S)m_{\varphi_i} + e_{\varphi_i} \quad (10)$$

$$D_i = \dot{\rho} + c(\dot{dt} - \dot{dT}) - \dot{I}_i + \dot{T} + m_{D_i} + e_{D_i} \quad (11)$$

όπου,

- $P_i$ ,  $\varphi_i$  και  $D_i$  είναι αντίστοιχα οι μετρήσεις κώδικα, φάσης (σε μέτρα) και Doppler (σε m/sec) για την κάθε συχνότητα  $i$
- $\rho$  είναι η αληθής τιμή της απόστασης μεταξύ δορυφόρου και δέκτη σε μέτρα,  $\dot{\rho}$  η αληθής τιμή σε m/sec
- $c$  η ταχύτητα του φωτός
- $dt^{GPS} - dT^{GPS}$  είναι η ολίσθηση (σε σχέση με τον πραγματικό χρόνο GPS) των ρολογιών για δέκτη και δορυφόρο αντίστοιχα και  $\dot{dt} - \dot{dT}$  οι ρυθμοί μεταβολής της.
- $I_i$  και  $T$  η καθυστέρηση λόγω ιονόσφαιρας και τροπόσφαιρας αντίστοιχα και  $\dot{I}_i$  και  $\dot{T}$  οι ρυθμοί μεταβολής τους
- $(b_{r,P_i}^{GPS} - b_{r,P_i}^S)$  είναι η καθυστέρηση λόγω hardware για δέκτη GPS και δορυφόρο αντίστοιχα. Σταθερή για το δορυφορικό τμήμα, εξαρτάται μόνο από τον δέκτη.
- $m$  η συνεισφορά του φαινομένου πολυανάκλασης στην απόσταση
- $e$  τα μη μοντελοποιημένα σφάλματα που εισεέρχονται στις παρατηρήσεις (τυχαία σφάλματα, θόρυβος)

#### 1.4.6 Μαθηματικό Μοντέλο GLONASS

Η δομή της τεχνικής FDMA που χρησιμοποιεί το τμήμα διαστήματος του GLONASS, εισάγει κάποιες διαφοροποιήσεις σε σχέση με τις μετρήσεις GPS. Όπως αναφέρθηκε, κάθε δορυφόρος έχει δική του συχνότητα, σύμφωνα με τον τύπο [10]:

$$f_{k,LI} = f_{0,1} + k * \Delta f_1 \quad (12)$$

όπου,

- $f_{k,LI}$  η συχνότητα που αντιστοιχεί σε κάθε δορυφόρο GLONASS.
- το  $k$  ένας μοναδικός ακέραιος αριθμός που αντιστοιχεί σε κάθε δορυφόρο GLONASS.
- $f_{0,1}$  η βασική συχνότητα που ισούται με 1602 MHz για την L1 και 1246 MHz για την L2.
- $\Delta f_1$  η μονάδα προσαύξησης που ισούται με 562,5 kHz για την L1 (9/16 του MHz) και 437,5 kHz για την L2 (7/16 του MHz).

Συμπεραίνεται λοιπόν, ότι στο σύστημα GLONASS τα μήκη κύματος σχετιζόμενα με τους φορείς και τις παρατηρήσεις Doppler, θα είναι διαφορετικά για κάθε δορυφόρο. Επίσης, καθώς ο κάθε δορυφόρος εκπέμπει σε διαφορετική συχνότητα, προκαλεί διαφορετικές καθυστερήσεις ο κάθε δορυφόρος στο hardware των δεκτών. Άρα τα σφάλματα, είναι εξαρτώμενα από το ποιος δορυφόρος εκπέμπει (satellite and receiver dependent biases).

Το μαθηματικό μοντέλο για μετρήσεις GLONASS, δηλαδή η απόσταση μεταξύ δορυφόρου – δέκτη, υπολογισμένη από μετρήσεις κώδικα, μετρήσεις φάσης και μετρήσεις Doppler συνοψίζεται ως εξής [9]:

$$P_i = \rho + c(dt^{GLO} - dT^{GLO}) + I_i + T + (b_{r,P_i}^{GLO} - b_{r,P_i}^S) + m_{p_i} + e_{p_i} \quad (13)$$

$$\varphi_i = \rho + c(dt^{GLO} - dT^{GLO}) - I_i + T + N * \lambda_i + (b_{r,\varphi_i}^{GLO} - b_{r,\varphi_i}^S) + m_{\varphi_i} + e_{\varphi_i} \quad (14)$$

$$D_i = \dot{\rho} + c(dt^{\dot{G}LO} - dT^{\dot{G}LO}) - \dot{I}_i + \dot{T} + m_{D_i} + e_{D_i} \quad (15)$$

Παρατηρείται:

- Η απόκλιση των ρολογιών είναι διαφορετική, καθώς ο χρόνος αναφοράς του Glonass είναι διαφορετικός από αυτόν του GPS.
- $b_{r,i}^{GLO} - b_{r,i}^S$ , η καθυστέρηση λόγω hardware, που όπως αναφέρθηκε είναι διαφορετική για κάθε δορυφόρο, λόγω διαφορετικής συχνότητας εκπομπής.

Σύμφωνα με τον προγραμματισμό του GLONASS, είναι στα μελλοντικά σχέδια του προγράμματος, οι δορυφόροι να εκπέμπουν σήματα βάσει της τεχνικής CDMA [3].

## 1.5 ΠΗΓΕΣ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΣΤΟΝ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΟ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ

Τα σφάλματα συστηματικού χαρακτήρα που υπεισέρχονται στα συστήματα GNSS, χωρίζονται σε 3 βασικές κατηγορίες:

- Σφάλματα σχετιζόμενα με τους δορυφόρους.
- Σφάλματα σχετιζόμενα με τους δέκτες και το περιβάλλον μετρήσεων.
- Σφάλματα σχετιζόμενα με τη διάδοση του σήματος.

### 1.5.1 Σφάλματα σχετιζόμενα με τους δορυφόρους

Τα σφάλματα σε αυτή τη κατηγορία είναι τα σφάλματα ρολογιών, τα σφάλματα τροχιών και τα σφάλματα λόγω σχετικιστικών φαινομένων.

#### **Σφάλματα ρολογιών των δορυφόρων**

Ενώ οι δορυφόροι είναι εξοπλισμένοι με ατομικά ρολόγια ακριβείας, με πολύ μικρή ολίσθηση (της τάξης του 1 δευτερολέπτου σε 3.000 χρόνια), εισάγουν σημαντικά σφάλματα, λόγω της μεγάλης απόστασης προς υπολογισμό, που βασίζεται στην ακριβή μέτρηση του χρόνου. Σύμφωνα με τις διορθώσεις που εκπέμπονται στο μήνυμα πλοήγησης, τα σφάλματα που σχετίζονται με τον χρόνο στο τμήμα διαστήματος, αποτελούνται από τις εξής παραμέτρους, για τον κάθε δορυφόρο [11]:

$$\delta t_{sv} = a_{f0} + a_{f1}(t - t_{oc}) + a_{f2}(t - t_{oc})^2 + \Delta t_r \quad (16)$$

όπου:

- $\delta t_{sv}$  το σφάλμα ρολογιού στον δορυφόρο
- $a_{f0}$  το συστηματικό σφάλμα (bias) του ρολογιού (sec)
- $a_{f1}$  η ολίσθηση (drift) του ρολογιού (sec/sec)
- $a_{f2}$  η ολίσθηση (γήρανση) της συχνότητας (sec/sec<sup>2</sup>)
- $t_{oc}$  ο χρόνος αναφοράς (sec)
- $t$  ο χρόνος της συγκεκριμένης εποχής που αναφέρεται η διόρθωση (sec)
- $\Delta t_r$  η διόρθωση λόγω σχετικιστικών επιδράσεων (sec)

### Σφάλματα τροχιών (εφημερίδας)

Τα δεδομένα τροχιάς (εφημερίδας) που εκπέμπονται από κάθε δορυφόρο, ανανεώνονται κάθε δύο ώρες από το τμήμα ελέγχου. Παρόλ' αυτά, επειδή οι τροχιά ενός δορυφόρου είναι μια πολύ δυναμική κίνηση για να εκτιμηθούν με ακρίβεια όλες οι παράμετροι, σε μετρήσεις ψευδοκώδικα είναι αναμενόμενα σφάλματα της τάξης των 2-3 μέτρων. Στις μετρήσεις φάσης με διαφορικές τεχνικές, το σφάλμα μειώνεται σημαντικά, αλλά εξαρτάται από το μήκος της βάσης. Σε πολύ μικρές βάσεις ουσιαστικά μηδενίζεται, και ως πρακτικός κανόνας μία τάξη μεγέθους του σφάλματος τροχιάς (σε μέτρα), δίνεται προσεγγιστικά από τον παρακάτω τύπο [6]:

$$\text{σφάλμα βάσης}(m) \approx \frac{\text{μήκος βάσης}(km)}{20000} \times \text{σφάλμα τροχιάς}(m) \quad (17)$$

### Σφάλματα λόγω σχετικιστικών φαινομένων

Στον δορυφορικό εντοπισμό, έχουν εφαρμογή τόσο η Ειδική όσο και η Γενική αρχή της Σχετικότητας. Η ανάγκη για διορθώσεις σφαλμάτων σχετιζόμενα με την ειδική Σχετικότητα, προκύπτει λόγω της κίνησης τόσο των δορυφόρων, όσο και των δεκτών σε σχέση με το αδρανειακό γεωκεντρικό σύστημα. Η ανάγκη για διορθώσεις σφαλμάτων σχετιζόμενων με την Γενική Σχετικότητα, προκύπτει λόγω της διαφοράς βαρυτικού δυναμικού του τμήματος διαστήματος και του τμήματος χρηστών.

Σε ότι αφορά το σφάλμα ρολογιού δορυφόρων λόγω σχετικιστικών φαινομένων, η θεμελιώδης συχνότητα  $f_0$  πριν την εκτόξευση ενός δορυφόρου τίθεται με ένα offset της τάξης του  $-4.57 \cdot 10^{-3}$  Hz, ήτοι η θεμελιώδης συχνότητα εκτόξευσης ίση με 10.22999999543 MHz. Η συχνότητα που θα παρατηρεί ένας δέκτης στο επίπεδο της μέσης στάθμης θάλασσας (αν παραβλέψουμε τη μετατόπιση Doppler) θα είναι 10.23 MHz. Σε ότι αφορά το σφάλμα των τροχιών λόγω σχετικιστικών φαινομένων, το ένα μέρος προκαλείται λόγω περιοδικής μεταβολής της ταχύτητας του δορυφόρου σε σχέση με το αδρανειακό γεωκεντρικό σύστημα και τα άλλο μέρος λόγω της περιοδικής μεταβολής του βαρυτικού δυναμικού του δορυφόρου.

Ένα ακόμα σφάλμα που σχετίζεται με την ταχύτητα περιστροφής της Γης είναι το φαινόμενο Sagnac, μόνο όταν οι υπολογισμοί για τη θέση των δορυφόρων πραγματοποιούνται σε γήινο γεωκεντρικό σύστημα (Earth-centered Earth-fixed). Κατά τη διάρκεια της ειδοποίησης του σήματος από τον δορυφόρο, ο δέκτης στη Γη θα έχει στροφή ίση με την περιστροφή της Γης στο διάστημα αυτό.

### **1.5.2 Σφάλματα σχετιζόμενα με τους δέκτες και το περιβάλλον μετρήσεων**

Τα σφάλματα που σχετίζονται με τους δέκτες είναι το σφάλμα ρολογιών των δεκτών, το σφάλμα λόγω πολυανάκλασης σήματος, τα σφάλματα λόγω Η/Μ παρεμβολών και τα σφάλματα που οφείλονται στην επεξεργασία του σήματος στον δέκτη (ολίσθηση κύκλων, cycle-slips).

#### **Σφάλματα ρολογιών των δεκτών**

Τα ρολόγια των δεκτών GNSS, λόγω κόστους, είναι σημαντικά μειωμένης ακρίβειας σε σχέση με ατομικά ρολόγια που χρησιμοποιούν οι δορυφόροι. Στον αυτόνομο εντοπισμό, στο διάστημα αγνώστων, εκτός από τις 3 συνιστώσες της θέσης, προστίθεται η συνιστώσα του ρολογιού του δέκτη και υπολογίζεται όταν υπάρχει περίσσεια παρατηρήσεων (4+ δορυφόροι). Ένας τρόπος εξάλειψης του σφάλματος ρολογιών των δεκτών, είναι με τεχνική διπλών διαφορών στις μεθόδους σχετικού εντοπισμού.

#### **Σφάλμα πολυανάκλασης**

Οι κεραιές που χρησιμοποιούνται στους δέκτες GNSS είναι σχεδιασμένες έτσι, ώστε να παρακολουθούν δορυφόρους σε όλο το εύρος του οριζοντα. Το φαινόμενο της πολυανάκλασης (multipath) εμφανίζεται όταν το σήμα από έναν δορυφόρο δεν φτάνει μόνο απευθείας στον δέκτη, αλλά και μετά από πρόσπτωση σε ανακλαστικές επιφάνειες που βρίσκονται κοντά στη θέση του δέκτη. Τα σήματα από παρεμβολή μπερδεύουν τον δέκτη στον υπολογισμό της απόστασης, ή μπορεί ακόμα και να προκαλέσουν απώλεια της λήψης προς έναν δορυφόρο. Το σφάλμα σε κεραιές συνθήκες μπορεί να φτάσει σε επίπεδο μέτρου και δε μπορεί να αντιμετωπιστεί με διαφορικές τεχνικές, καθώς διαφέρει για κάθε τύπο κεραιάς και είναι ένα μέγεθος μεταβαλλόμενο με τη θέση της κεραιάς.

Ως τρόποι αντιμετώπισης, προτείνεται η αποφυγή παρατηρήσεων σε περιβάλλοντα που έχουν αποδειχθεί ως πηγές πολυανάκλασης, όπως τα μεταλλικές και γυάλινες επιφάνειες, περιοχές δίπλα σε λίμνες, θάλασσα κλπ. Άλλος τρόπος αντιμετώπισης, είναι η κατασκευαστική πρόνοια της κεραιάς που χρησιμοποιείται, ώστε αφενός μεν να μη δέχεται σήματα από ανάκλαση στο έδαφος (πχ με ενσωμάτωση βάσης – groundplane), αφετέρου δε να παγιδεύει τα ασθενή σήματα ( πχ με χρήση choke ring).



Εικόνα 8 - Κεραία με choke ring. Πηγή: NovAtel

### Σφάλμα λόγω Η/Μ παρεμβολών

Καθώς τα συστήματα GNSS βασίζονται σε παρακολούθηση εξωτερικών ραδιοσυχνοτήτων, είναι επιρρεπή στις ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές. Οι παρεμβολές μπορεί να είναι είτε ακούσιες, είτε να προκαλούνται από πηγές εκούσιων παρεμβολών, όπως σε στρατιωτικά συστήματα. Οι παρεμβολές ραδιοσυχνοτήτων μπορούν να είναι η αιτία για μειωμένης ακρίβειας παρατηρήσεις ή ακόμα και για πλήρη απώλεια επαφής ενός δέκτη με το σύστημα GNSS.

Σε ότι αφορά τις συχνότητες των GNSS, η GPS L1 είναι δεσμευμένη στα περισσότερα μέρη της Γης να λειτουργεί αποκλειστικά για ραδιοπλοήγηση αεροναυτιλίας και δορυφορική ραδιοπλοήγηση. Αντίθετα, η GPS L2 και GPS L5, χρησιμοποιείται και από άλλα συστήματα εντοπισμού εκτός GNSS, όπως ελέγχου εναέριας κυκλοφορίας και στρατιωτικών σκοπών. Το θετικό για τα συστήματα δορυφορικής πλοήγησης, είναι ότι σε αντίθεση με τα παλιμιά συστήματα, τα GNSS εκπέμπουν συνεχή σήματα, οπότε αποφεύγεται, λόγω πρόβλεψης στην κατασκευή των σύγχρονων δεκτών, μεγάλο εύρους παρεμβολή. Είναι όμως αναπόφευκτη η παρεμβολή από Η/Μ κύματα με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, που προκαλούν θόρυβο στις παρατηρήσεις. Ο τρόπος αντιμετώπισης του φαινομένου, είναι η αποφυγή χρήσης δεκτών σε περιβάλλον κοντά σε πηγές Η/Μ παρεμβολών, όπως γραμμές μεταφοράς ρεύματος υψηλής τάσης, ή ισχυρών ραντάρ.

### Σφάλματα που οφείλονται στις κεραίες

Στις κεραίες, το γεωμετρικό κέντρο δεν ταυτίζεται απαραίτητα με το σημείο που πραγματοποιούνται οι παρατηρήσεις του δορυφορικού σήματος. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό ως μεταβολές του κέντρου φάσης της κεραίας (PCV: Phase Center Variations). Ο πληθυντικός «μεταβολές» εξηγείται από το γεγονός ότι οι μεταβολές δεν είναι κοινές για όλες τις συχνότητες



που λαμβάνει ο δέκτης. Επίσης, το ηλεκτρικό κέντρο φάσης εξαρτάται από την διεύθυνση υποδοχής το δορυφορικού σήματος. Δεν είναι πάντα σταθερό, αν και στους γεωδαιτικούς δέκτες γίνεται προσπάθεια από τους κατασκευαστές να εξασφαλίσουν την σταθερότητά του [12]. Δεδομένα βαθμονόμησης είναι διαθέσιμα για τους γνωστούς τύπους κεραιάς που χρησιμοποιούνται σε γεωδαιτικούς δέκτες και εφαρμόζουν διορθώσεις, με αναφορά το μηχανικό – γεωμετρικό κέντρο, της τάξης των χιλιοστών - εκατοστών. Για γεωδαιτικές εφαρμογές με κεραιές που δεν παρέχεται πληροφορία σχετικά με τη συμπεριφορά του ηλεκτρικού κέντρου φάσης, μπορούν να εφαρμοστούν ρουτίνες σχετικής βαθμονόμησης. Σε εφαρμογές μεθόδων σχετικού εντοπισμού, εφ’ όσον χρησιμοποιούνται κεραιές ίδιου τύπου, μπορεί το σφάλμα των μεταβολών του κέντρου φάσης, να αντιμετωπιστεί με κοινό προσανατολισμό των κεραιών κατά τη διάρκεια των ταυτόχρονων παρατηρήσεων. Σε κάθε περίπτωση, θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι κεραιές χαμηλού κόστους, ακόμα και ίδιου μοντέλου, δεν έχουν πάντα την ίδια συμπεριφορά ως προς τις μεταβολές του κέντρου φάσης.

### **Σφάλματα που οφείλονται στην επεξεργασία του σήματος στον δέκτη**

Στις μετρήσεις φάσης, συχνά παρατηρείται το φαινόμενο της απώλειας (ολίσθησης) ενός αγνώστου ακέραιου αριθμού κύκλων της φέρουσας συχνότητας (cycle slips). Οφείλεται στην διακοπή της συνεχούς παρακολούθησης ενός ή περισσότερων δορυφόρων από τον δέκτη λόγω οποιασδήποτε αιτίας σχετίζεται με την επικοινωνία δέκτη-δορυφόρου. Καθώς η κλασματική φάση διατηρείται αν δε γίνει αντιληπτή η ολίσθηση των κύκλων, μπορεί να εισάγει μείζονα σφάλματα στον υπολογισμό της απόστασης. Σε περίπτωση εμφάνισης του φαινομένου, μπορεί να αντιμετωπιστεί μόνο με μετεπεξεργασία. Πιο συχνή μέθοδος αποκατάστασης, στον σχετικό εντοπισμό, είναι η επίλυση με τη μέθοδο των τριπλών διαφορών [13].

### **1.5.3 Σφάλματα σχετιζόμενα με τη διάδοση του σήματος**

Όπως σε κάθε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, έτσι και στα σήματα GNSS, η διάδοση μέσω της ατμόσφαιρας επηρεάζεται λόγω του φαινομένου της διάθλασης. Τα δύο στρώματα της ατμόσφαιρας που έχουν επίδραση στη διάδοση του σήματος GNSS είναι η ιονόσφαιρα και η τροπόσφαιρα. Η ιονόσφαιρα είναι μέσο διασποράς (dispersive medium) και ο δείκτης διάθλασης έχει διαφορετική συμπεριφορά για τις χαμηλές και τις υψηλές συχνότητες. Η επίδραση έχει ως αποτέλεσμα την καθυστέρηση των κωδικών (code delay), αλλά ταυτόχρονα την επίσπευση των φάσεων (phase advance) των φερόντων κυμάτων. Η τροπόσφαιρα αντίθετα, δεν είναι μέσο διασποράς για τα σήματα GNSS, με αποτέλεσμα ο δείκτης διάθλασης να μην εξαρτάται από τη συχνότητα.

Τα σχετιζόμενα με τη διάδοση του σήματος σφάλματα, ανεξάρτητα από το στρώμα ατμόσφαιρας, επηρεάζονται και από τη γεωμετρία του κάθε δορυφόρου σε σχέση με τον δέκτη τις εποχές παρατήρησης. Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2 της παραγράφου 1.3.1, το σήμα σε χαμηλές γωνίες ανύψωσης, έχει μεγαλύτερη απόσταση να διανύσει από ότι σε υψηλές. Αυτό συνεπάγεται και πιο παχύ στρώμα ατμόσφαιρας.

### **Ιονοσφαιρικό σφάλμα**

Η ιονόσφαιρα είναι το πρώτο στρώμα ατμόσφαιρας που καλείται να διαπεράσει το σήμα. Το εύρος της ιονόσφαιρας εκτείνεται από 50 έως 1000 km γύρω από τη Γη. Αποτελείται από ελεύθερα ηλεκτρόνια, που η πυκνότητά τους εξαρτάται από την έκθεσή των μορίων του ατμοσφαιρικού αέρα στην υπεριώδη ακτινοβολία του ηλίου. Γι' αυτόν τον λόγο, η επίδραση της ιονόσφαιρας στη διέλευση σημάτων GNSS είναι πολύ πιο έντονη κατά τη διάρκεια της ημέρας. Επηρεάζεται επίσης, από τον 11ετή ηλιακό κύκλο. Το τυπικό σφάλμα λόγω ιονοσφαιρικής διάθλασης στον αυτόνομο εντοπισμό σε παρατηρήσεις κώδικα, κυμαίνεται από 5m έως 100m για δορυφόρους σε χαμηλή γωνία ανύψωσης σε εποχή με έντονα φορτισμένη ιονόσφαιρα.

Όπως αναφέρθηκε, η ιονοσφαιρική διάθλαση εξαρτάται από τη συχνότητα του σήματος, κάτι που σημαίνει ότι έχει διαφορετική επίδραση για την συχνότητα L1 και την L2, καθώς και διαφορετική επίδραση σε συστήματα GNSS που χρησιμοποιούν την τεχνική FDMA (όπως το ρωσικό σύστημα GLONASS, βλ. παράγραφο 1.4.4 παραπάνω). Η ιδιότητα αυτή και το γεγονός ότι σήματα από τον ίδιο δορυφόρο φτάνουν στον δέκτη σε διαφορετική χρονική στιγμή, κάνουν δυνατή την μείωση του σφάλματος σε δέκτες δύο συχνοτήτων. Η σχεδόν απαλοιφή του σε δέκτες δύο συχνοτήτων πραγματοποιείται με σχετικές – διαφορικές τεχνικές. Οι δέκτες σε αυτόνομο εντοπισμό, μπορούν μόνο να μειώσουν την επίδραση σε τάξεις του 50%, μέσω διορθώσεων που λαμβάνονται από το μήνυμα πλοήγησης.

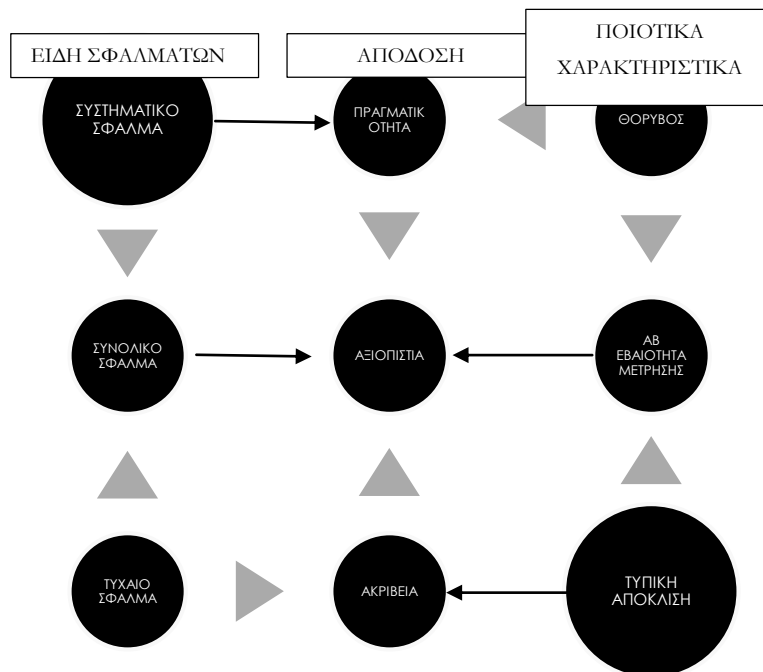
### **Τροποσφαιρικό σφάλμα**

Η τροπόσφαιρα αφορά το χαμηλότερο τμήμα της ατμόσφαιρας και δεν αποτελεί μέσο διασποράς για τα υψίσουχα σήματα των GNSS. Εκτείνεται από την επιφάνεια της Γης έως τα πρώτα 20km πάνω από αυτήν και είναι η περιοχή που λαμβάνουν χώρα τα καιρικά φαινόμενα. Προκαλεί ίσες καθυστερήσεις στα σήματα που λαμβάνονται σε μία περιοχή και εξαρτάται από την θερμοκρασία, την πίεση και μερική πίεση υδρατμών. Το τυπικό σφάλμα λόγω τροποσφαιρικής διάθλασης στον αυτόνομο εντοπισμό σε παρατηρήσεις κώδικα, κυμαίνεται από τα 2 m, έως 100m για δορυφόρους σε χαμηλή γωνία ανύψωσης.

Ο μόνος τρόπος αντιμετώπισης του τροποσφαιρικού σφάλματος είναι μέσω μοντελοποίησης. Το μοντέλο λαμβάνει υπ' όψιν την γωνία ανύψωσης και δεδομένα από μετεωρολογικό σταθμό ή πρότυπες τιμές (standard atmosphere model). Σε κάθε περίπτωση, μπορεί σχεδόν να απαλειφθεί με χρήση τροποσφαιρικού μοντέλου και με τεχνικές σχετικού εντοπισμού. Σε εφαρμογές ακριβείας, κυρίως υψομετρίας, μπορεί να γίνει εκτίμηση της τροποσφαιρικής καθυστέρησης κατά την επίλυση, αλλά απαιτούνται στατικές παρατηρήσεις μεγάλης διάρκειας.

## 1.6 ΜΕΤΡΑ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ

Πόσο ακριβής είναι η μέτρηση με ένα σύστημα GNSS; Αυτό είναι ένα ερώτημα που απασχολεί τους περισσότερους που χρησιμοποιούν ένα τέτοιο σύστημα. Εξαρτάται από την τεχνική μέτρησης (με αυτόνομη λύση από έναν δέκτη ή με σχετική λύση), από το πόσες συχνότητες συμμετέχουν στη λύση, από την γεωμετρία των δορυφόρων σε σχέση με τη θέση του δέκτη, από τα μεταβαλλόμενα σφάλματα του μέσου διάδοσης του σήματος και από τον ίδιο τον δέκτη που χρησιμοποιείται.



Εικόνα 9- Οι εξαρτήσεις της Αληθούς Τιμής.

Ξεινώνοντας από τη γεωμετρία των παρατηρούμενων δορυφόρων, η σχετική θέση πομπού – δέκτη, επηρεάζει την υπολογισμένη απόσταση σε κάθε σύστημα ΤΟΑ (Time of Arrival). Ειδικά για τα συστήματα δορυφορικής πλοήγησης, χρησιμοποιείται στην βιβλιογραφία και την γενική πρακτική

ο όρος DOP (Dilution of Precision), που αφορά σε μία σειρά από κλίμακες εκτίμησης της αβεβαιότητας λόγω της γεωμετρίας του μετρητικού συστήματος δορυφόρων – δέκτη.

Από τον Νόμο Μετάδοσης Σφαλμάτων, γνωρίζουμε ότι εάν είναι γνωστή η τιμή της τυπικής απόκλισης για έναν δέκτη, μπορούμε να υπολογίσουμε τα στοιχεία του πίνακα μεταβλητότητας – συμμεταβλητότητας. Από αυτόν, μπορούμε να έχουμε μία τάξη μεγέθους της ποιότητας της λύσης, για κάθε μία από τις διαστάσεις που συμμετέχουν στη λύση ως εξής [4]:

$$\sigma_G = \sqrt{\sigma_E^2 + \sigma_N^2 + \sigma_U^2 + \sigma_T^2} \quad (18)$$

$$\sigma_P = \sqrt{\sigma_E^2 + \sigma_N^2 + \sigma_U^2} \quad (19)$$

$$\sigma_H = \sqrt{\sigma_E^2 + \sigma_N^2} \quad (20)$$

$$\sigma_V = \sqrt{\sigma_U^2} \quad (21)$$

$$\sigma_T = \sqrt{\sigma_T^2} \quad (22)$$

Από τις τυπικές αποκλίσεις για κάθε διάσταση, προκύπτουν οι τιμές για τις κλίμακες DOP.

$$GDOP = \frac{\sigma_G}{\sigma} \quad (23)$$

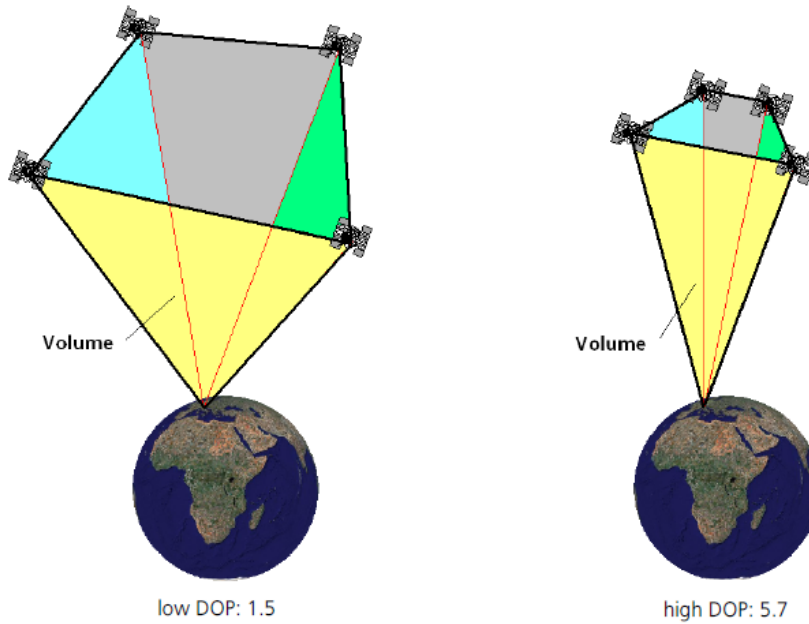
$$PDOP = \frac{\sigma_P}{\sigma} \quad (24)$$

$$HDOP = \frac{\sigma_H}{\sigma} \quad (25)$$

$$VDOP = \frac{\sigma_V}{\sigma} \quad (26)$$

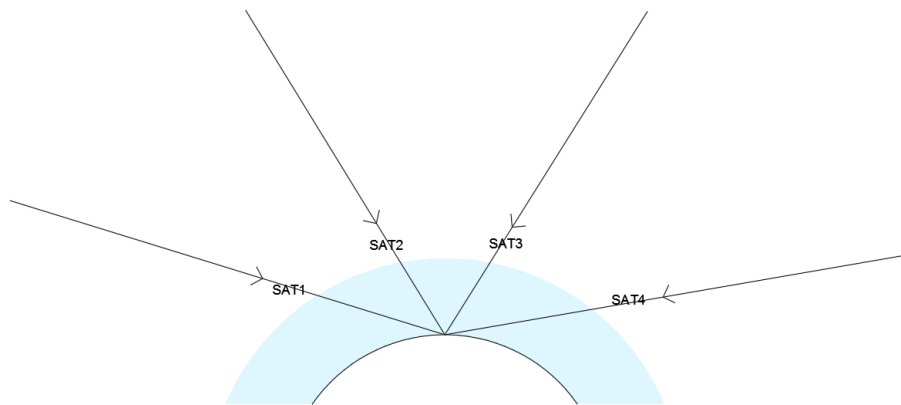
$$TDOP = \frac{\sigma_T}{\sigma} \quad (27)$$

Φαινομενικά, το πλήθος των δορυφόρων επηρεάζει τους δείκτες DOP, δηλαδή οι περισσότεροι δορυφόροι δίνουν γενικά μικρότερες τιμές στους δείκτες, άρα και μικρότερα σφάλματα στη λύση. Αυτό όμως που επηρεάζει πραγματικά τις τιμές, είναι ο όγκος που εσωκλείεται από τον σχηματισμό των δορυφόρων στο πεδίο θέασης ενός δέκτη.



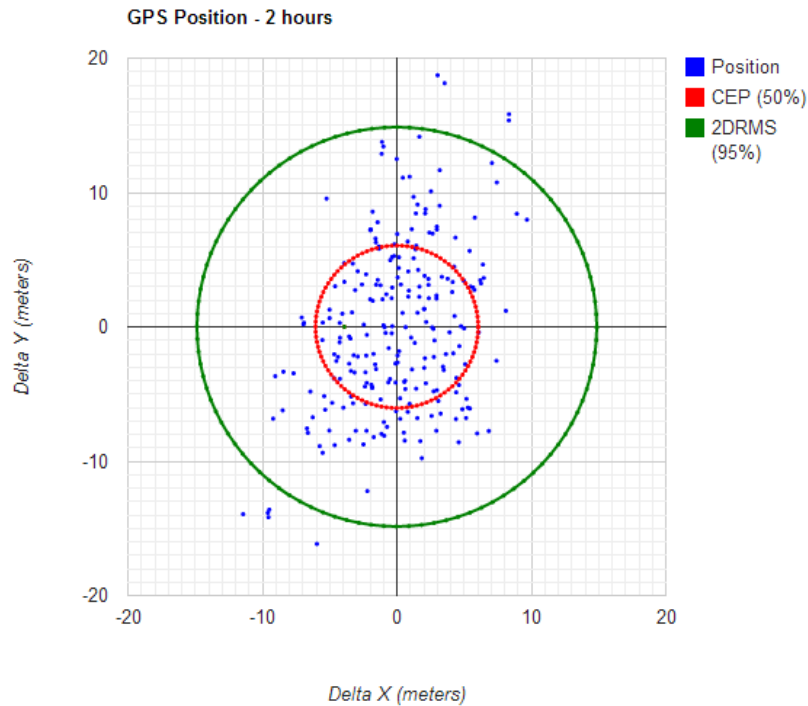
Εικόνα 10 - Εσωκλειόμενος όγκος από τη γεωμετρία των δορυφόρων. Πηγή: [3]

Πρέπει πάντα να λαμβάνεται υπ' όψιν, ότι οι οριακές γεωμετρίες δορυφόρων (σε χαμηλή γωνία ανύψωσης) πρέπει να αποφεύγονται, καθώς εισάγουν περισσότερα σφάλματα λόγω μακρύτερης έκθεσης στο μέσο διάδοσης του σήματος.



Εικόνα 11 - Η επίδραση της χαμηλής γωνίας ανύψωσης. Οι δορυφόροι SAT1 και SAT4 διασχίζουν μεγαλύτερη απόσταση εντός ατμόσφαιρας.

Σε ότι αφορά τους δέκτες, υπάρχουν διάφορες στατιστικές μέθοδοι να περιγραφούν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά προσδιορισμού θέσης ενός δέκτη GNSS. Όταν ένας δέκτης μένει σταθερός και καταγράφει σε περισσότερες εποχές, η διασπορά των καταγραφών είναι αυτό που συνήθως χρησιμοποιούν οι κατασκευαστές ώστε να χαρακτηρίσουν την ακρίβεια του εξοπλισμού. Υπάρχουν διαφορετικοί τρόποι να εκφραστεί το εύρος των παρατηρήσεων, εφαρμόζοντας διαφορετικά επίπεδα εμπιστοσύνης. Στη συνέχεια περιγράφονται τα συνηθέστερα.



Εικόνα 12 - Μέτρα ακριβείας για μετρήσεις GNSS. Πηγή: <https://blog.oplopanax.ca/2012/11/calculating-gps-accuracy/>

### DRMS (μέση τετραγωνική ρίζα της απόστασης)

Αποτελεί το συνηθέστερο μέτρο ακριβείας για τους γεωδαιτικούς δέκτες. Είναι ένας αριθμός που δίνεται σε μονάδα μέτρησης μήκους και εκφράζει την ακρίβεια 2 διαστάσεων. Εκφράζεται ως η ρίζα του αθροίσματος των τετραγώνων των σφαλμάτων των συνιστωσών θέσης. Αποτελεί επίσης το μέτρο ακριβείας που χρησιμοποιείται στο πρότυπο ISO 17123-8 (ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 παρακάτω).

$$DRMS = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2} \quad (28)$$

### CEP (πιθανό κυκλικό σφάλμα, για πιθανότητα 50%)

Ο δείκτης CEP αναφέρεται στην ακτίνα ενός κύκλου που ενσωματώνει το 50% των τιμών μίας θέσης. Το κέντρο του κύκλου υλοποιεί την αληθή τιμή.

### R95 (πιθανό κυκλικό σφάλμα, για πιθανότητα 95%)

Ο δείκτης R95 αναφέρεται στην ακτίνα ενός κύκλου που ενσωματώνει το 95% των τιμών μίας θέσης. Το κέντρο του κύκλου υλοποιεί την αληθή τιμή.

### SEP (πιθανό σφαιρικό σφάλμα, για πιθανότητα 50%)

Ο δείκτης SEP, ένα τρισδιάστατο μέτρο ακριβείας, αναφέρεται σε μία σφαίρα που ενσωματώνει το 50% μιας τρισδιάστατης θέσης. Το κέντρο της σφαίρας υλοποιεί την αληθή τιμή.

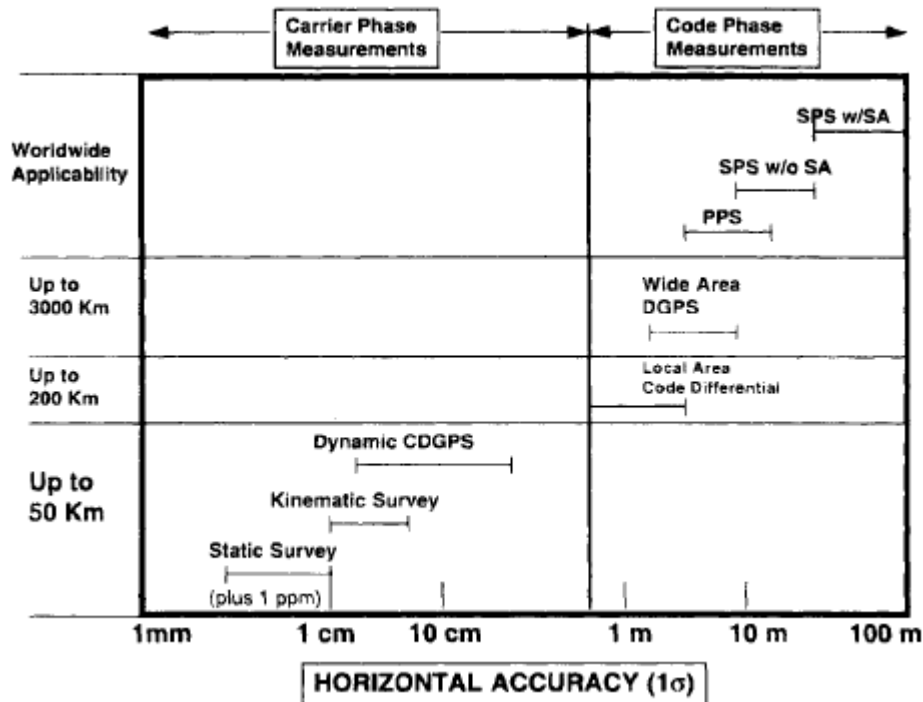
Στον παρακάτω Πίνακα αποτυπώνεται η συσχέτιση μεταξύ των μέτρων ακριβείας.

Πίνακας 4 - Συσχετισμοί μεταξύ μέτρων ακριβείας. (Πηγή: NovAtel Inc.)

<b>RMS (Vertical)</b>	<b>CEP</b>	<b>DRMS</b>	<b>R95</b>	<b>2DRMS</b>	<b>RMS(3D)</b>	<b>SEP</b>	
1	0.44	0.53	0.91	1.1	1.1	0.88	<b>RMS (Vertical)</b>
	1	1.2	2.1	2.4	2.5	2	<b>CEP</b>
		1	1.7	2	2.1	1.7	<b>DRMS</b>
			1	1.2	1.2	0.96	<b>R95</b>
				1	1.1	0.85	<b>2DRMS</b>
					1	0.79	<b>RMS(3D)</b>
						1	<b>SEP</b>

### 1.7 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΔΙΑΦΟΡΙΚΟΥ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ (DGNSS)

Σύμφωνα με αυτά που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο περί σφαλμάτων (1.5), η ακρίβεια των δεκτών πλοήγησης, δηλαδή αυτών που πραγματοποιούν μετρήσεις ψευδοαποστάσεων μέσω του κώδικα C/A στην L1, κυμαίνεται στα επίπεδα μερικών m. Με χρήση μιας ακόμα συχνότητας, η ακρίβεια αυτή μπορεί να πέσει περίπου στο μισό, στα επίπεδα των 1-5 m, κυρίως γιατί μειώνεται η καθυστέρηση λόγω ιονοσφαιρικών επιδράσεων.



Εικόνα 13 - Σύνοψη αναμενόμενων ακριβειών σε τεχνικές εντοπισμού. Πηγή: [14]

Για εφαρμογές που απαιτείται αυξημένη ακρίβεια, μπορούν να εφαρμοστούν διαφορικές τεχνικές. Παλιότερα, στη γεωδαιτική κυρίως βιβλιογραφία, γινόταν διαχωρισμός μεταξύ διαφορικής (Differential GPS - DGPS) και σχετικού εντοπισμού (Relative Positioning), αλλά με την ανάπτυξη των GNSS, έχει αρχίσει να χρησιμοποιείται ο γενικευμένος όρος DGNSS (Differential GNSS) και CDGNSS (Carrier-phase differential GNSS) [15] για διαφορικές τεχνικές που μετρούν φάσεις. Οι διαφορικές τεχνικές που χρησιμοποιούν κώδικες, μπορούν να επιτύχουν ακρίβειες προσδιορισμού θέσης κάτω του m, ενώ αυτές που χρησιμοποιούν φάσεις προσδιορίζουν θέση στο επίπεδο μερικών mm.

Η αρχή λειτουργίας των διαφορικών ή σχετικών τεχνικών, βασίζεται στην ιδέα ότι χρησιμοποιώντας ταυτόχρονα δύο δέκτες, δίνεται η δυνατότητα επαύξησης της ακρίβειας. Ο ένας δέκτης τοποθετείται σε ένα σημείο γνωστής θέσης και ονομάζεται δέκτης αναφοράς (reference receiver ή απλά base). Ο δεύτερος (rover receiver) πραγματοποιεί παρατηρήσεις και δέχεται διορθώσεις από τον δέκτη αναφοράς.

Ο δέκτης αναφοράς, χρησιμοποιώντας πληροφορίες από τους δορυφόρους που έχει κλειδώσει, μπορεί να υπολογίσει τη θέση του. Συγκρίνοντας τη θέση που υπολογίζει από παρατηρήσεις σε σχέση με τη γνωστή θέση, μπορεί να μοντελοποιήσει τα σφάλματα που οφείλονται σε καθυστερήσεις λόγω ιονόσφαιρας – τροπόσφαιρας, σφάλματα ρολογιών και σφάλματα τροχιών. Αυτές οι διαφορές, επικοινωνούνται με τον δέκτη rover και έτσι το διάνυσμα μεταξύ τους είναι



απαλλαγμένο από όσα σφάλματα από αυτά είναι κοινά. Η επικοινωνία αυτή μπορεί να γίνει είτε σε πραγματικό χρόνο, με κάποια μορφή τηλεδιασύνδεσης (πχ. ράδιο ή δεδομένα ίντερνετ), είτε με τεχνικές μετεπεξεργασίας. Ουσιαστικά η βελτίωση στην ακρίβεια γίνεται δυνατή στις διαφορικές μεθόδους με τη συσχέτιση των σφαλμάτων, με τη παραδοχή ότι έχουν επαφή με τους ίδιους δορυφόρους.

### **1.7.1 Διαφορικές τεχνικές βασισμένες σε μετρήσεις κώδικα.**

Η βασική αρχή της διαφορικής τεχνικής βασισμένη σε μετρήσεις χρόνου ταξιδιού του σήματος από τους δορυφόρους στον δέκτη (ψευδοαποστάσεις) είναι πολύ απλοϊκή. Ένας δέκτης τοποθετείται σε θέση γνωστών συντεταγμένων. Ο δέκτης αναφοράς λαμβάνει μετρήσεις από 4 ή περισσότερους δορυφόρους. Η διαφορά μεταξύ της θέσης από τις μετρήσεις και θέσης από προηγούμενη γνώση μπορεί εύκολα να υπολογιστεί, αλλά κυρίως, μπορεί να υπολογιστεί η διόρθωση των ψευδοαποστάσεων από κάθε δορυφόρο. Καθώς αυτές οι αποκλίσεις είναι ίδιες για τις γειτονικές θέσεις, οι διορθώσεις μπορούν να μεταδοθούν, είτε σε πραγματικό χρόνο μέσω ραδιοσημάτων, είτε για μετέπειτα επεξεργασία, σε δέκτες που λειτουργούν σε γειτονικές θέσεις (σε απόσταση έως μερικές δεκάδες ή και εκατοντάδες χιλιόμετρα). Συνοψίζοντας, η διόρθωση των κοινών σφαλμάτων πραγματοποιείται σε 3 φάσεις:

- Καθορισμός των διορθώσεων στον σταθμό αναφοράς.
- Εκπομπή των διορθώσεων από τον σταθμό αναφοράς προς δέκτη GNSS που λειτουργεί σε γειτονική περιοχή.
- Διόρθωση των ψευδοαποστάσεων, ώστε να διορθωθεί και η θέση δέκτη GNSS που λειτουργεί σε γειτονική περιοχή.

Οι διορθώσεις αυτές περιλαμβάνουν όλα τα σφάλματα που υπεισέρχονται σε μετρήσεις GNSS, εκτός από αυτά που είναι μοναδικά σε κάθε δέκτη, όπως τον θόρυβο που προκαλείται από τον δέκτη και το φαινόμενο της πολυανάκλασης.

Πίνακας 5 - Προσεγγιστική διόρθωση σφαλμάτων μέσω τεχνικών DGNSΣ για μετρήσεις κώδικα.

Πηγές σφαλμάτων	Επίπεδο εμπιστοσύνης 68% (1σ)	
	Αυτόνομος εντοπισμός	DGNSΣ (κώδικα)
Τροχιές δορυφόρων	2.1	0.0
Ρολόγια δορυφόρων	2.1	0.0
Σφάλμα Ιονόσφαιρας	4.0	0.4
Σφάλμα Τροπόσφαιρας	0.7	0.2
Πολυανάκλαση	1.4	1.4
Κυκλώματα δέκτη	0.5	0.5

Οι διαφορικές τεχνικές που βασίζονται σε μετρήσεις κώδικα, λαμβάνουν χώρα σε πραγματικό χρόνο, με τις διορθώσεις να πραγματοποιούνται μέσω του πρωτοκόλλου RTCM.

### 1.7.2 Διαφορικές τεχνικές βασισμένες σε μετρήσεις φάσης - ο σχετικός εντοπισμός.

Όπως αποτυπώνεται και στον Πίνακα 5, θεωρώντας ότι ένας δέκτης βρίσκεται σε ένα περιβάλλον που δεν επηρεάζεται από το φαινόμενο της πολυανάκλασης, μπορεί να πετύχει επιδόσεις ακριβείας της τάξης του μέτρου, όταν λαμβάνει διορθώσεις σε μετρήσεις κώδικα. Για εφαρμογές ακριβείας, όπως πχ χρήσης συστημάτων GNSS για τοπογραφικές – γεωδαιτικές μετρήσεις, πρέπει να αξιοποιηθούν οι παρατηρήσεις στις φάσεις του φέροντος κύματος. Όπως αποτυπώνεται και στην Εικόνα 6 παραπάνω στην παράγραφο 1.3.3, το ακέραιο μέρος της φάσης είναι ασαφές. Προκειμένου να υπολογιστεί, απαιτούνται παρατηρήσεις προς αρκετούς δορυφόρους, για διαφορετικές εποχές και συνεχής σύγκριση μεταξύ αποτελεσμάτων μεταξύ δύο δεκτών που πραγματοποιούν ταυτόχρονες μετρήσεις προς τους ίδιους δορυφόρους. Με αυτές τις τεχνικές, που συνήθως αναφέρονται ως μέθοδοι σχετικού εντοπισμού, υπολογίζονται οι θέσεις των δεκτών με ακρίβεια που μπορεί να φτάσει μερικά χιλιοστά.

Ο σχετικός εντοπισμός, βασίζεται στην ιδέα του προσδιορισμού του διανύσματος μεταξύ δύο σημείων. Το διάνυσμα αυτό, ονομάζεται βάση (baseline), με συνιστώσες του ΔΧ, ΔΥ, ΔΖ, για κάθε διάσταση. Οι τεχνικές σχετικού εντοπισμού ή σχετικού προσδιορισμού, καταφέρνουν να απαλείφουν τα περισσότερα σφάλματα που υπεισέρχονται στις συνιστώσες του διανύσματος, μέσω κοινών παρατηρήσεων προς δορυφόρους στις ίδιες εποχές. Το σημαντικό πλεονέκτημα των μεθόδων σχετικού εντοπισμού, είναι ότι αντί των πρωτογενών παρατηρήσεων χρησιμοποιούνται γραμμικοί συνδυασμοί από τουλάχιστον δύο δέκτες που πραγματοποιούν ταυτόχρονες

παρατηρήσεις. Οι βασικότερες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται από τους δέκτες GNSS είναι οι ακόλουθες:

### **Η μέθοδος των απλών διαφορών**

Η μέθοδος των απλών διαφορών (single difference), ορίζεται από τη διαφορά ταυτόχρονων παρατηρήσεων μεταξύ δύο δεκτών ως προς τον ίδιο δορυφόρο. Αυτή η μέθοδος δίνει παρατηρήσεις φάσεων απαλλαγμένες από το σφάλμα ρολογιού του δορυφόρου, ενώ αν τα δύο σημεία (σημείο αναφοράς και σημείο προς προσδιορισμό) βρίσκονται σε απόσταση έως 20km, επιτυγχάνεται δραματική μείωση των επιδράσεων του μέσου διάδοσης (σφάλματα ιονόσφαιρας - τροπόσφαιρας) και του σφάλματος τροχιάς.

### **Η μέθοδος των διπλών διαφορών**

Η μέθοδος των διπλών διαφορών (double difference), ορίζεται από τη διαφορά ταυτόχρονων παρατηρήσεων μεταξύ δύο δεκτών ως προς δύο δορυφόρους. Εκτός από την απαλοιφή των σφαλμάτων της μεθόδου των απλών διαφορών, αυτή η μέθοδος απαλείφει και το σφάλμα των ρολογιών των δεκτών. Αυτή η μέθοδος, είναι αυτή που χρησιμοποιείται συνήθως από τα λογισμικά GNSS ως το βασικό κομμάτι υπολογισμού των ασαφειών φάσης, καθώς είναι πλήρως απαλλαγμένη από σφάλματα χρόνου και με δραστική μείωση των επιδράσεων του μέσου διάδοσης.

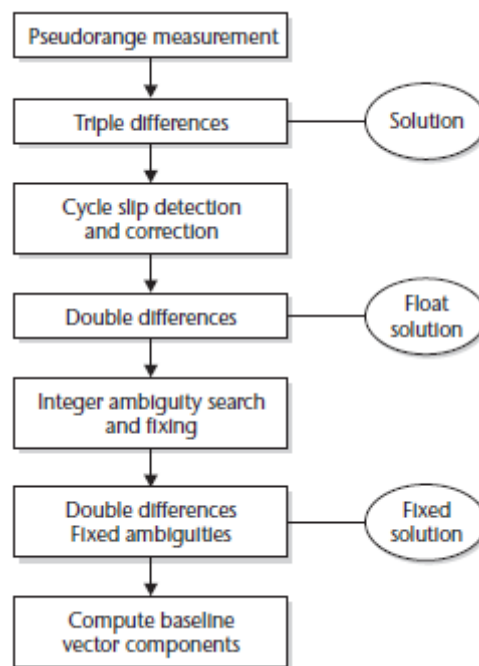
### **Η μέθοδος των τριπλών διαφορών**

Η μέθοδος των τριπλών διαφορών (triple difference), ορίζεται από τη διαφορά ταυτόχρονων παρατηρήσεων μεταξύ δύο δεκτών ως προς δύο δορυφόρους σε δύο διαφορετικές εποχές (συνήθως διαδοχικές). Για τις παρατηρήσεις φάσης, η ασάφεια φάσης παραμένει σταθερή ως προς το χρόνο, με την προϋπόθεση ότι δεν υπάρχει απώλεια του σήματος κατά τη διάρκεια των παρατηρήσεων. Ως εκ τούτου, είναι δυνατή η απαλοιφή των ασαφειών φάσης. Επιπλέον, επιτυγχάνεται η απαλοιφή της επίδρασης της τροπόσφαιρας (πρακτικά ίδιο μέγεθος σε διαδοχικές εποχές).

Βασικό πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι, ότι καθώς οι τριπλές διαφορές είναι απαλλαγμένες από την επίλυση των ασαφειών φάσης, χρησιμοποιούνται και για ανίχνευση πιθανών cycle slips, καθώς στην τριπλή διαφοροποίηση αυτά εμφανίζονται ως χονδροειδή σφάλματα. Γι αυτόν τον λόγο, η μέθοδος των τριπλών διαφορών χρησιμοποιείται για την a-priori συνόρθωση των προσεγγιστικών συντεταγμένων.

### Ο αλγόριθμος του σχετικού εντοπισμού.

Η λύση του διανύσματος στον σχετικό εντοπισμό, είναι δυνατή είτε με κατάλληλο λογισμικό σε πραγματικό χρόνο, είτε με κατάλληλο λογισμικό μετεπεξεργασίας. Ο γενικευμένος αλγόριθμος του σχετικού εντοπισμού ξεκινά με την χρήση των ψευδοαποστάσεων για μια προσεγγιστική λύση. Μέσω τριπλής διαφόρισης, η ασάφεια των ακέραιων κύκλων προσωρινά απαλείφεται από τις πρώτες παρατηρήσεις φάσης. Επίσης, οι τριπλή διαφόριση χρησιμοποιείται για εντοπισμό πιθανών σφαλμάτων ολίσθησης κύκλων. Η διαδικασία της επίλυσης των ασαφειών, ξεκινά με διαδοχικές παρατηρήσεις διπλών διαφορών, όπου ο αλγόριθμος συγκρίνει τις λύσεις σε διαδοχικές εποχές (float solution). Όταν η σύγκριση σε διαδοχικές εποχές δίνει αποδεκτή λύση, σημαίνει ότι η λύση έχει συγκλίνει σε αποδεκτό επίπεδο και έχουμε λύση ως προς το ακέραιο μέρος της ασάφειας φάσης (fixed solution). Ως αποδεκτή λύση, θεωρείται αυτή που έχει οριστεί από τον προγραμματιστή ή από τον χρήστη ως κατώφλι (threshold) για να θεωρηθεί ακέραια λύση. Η διαδικασία ελέγχου ως προς τη σύγκριση διαδοχικών εποχών διεξάγεται συνεχώς, ώστε να διασφαλιστεί ότι η λύση παραμένει στα επιθυμητά όρια που θεωρείται ακέραια.



Εικόνα 14 - Απλοποιημένο διάγραμμα ροής ενός δέκτη GNSS σε λειτουργία RTK. Πηγή: [6]

Με επιλυμένες τις ασάφειες φάσης, οι διπλές διαφορές χρησιμοποιούνται επαναληπτικά με μεθόδους ελαχίστων τετραγώνων, ώστε να προσδιορίζονται σε κάθε εποχή οι συνιστώσες του διανύσματος βάσης.

### **1.7.3 Μέθοδος Σχετικού Στατικού προσδιορισμού θέσης**

Η μέθοδος του σχετικού στατικού εντοπισμού, είναι η πρώτη υψηλής ακρίβειας μέθοδος που αναπτύχθηκε για τον δορυφορικό εντοπισμό και παραμένει η πιο ακριβής μέθοδος προσδιορισμού των συνιστωσών σχετικής θέσης, ειδικά για βάσεις μεγάλου μήκους. Απαιτεί έναν τουλάχιστον δέκτη ή σταθμό αναφοράς να βρίσκεται σε σημείο με γνωστές συντεταγμένες αναφοράς. Η μέθοδος βασίζεται σε πολλές εποχές ταυτόχρονων παρατηρήσεων δεκτών που είναι στατικοί, σε διατάξεις που εξασφαλίζουν σταθερότητα καθόλη τη διάρκεια των παρατηρήσεων. Σε εφαρμογές με ανάγκη αυξημένης ακρίβειας, απαιτούνται πολύωρες παρατηρήσεις, ώστε να εξασφαλιστεί το πλεονέκτημα των παρατηρήσεων σε διαφορετικούς δορυφορικούς σχηματισμούς. Με καλές συνθήκες και ικανοποιητικούς χρόνους μετρήσεων, οι περισσότεροι γεωδαιτικοί δέκτες δίνουν ακρίβειες της τάξης  $5\text{mm} + 0.5\text{ppm}$  στον προσδιορισμό του διανύσματος βάσης, που για μικρές βάσεις αντιστοιχεί σε ακρίβεια περίπου  $5\text{mm}$  στην οριζόντια και  $10\text{mm}$  κατακόρυφη συνιστώσα, αντίστοιχα. Καλύτερες επιδόσεις μπορούν να επιτευχθούν είτε με δέκτες δύο συχνοτήτων, που έχουν την δυνατότητα καλύτερης μοντελοποίησης των σφαλμάτων από την επίδραση της ιονόσφαιρας, είτε με χρήση τροχιών ακρίβειας, αντί για τις τροχιές που εκπέμπονται από το μήνυμα πλοήγησης των δορυφόρων.

### **1.7.4 Μέθοδος Σχετικού Κινηματικού προσδιορισμού θέσης**

Η μέθοδος του σχετικού κινηματικού προσδιορισμού, απαιτεί και αυτή έναν τουλάχιστον ακίνητο δέκτη αναφοράς ή σταθμό αναφοράς. Η διαφορά έγκειται στο γεγονός ότι ο δέκτης προς προσδιορισμό, μπορεί να κινείται από σημείο σε σημείο και δεν χρειάζεται να μένει σταθερός. Η φιλοσοφία της μεθόδου συνοψίζεται στο ότι από τη στιγμή που οι ασάφειες φάσης επιλυθούν, ο δέκτης μπορεί να μετακινείται, αρκεί να έχει πρόσβαση σε τουλάχιστον 4 δορυφόρους και διορθώσεις από τον δέκτη αναφοράς ή τον σταθμό αναφοράς.

Οι διορθώσεις για εφαρμογές πραγματικού χρόνου (Real Time Kinematic-RTK), εκπέμπονται με ασύρματη ζεύξη μεταξύ των δεκτών ή μεταξύ δέκτη και σταθμού αναφοράς/δικτύου. Ο δέκτης που χρησιμοποιείται για προσδιορισμό (rover), μετακινείται είτε αποτυπώνοντας χαρακτηριστικά σημεία, είτε καταγράφοντας μετρήσεις με προεπιλεγμένη συχνότητα, αναλόγως την εφαρμογή. Η μέθοδος RTK πραγματοποιείται με δύο τρόπους. Είτε με χρήση ενός δέκτη σταθερού σε ένα σημείο αναφοράς (γνωστών συντεταγμένων) που εκπέμπει σχετικές διορθώσεις του διανύσματος μέσω ασύρματης ζεύξης (συμβατικό RTK), είτε με χρήση δικτύου σταθμών αναφοράς (Network RTK). Ο μορφότυπος δεδομένων που χρησιμοποιείται συνήθως, καθορίζεται και αυτός από το πρότυπο του RTCM (Radio Technical Commission for Maritime Services).

Ο σχετικός κινηματικός προσδιορισμός σε πραγματικό χρόνο επιτυγχάνει ακρίβειες προσδιορισμού μερικών εκατοστών οριζοντιογραφικά και μία έως 2 φορές μειωμένη ακρίβεια κατακόρυφα. Γι αυτό χρησιμοποιείται συνήθως σε εφαρμογές προσδιορισμού της κίνησης κινούμενης πλατφόρμας και προσδιορισμού σημείων λεπτομερειών στις τοπογραφικές αποτυπώσεις.

Η συμβατική μέθοδος έχει ως σημαντικότερο πλεονέκτημα την ανεξαρτησία του χρήστη, καθώς μπορούν να πραγματοποιηθούν μετρήσεις ακρίβειας εκατοστών σε κοντινές περιοχές (της τάξεως μερικών χιλιομέτρων, απόστασης εξαρτώμενης από τον τρόπο ζεύξης), αρκεί να υπάρχουν τουλάχιστον δύο δέκτες διαθέσιμοι. Από την άλλη, η δικτυακή μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί με έναν δέκτη, έχοντας πληρέστερη κάλυψη από το δίκτυο των σταθμών αναφοράς. Το δίκτυο των σταθμών αναφοράς χρησιμοποιείται για την μοντελοποίηση των σφαλμάτων που οφείλονται στο μέσο διάδοσης των δορυφορικών σημάτων, ακόμα και εάν η φυσική απόσταση μεταξύ δέκτη και του πλησιέστερου σταθμού ξεπερνάει την απόσταση των 20km, που θεωρείται οριακή για την μεταβολή της συμπεριφοράς των σφαλμάτων ιονόσφαιρας – τροπόσφαιρας.

#### **1.7.5 Μηνύματα διορθώσεων DGNS**

Έχουν αναπτυχθεί πολλά πρωτόκολλα μηνυμάτων για την ειρομπή διορθώσεων μεταξύ δεκτών. Συνηθέστερα χρησιμοποιούμενο σε γεωδαιτιές εφαρμογές είναι το πρωτόκολλο μηνυμάτων που έχει αναπτυχθεί από την Ραδιοτεχνική Επιτροπή για Υπηρεσίες Ναυσιπλοΐας (RTCM). Ενώ αρχικά αναπτύχθηκε για εφαρμογές ναυσιπλοΐας, πλέον χρησιμοποιείται ευρέως από την πλειοψηφία των εμπορικών δεκτών GNSS, συμπεριλαμβανομένων των δεκτών χαμηλού κόστους και των γεωδαιτιών δεκτών.

Το πρωτόκολλο αποτελείται από επιμέρους υποομάδες μηνυμάτων, όπως φαίνεται στον παρακάτω Πίνακα:

Πίνακας 6 - Ομάδες μηνυμάτων RTK, σύμφωνα με το πρότυπο RTCM 3.0. Πηγή: [16]

Όνομα Ομάδας	Όνομα υπο-ομάδας	Τύπος Μηνύματος
<b>Παρατηρήσεις</b>	GPS L1	1001 (minimum service)
		1002 (full service)
	GPS L1/L2	1003 (minimum service)
		1004 (full service)
	GLONASS L1	1009 (minimum service)
		1010 (full service)
GLONASS L1/L2	1011 (minimum service)	
	1012 (full service)	
<b>Συντεταγμένες σταθμού αναφοράς</b>		1005
		1006
<b>Περιγραφή κεραιάς</b>		1007
		1008
<b>Δικτυακές διορθώσεις RTK</b>	Δεδομένα βοηθητικών σταθμών	1014
	Ιονοσφαιρικές διορθώσεις	1015
	Γεωμετρικές διορθώσεις	1016
	Συνδυασμός ιονοσφαιρικών και γεωμετρικών διορθώσεων	1017
<b>Βοηθητικές πληροφορίας λειτουργίας</b>	Παράμετροι συστήματος	1013 (full service)
	Δεδομένα εφημερίδας	1019
		1020
	Unicode text String	1029
<b>Μηνύματα δεσμευμένης πληροφορίας</b>		4088-4095

Το πρότυπο RTCM ανανεώνεται συνεχώς, ώστε να περιλαμβάνει μηνύματα για τα νέα συστήματα δορυφορικής πλοήγησης και νέα μηνύματα δεσμευμένης πληροφορίας από κατασκευαστές δεκτών GNSS.

## 1.8 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ

Για να καταστρωθεί ένα μαθηματικό μοντέλο που να λύνει το πρόβλημα της δορυφορικής πλοήγησης, είναι χρήσιμο να γίνει επιλογή ενός συστήματος αναφοράς που να μπορεί να εκφραστεί η κατάσταση τόσο των δορυφόρων GNSS, όσο και των δεκτών που λαμβάνουν τα σήματά τους. Για τον προσδιορισμό θέσης δεκτών με δορυφορικές μεθόδους, πλεονεκτεί η επιλογή γεωκεντρικών συστημάτων αναφοράς. Στον δορυφορικό εντοπισμό χρειάζεται να γίνει προσδιορισμός τόσο της θέσης/κίνησης των δορυφόρων, όσο και προσδιορισμός της θέσης/κίνησης με αναφορά στην επιφάνεια της γης.

Ο προσδιορισμός ενός συστήματος αναφοράς, μέσω ενός μαθηματικού μοντέλου, θα πρέπει να περιέχει πληροφορίες για την αρχή του συστήματος, τον προσανατολισμό των αξόνων και να έχει μαθηματικό και φυσικό υπόβαθρο. Η υλοποίηση ενός συστήματος αναφοράς πραγματοποιείται μέσω ενός συνόλου προτύπων σημείων που είναι σαφώς καθορισμένα, λαμβάνοντας υπ' όψιν τη θέση τους ή και την κίνησή τους σε συγκεκριμένη εποχή. Στη Γεωδαισία χρησιμοποιούνται δύο κατηγορίες συστημάτων αναφοράς χώρου. Πρόκειται για τα αδρανειακά συστήματα, που χρησιμοποιούνται για την περιγραφή της κίνησης των πλανητών και των δορυφόρων και αυτά που έχουν ως κέντρο αναφοράς τη Γη αλλά συμμετέχουν στην περιστροφή της Γης, οπότε και είναι κατάλληλα για την περιγραφή κινήσεων πάνω στην επιφάνεια της γης.

Για τον αξιόπιστο προσδιορισμό των τροχιών των δορυφόρων GNSS, είναι πρακτικό να χρησιμοποιείται ένα γεωκεντρικό αδρανειακό σύστημα αναφοράς, με αρχή το γεωκέντρο και άξονες σταθερά προσανατολισμένους, αγνοώντας την περιστροφή της γης. Ένας δορυφόρος GNSS ακολουθεί τους νόμους του Νεύτωνα σχετικά με την κίνηση των σωμάτων και την βαρύτητα σε ένα αδρανειακό σύστημα.

Στον αντίποδα, για τον αξιόπιστο προσδιορισμό της θέσης ενός δέκτη GNSS είναι πιο πρακτικό να χρησιμοποιείται έναν γεωκεντρικό σύστημα αναφοράς που ακολουθεί την περιστροφή της γης (ECEF). Ένα τέτοιο σύστημα έχει και αυτό ως αρχή το γεωκέντρο, άξονα Z μια μέση θέση του άξονα περιστροφής της γης, άξονα X να διέρχεται από το σημείο τομής του ισημερινού και ενός μηδενικού μέσου μεσημβρινού επιπέδου και άξονα Y να συμπληρώνει το δεξιόστροφο καρτεσιανό σύστημα [5]. Ως εκ τούτου, οι 3 άξονες ακολουθούν τη κίνηση της Γης και δε μπορούν να περιγράψουν σταθερές διευθύνσεις στον αδρανειακό χώρο.

Τα κέντρα ελέγχου στα συστήματα GNSS πραγματοποιούν τους μετασχηματισμούς μεταξύ αδρανειακού και ECEF, μέσω κατάλληλων πινάκων στροφής.



### **1.8.1 WGS 84**

Το πρότυπο φυσικό μοντέλο της Γης που χρησιμοποιείται στο GPS είναι το παγκόσμιο γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς WGS 84 του Υπουργείου Άμυνας των ΗΠΑ. Είναι ένα επίγειο γεωκεντρικό σύστημα που το ελλειψοειδές του ορίζεται από τις παραμέτρους:

Πίνακας 7 - Το ελλειψοειδές του WGS84

Βασικές παράμετροι ελλειψοειδούς WGS 84		
a	6378137.0m	Μεγάλος ημιάξονας
1/f	298.257223563	αντίστροφο επιπλάτυνσης
GM	$(3986004.418 \pm 0.008) \times \frac{10^8 m^3}{s^2}$	Γήινη βαρυτική σταθερά
$\omega$	$7292115 \times 10^{-11} rads/sec$	γωνιακή ταχύτητα περιστροφής

Το σύστημα συντεταγμένων του WGS 84 είναι προσαρτημένο στο ελλειψοειδές του GRS80 με αφετηρία το γεώκεντρο.

### 1.8.2 Τοπικά συστήματα αναφοράς. Το ΕΓΣΑ87

Καθώς οι υπολογισμοί σε γεωδαιτικές ή καρτεσιανές συντεταγμένες είναι δύσκολοι για καθημερινή χρήση σε τοπογραφικές εφαρμογές, υπάρχει η ανάγκη για έκφραση του χώρου σε μια επιφάνεια δύο διαστάσεων μέσω μιας προβολής. Η προβολή αυτή δε μπορεί να επιτευχθεί χωρίς παραμορφώσεις, είναι δυνατόν όμως να επιλεγεί η προβολή αυτή που θα προσαρμοστεί καλύτερα στον χώρο, ώστε να επιτευχθεί η βέλτιστη λύση. Στον Ελλαδικό χώρο, έχει καθιερωθεί η εγγάρσια μερκατορική προβολή με συντελεστή κλίμακας στο κεντρικό βάθρο υλοποίησής του (βάθρο Διονύσου Αττικής)  $k=0.9996$ , με την ονομασία Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987 (ΕΓΣΑ87).

Το ΕΓΣΑ87 χρησιμοποιεί το ελλειψοειδές GRS80, που διαφοροποιείται κατά μερικά χιλιοστά σε σχέση με το ελλειψοειδές του WGS84, αλλά η αρχή των αξόνων έχει μετακινηθεί από το γεώκεντρο για καλύτερη προσαρμογή στον ελλαδικό χώρο. Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενοι παράμετροι μετατόπισης της αφετηρίας του ΕΓΣΑ87 είναι:

- $\Delta X = 193.723 \text{ m}$
- $\Delta Y = -74.030 \text{ m}$
- $\Delta Z = -246.018 \text{ m}$

Το ΕΓΣΑ87 υλοποιείται μέσω ενός δικτύου τριγωνομετρικών σημείων της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (ΓΥΣ), χωρίς να πραγματοποιείται επικαιροποίηση λόγω τεκτονικών μετακινήσεων, κάτι που αποτελεί περιοριστικό παράγοντα σε εφαρμογές μεγάλης κλίμακας.

### 1.8.3 HTRS07

Προκειμένου οι συντεταγμένες των δεκτών GNSS να είναι συμβατές με αυτές των δορυφορικών σχηματισμών, όπως αυτές παρέχονται από τις τροχιές ακριβείας στο Διεθνές Επίγειο Πλαίσιο Αναφοράς (ITRF), οι διεθνείς επιτροπές έχουν εισάγει συστήματα αναφοράς που παρακολουθούν τον δυναμικό χαρακτήρα του συστήματος. Στην Ε.Ε. η επιτροπή EUREF έχει εισάγει το σύστημα αναφοράς ETRS89. Το ETRS89 ταυτίστηκε με το ITRS) κατά την εποχή 1989.0 και θεωρείται σταθερά προσκολλημένο στο σταθερό μέρος της Ευρασιατικής τεκτονικής πλάκας. [17] Η εφαρμογή του ETRS89 προσαρμοσμένη στον Ελλαδικό χώρο, ως σύστημα αναφοράς του HEPOS ονομάστηκε Ελληνικό επίγειο σύστημα αναφοράς 2007 (Hellenic Terrestrial Reference System - HTRS07). Σήμερα, το HTRS07 ταυτίζεται σε επίπεδο περίπου 1m με το WGS84.

### 1.8.4 Η χρήση του HEPOS. Μετασχηματισμός μεταξύ HTRS07-ΕΓΣΑ87

Η χρήση του HEPOS για παραγωγή συντεταγμένων στο ΕΓΣΑ87 προϋποθέτει τον μετασχηματισμό μεταξύ του συστήματος αναφοράς του HEPOS και του ΕΓΣΑ87. Σύμφωνα με το επίσημο μοντέλο μετασχηματισμού που αναπτύχθηκε από ερευνητική ομάδα του τμήματος Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του ΑΠΘ για την Κτηματολόγιο Α.Ε, υλοποιείται αμφίδρομος μετασχηματισμός μέσω ελεύθερα διατιθέμενου λογισμικού για μετεπεξεργασία [18]. Οι παράμετροι του μετασχηματισμού, εισάγονται επίσης στους εμπορικούς γεωδαιτικούς δέκτες για εφαρμογές πραγματικού χρόνου.

Οι παράμετροι αντιστοιχούν σε τρεις συνιστώσες μετάθεσης, τρεις συνιστώσες στροφής και έναν συντελεστή κλίμακας που χρησιμοποιούνται μέσω της σχέσης του επίσημου μοντέλου, όπως δίνεται από την Κτηματολόγιο Α.Ε. Πρόκειται για έναν τρισεδιάστατο μετασχηματισμό ομοιότητας, όπου για μετασχηματισμό από καρτεσιανές συντεταγμένες ΕΓΣΑ87 προς καρτεσιανές συντεταγμένες HTRS07 ισχύει η σχέση του ευθέως μετασχηματισμού:

$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix}_{ΕΓΣΑ87} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{HTRS07} + \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \delta s & \varepsilon_z & -\varepsilon_y \\ -\varepsilon_z & \delta s & \varepsilon_x \\ \varepsilon_y & -\varepsilon_x & \delta s \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{HTRS07} \quad (29)$$

όπου οι 7 παράμετροι παίρνουν τις τιμές, σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 8 - Οι 7 παράμετροι του ευθέως μετασχηματισμού ομοιότητας του επίσημου μοντέλου.

Μεταθέσεις	Στροφές	Κλίμακα
$t_x = 203.437m$	$\varepsilon_x = -0.170 \text{ arcsec}$	$\delta_s = -0.294ppm$
$t_y = -73.461m$	$\varepsilon_y = -0.060 \text{ arcsec}$	
$t_z = -243.594m$	$\varepsilon_z = -0.151 \text{ arcsec}$	

Σε περίπτωση του αντίστροφου μετασχηματισμού, δηλαδή για μετασχηματισμό από το HTRS07 προς το EΓΣΑ87, γίνεται εύκολα αντιληπτό από την παραπάνω εξίσωση, ότι χρησιμοποιείται ο ίδιος τύπος αλλά με αντίθετα πρόσημα για τις 7 παραμέτρους μετασχηματισμού.

Εάν θέλουμε να καταλήξουμε σε προβολικές συντεταγμένες EΓΣΑ87, που είναι ο τρόπος έκφρασης των συντεταγμένων στις τοπογραφικές εφαρμογές, θα πρέπει στη συνέχεια να μετατραπούν σε γεωγραφικές στο ίδιο σύστημα και ακολούθως σε προβολικές συντεταγμένες.

Αρχικά, προκειμένου να μετασχηματιστούν οι καρτεσιανές σε γεωγραφικές (γεωδαιτικές) συντεταγμένες ( $\varphi, \lambda, h$ ) εφαρμόζονται οι σχέσεις:

$$\varphi = \arctan \left[ \frac{Z}{\sqrt{X^2+Y^2}} \times \frac{1}{1 - \frac{R_N}{R_N+h}} \times e^2 \right] \quad (30)$$

$$\lambda = \tan^{-1} \left( \frac{Y}{X} \right) \quad (31)$$

$$h = \frac{\sqrt{X^2+Y^2}}{\cos(\varphi)} - R_N \quad (32)$$

όπου,

- $e^2 = \frac{a^2-b^2}{a^2}$  το τετράγωνο της εκκεντρότητας
- $R_N = \frac{a}{\sqrt{1-e^2 \sin^2 \varphi}}$ , η συνισταμένη των X,Y,Z προβαλλόμενη στην επιφάνεια του ελλειψοειδούς.

Καθώς το πλάτος  $\varphi$  εμφανίζεται και στο δεξί μέρος της εξίσωσης (30), πρέπει ο αλγόριθμος του μετασχηματισμού από καρτεσιανές σε γεωδαιτικές συντεταγμένες να λειτουργήσει επαναληπτικά.

Ακολούθως οι γεωδαιτικές συντεταγμένες ( $\varphi, \lambda$ ) μπορούν να μετατραπούν σε προβολικές της μορφής (E', N'), με χρήση της προβολής TM87. Για να επιτευχθεί ακρίβεια μετασχηματισμού λίγων cm, εκτός από τον 7παραμετρικό μετασχηματισμό ομοιότητας, γίνεται χρήση και δύο καννάβων διορθώσεων βάσει των οποίων διορθώνονται οι προβολικές συντεταγμένες E' και N' που προκύπτουν από τον μετασχηματισμό ομοιότητας. Οι διορθώσεις αυτές ορίζονται πάνω σε

έναν κίναβο δύο διαστάσεων που καλύπτει όλη την Ελλάδα, πλην Καστελόριζου. Ο κίναβος έχει βήμα 2km σε κάθε διεύθυνση των αξόνων του και οι ενδιάμεσες τιμές ορίζονται με γραμμική παρεμβολή. Τέλος, οι διορθώσεις προστίθενται στις προσεγγιστικές προβολικές συντεταγμένες και προκύπτουν οι τελικές προβολικές συντεταγμένες (E, N).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2    **Οι Δέκτες GNSS**

Οι δέκτες GNSS είναι το βασικό μέρος του τμήματος χρηστών κάθε δορυφορικού συστήματος GNSS. Οι δέκτες πραγματοποιούν συνεχώς εκτιμήσεις και διορθώσεις σε 2 παραμέτρους:

- Την καθυστέρηση του κώδικα, που ποσοτικοποιεί την αποχή από τη σύμπτωση μεταξύ του εισερχόμενου σήματος με το αντίγραφο του κώδικα ψευδοτυχαίου θορύβου.
- Την φάση των φορέων, που αντικατοπτρίζει την σχετική κίνηση μεταξύ δέκτη και δορυφόρων.

Μετά τον συγχρονισμό των εισερχομένων σημάτων και την αποδιαμόρφωση του μηνύματος πλοήγησης, ο δέκτης έχει τη δυνατότητα να προσδιορίσει τις ψευδοαποστάσεις από κάθε δορυφόρο και να υπολογίσει μια πρώτη λύση πλοήγησης.

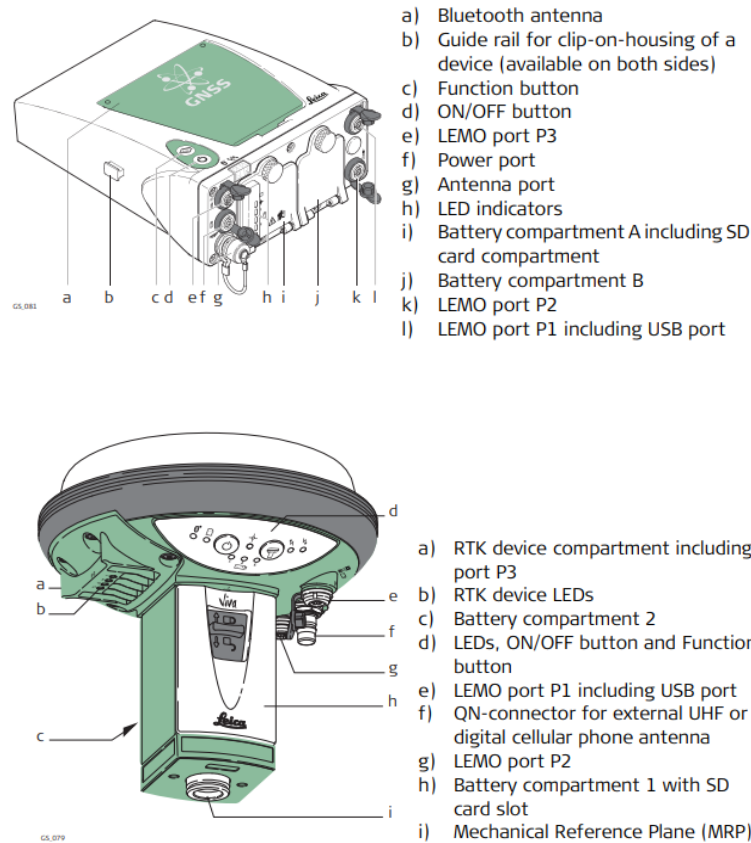
### 2.1 Η ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟΥ ΔΕΚΤΗ GNSS

Οι γεωδαιτικοί δέκτες GNSS, συνήθως αναφερόμενοι στην διεθνή βιβλιογραφία ως survey-grade, δηλαδή «τοπογραφικής ακρίβειας» αποτελούν ένα αναπόσπαστο κομμάτι της καθημερινής χρήσης από μηχανικούς. Χρησιμοποιώντας τα συστήματα δορυφορικής πλοήγησης, πραγματοποιούν μετρήσεις ακρίβειας επί της φυσικής γήινης επιφάνειας ή καταγράφουν την κίνηση κινούμενων πλατφορμών, με προσδιορισμό της εξάρτησης των μετρήσεων από συστήματα αναφοράς συντεταγμένων.

Συνήθως υπό τον όρο «Γεωδαιτικό Δέκτη», εννοούμε ένα πακέτο που συμπεριλαμβάνει όλα τα παρελκόμενα που χρησιμοποιούνται για την λήψη, επεξεργασία του σήματος και την διενέργεια μετρήσεων. Τέτοια παρελκόμενα είναι η γεωδαιτική κεραία, το σύστημα μετρητικών διατάξεων (τριπόδια, βάσεις, τρίποδες, στυλαιοί κλπ), καθώς και τη δυνατότητα ζεύξης για εκπομπή/λήψη διορθώσεων σε διαφορικές ή σχετικές μεθόδους εντοπισμού.

Αυτοί οι δέκτες, έχουν δυνατότητα να παρατηρούν φάσεις συνήθως σε πολλές συχνότητες, ενώ και η αρχιτεκτονική της κατασκευής τους είναι τέτοια που αντιμετωπίζει με επιτυχία θεμελιώδη προβλήματα του συστήματος GNSS. Από την δυνατότητα περιορισμού του φαινομένου της πολυανάκλασης με προσεκτικό σχεδιασμό της κεραίας, μέχρι μοντελοποίηση σφαλμάτων και αύξηση της παραγωγικότητας στο πεδίο με τον αντίστοιχα προσεκτικό σχεδιασμό των δεκτών και των λογισμικών διεπαφής τους. Αυτά τα χαρακτηριστικά ενός τυπικού πακέτου GNSS, ορίζουν την τιμή λιανικής αγοράς του, διεθνώς, σε αρκετά χιλιάδες δολάρια.

Η κατασκευή τους είναι συνήθως από υλικά αντοχής και καθορίζεται από πρότυπα πιστοποίησης ανθεκτικότητας σε συνθήκες περιβάλλοντος και χτυπήματα. Προορίζονται για εύκολη χρήση σε απαιτητικό περιβάλλον από επαγγελματίες χωρίς ειδικές γνώσεις.



Εικόνα 15 - Σχηματικά σαρωρήματα των συσκευών Leica CS10 και GS15. Πηγή:  
[http://www.surveyequipment.com/PDFs/Leica\\_Viva\\_GS10\\_GS15\\_User\\_Manual.pdf](http://www.surveyequipment.com/PDFs/Leica_Viva_GS10_GS15_User_Manual.pdf)

Οι βασικές ηλεκτρονικές διατάξεις ενός συστήματος δέκτη GNSS συνοψίζονται στα παρακάτω:

- Την εξωτερική κεραία GNSS: Πρόκειται για το μέσο που επιτυγχάνεται η διασύνδεση μεταξύ του Space Segment και του User Segment. Κατασκευαστικά προστατεύονται από ένα περίβλημα που είναι ουσιαστικά η διάταξη που προστατεύει την κεραία από τις καιρικές συνθήκες και το groundplane που αποτρέπει τη πολυανάκλαση. Η κεραία λαμβάνει εξαιρετικά ασθενή σήματα στις πολλαπλάσιες συχνότητες της θεμελιώδους συχνότητας 10.23 MHz (πχ GPS L1= 1575.42 MHz, GPS L2= 1227.60 MHz).

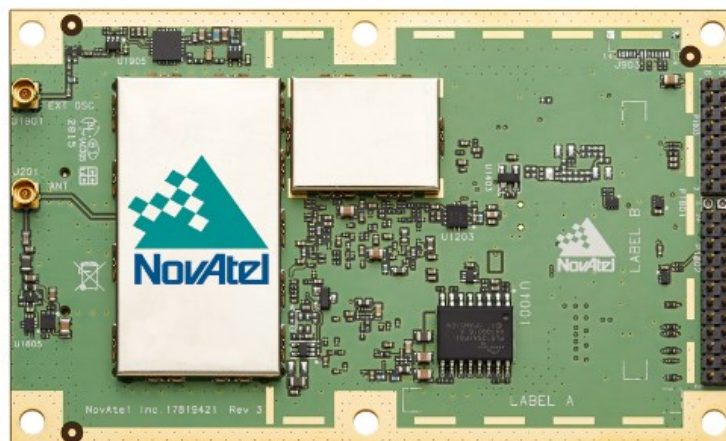
-Την κεντρική ηλεκτρονική πλακέτα (main board): Πρόκειται για την μηχανή επεξεργασίας δεδομένων. Βρίσκεται συνήθως είτε ενσωματωμένος στο περίβλημα της κεραίας, είτε εντός ενός χειριστηρίου PDA για τους γεωδαιτικούς δέκτες.

- Την πλακέτα διεπαφής (interface board): Πρόκειται για τον διάυλο επικοινωνίας μεταξύ της κεραίας GNSS και την κεντρικής ηλεκτρονικής πλακέτας. Συνήθως αποτελεί τμήμα εντός του χειριστηρίου PDA και συνδέεται μέσω pins απευθείας με την κεντρική πλακέτα και μέσω θύρας διασύνδεσης ή ασύρματα (Wi-Fi ή Bluetooth) με την εξωτερική κεραία GNSS.

Στην Εικόνα 16 παρακάτω, παρουσιάζεται μία κάτοψη ενός πακέτου κεντρικής πλακέτας πάνω σε πλακέτα διεπαφής.

## 2.2 ΤΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ OEM (ORIGINAL EQUIPMENT MANUFACTURER).

Προκειμένου να καλυφθούν οι καταναλωτικές ανάγκες στα προϊόντα τεχνολογίας, οι κατασκευαστές εκτός από τη διάθεση ολοκληρωμένων πακέτων, συχνά προχωρούν και σε διάθεση των βασικών μερών χωριστά για να καλύψουν ειδικές ανάγκες δομής νέων ή παραλλαγές σε προϊόντα. Στην αγορά συστημάτων δεκτών GNSS, αυτό αφορά σε χωριστή διάθεση των βασικών ηλεκτρονικών διατάξεων που απαρτίζουν ένα ολοκληρωμένο σύστημα.



Εικόνα 16 - Κάτοψη του OEM729 Receiver Board της Novatel. Κεντρικά αριστερά η κεντρική πλακέτα, αριστερά οι διεπαφές με κεραία, δεξιά (μέσω pins) με άλλες συσκευές (πχ bluetooth, PC κλπ) Πηγή: [https://docs.novatel.com/oem7/Content/PDFs/OEM7\\_Installation\\_Operation](https://docs.novatel.com/oem7/Content/PDFs/OEM7_Installation_Operation)

Ο εξειδικευμένος χρήστης έχει τη δυνατότητα, αγοράζοντας χωριστά τα επί μέρους τμήματα ενός συστήματος, να κατασκευάσει αυτός έναν δέκτη GNSS με σημαντικά χαμηλότερο κόστος και προσαρμοσμένο στις ανάγκες του (πχ με ενσωμάτωση OEM IMU). Καθώς όμως απαιτούνται προχωρημένες γνώσεις και ικανότητες, δύσκολα εφαρμοζόμενες από απλούς χρήστες, τα προϊόντα OEM δεν κατατάσσονται στην κατηγορία χαμηλού κόστους.



### 2.3 ΟΙ ΔΕΚΤΕΣ ΠΛΟΗΓΗΣΗΣ – ΥΨΗΛΗΣ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ. LOW-COST GNSS.

Το μόνο πιο δύσκολο από την περιγραφή της σύγχρονης αγοράς GNSS, είναι η πρόβλεψη για την μελλοντική της ανάπτυξη. Έχοντας ήδη την εμπειρία της ταυτόχρονης λειτουργίας GPS και GLONASS και σε αναμονή για την πλήρη λειτουργία τουλάχιστον άλλων 2 παγκοσμίων συστημάτων (GALILEO, BeiDou), οι εφαρμογές των δορυφορικών συστημάτων εντοπισμού θα αποκτήσουν νέα δυναμική.

Αμέσως μετά την παύση της Επιλεκτικής Διαθεσιμότητας για το GPS τον Μάιο το 2000, τόσο η επιστημονική κοινότητα, όσο και η εμπορική αγορά προσανατολίστηκε σε χρήση της δορυφορικής πλοήγησης σε εφαρμογές πραγματικού χρόνου. Ένας αυτόνομος δέκτης, μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε καθημερινές εφαρμογές, με απαιτήσεις ακρίβειας μερικών μέτρων. Ταυτόχρονα διαφορικές/σχετικές τεχνικές DGNSS, εξασφάλιζαν προσδιορισμό θέσης έως και τάξης λίγων cm. Πιο συγκεκριμένα, δέκτες που υποστηρίζουν τεχνικές RTK, απαιτούσαν βαθμονομημένες κεραιές και συστήματα λήψης και επεξεργασίας διορθώσεων. Αυτά τα χαρακτηριστικά, τους καθιστούσαν ακριβούς (σε τιμές της τάξης των 10000 δολαρίων/δέκτη), κάνοντας αδύνατη την αφομοίωση τους σε καθημερινές εφαρμογές. Εάν με κάποιον τρόπο γινόταν δυνατό, φθηνότερες διατάξεις να πετύχουν ακρίβειες εκατοστών, θα δημιουργούσαν μια επανάσταση στη χρήση του GNSS σε συστήματα αυτόνομης πλοήγησης, επαυξημένης ασφάλειας και γενικότερα συστήματα διαχείρισης που απαιτούν ακρίβεια στον προσδιορισμό θέσης.

Τα τελευταία χρόνια, η αγορά των κατασκευαστών GNSS, προσφέρει δέκτες με μειωμένο κόστος, ή και πολύ μειωμένο κόστος, σε συσκευές που φιλοδοξούν να πετύχουν αποδόσεις εφάμιλλες των ακριβών – επαγγελματικών διατάξεων. Παρόλ' αυτά, λίγες πληροφορίες δίνονται σχετικά με τις ακρίβειες και τις αποδόσεις αυτών των δεκτών σε πραγματικές συνθήκες. Οι δέκτες αυτοί συνηθίζεται να αναφέρονται ως δέκτες υψηλής ευαισθησίας (High Sensitivity), δέκτες GNSS χαμηλού κόστους (low-cost GNSS), ή απλά δέκτες πλοήγησης (navigation receivers).

Ως δέκτες υψηλής ευαισθησίας, περιγράφονται οι δέκτες που δίνουν λύση θέσης, ακόμα και σε εξασθενημένα σήματα, έντασης μικρότερης από τα -160dBW [19]. Το εξασθενημένο σήμα μπορεί να προκληθεί από την χρήση κεραιάς μειωμένης αξιοπιστίας, από το multipath ή από σήματα που δεν υπάρχει απευθείας θέαση (non-LOS signals). Το πλεονέκτημα αυτών των δεκτών είναι η υψηλότερη διαθεσιμότητα, το βασικό μειονέκτημα όμως παραμένει η μειωμένη ακρίβεια της διαθέσιμης θέσης. Οι περισσότεροι από αυτούς τους δέκτες χαρακτηρίζονται ως ακατάλληλοι για γεωδαιτικές εφαρμογές, καθώς πραγματοποιούν μόνο μετρήσεις κώδικα. Αναπτύσσονται όμως πλέον και δέκτες που έχουν τη δυνατότητα μετρήσεων φάσης, ακόμα και σε δύο συχνότητες,

οπότε ξεπερνώντας περιορισμούς που έχουν κυρίως να κάνουν με τις κεραιές των συστημάτων, προσφέρουν ικανοποιητικές ακρίβειες.

Ιχνηλατώντας τον όρο low-cost GNSS στη διεθνή και εγχώρια βιβλιογραφία, νοείται η χαμηλού κόστους αγοράς συστήματος GNSS με δυνατότητα χρήσης του για καθημερινής χρήσης εργασίες. Αλλά τι είναι το χαμηλό κόστος; Παρακάτω θα επιχειρηθεί μία προσέγγιση του όρου.

Σε κάθε περίπτωση, ένα σύστημα GNSS χαμηλού κόστους, θα όφειλε να εκπληρώσει κάποιες προδιαγραφές ακρίβειας και αξιοπιστίας, στο λιγότερο δυνατό κόστος. Συνήθως πλακέτες OEM δεκτών της τάξης των 500 δολαρίων θεωρούνται χαμηλού κόστους [20]. Οι mid-range δέκτες, δηλαδή με κόστος λίγα χιλιάδες δολάρια, αφορούν σε μια κατηγορία δεκτών που βασίζονται σε γνωστά και δοκιμασμένα OEM προϊόντα, κατασκευασμένα με προδιαγραφές πιστοποίησης σχετικά με αδιαβροχοποίηση, αντοχή κλπ, αλλά με κατασκευή φθηνότερων υλικών σε αναπτυσσόμενες αγορές. Μια απεικόνιση των όρων αυτών, δίνεται στην παρακάτω εικόνα.

Type	Receiver	Firmware	Notes	Price
High-End (ground truth)	Navcom SF-3050	2.0.1	Multifrequency L1/L2	>\$ 10,000 (estimate)
Mid-Range	Hemisphere Eclipse P307	5.1	Multifrequency L1/L2	\$ 2,300
Low-Cost	Swift Piksi Multi	1.1.27	Multifrequency L1/L2, Firmware supported GPS only	\$ 540
	NVS Technologies NV08C-RTK	V0029	Single frequency, L1	\$ 490
	Emlid Reach	2.3	Single frequency, L1, Uses u-blox NEO-M8T chip	\$ 399
	u-blox NEO-M8P	HPG 1.20REF	Single frequency, L1	\$ 235
	Skytraq S2525F8	NS-HP-GL-10S (20170712)	Single frequency, L1	\$ 200

Εικόνα 17 - Μια απεικόνιση των όρων mid-range και low-cost από το Πανεπιστήμιο της Μινεσότα. Πηγή: [20]

Η τεχνολογία των δεκτών χαμηλού κόστους με δυνατότητα RTK αποτελεί κάτι το θελκτικό για τις εφαρμογές GNSS, ωστόσο πρέπει να αντιμετωπιστούν μία σειρά από δυσκολίες που αφορούν κυρίως στην συμπεριφορά αυτών των δεκτών σε δυναμικό περιβάλλον. Η ποιότητα και η αξιοπιστία των δεδομένων που παράγουν είναι επίσης ζητήματα προς διερεύνηση.

Το μικρό μέγεθος των δεκτών χαμηλού κόστους, τους επιτρέπει να ενσωματωθούν εύκολα σε κινητά τηλέφωνα, έξυπνα οχήματα και άλλες φορητές συσκευές καθημερινής χρήσης που παρέχουν πληροφορίες θέσης. Ωστόσο η ποιότητα των δεδομένων επηρεάζεται λόγω περιορισμών, που οφείλονται στο hardware τέτοιων συσκευών [21].

Το ζητούμενο, είναι οι δέκτες στα chipsets συσκευών καθημερινής χρήσης, να ακολουθήσουν μια διαφορετική προσέγγιση, όπου η συνήθης τεχνική των μετρήσεων κώδικα, να αντικατασταθεί από

αυτήν των διαφορικών μετρήσεων φάσεων. Αυτό ήδη πραγματοποιείται, αλλά έχει αρκετές προκλήσεις, που συνοφίζονται σε τρεις βασικές παραδοχές που καλείται κάποιος να επιλύσει [15]:

- Η ανακατασκευή της φάσης στις φέρουσες συχνότητες, απαιτεί υψηλή ισχύ, κάτι δύσκολο να αντιμετωπιστεί με τις πηγές ενέργειας καθημερινών, μη επαγγελματικών συσκευών, όπως ένα κινητό τηλέφωνο. Υπάρχει μία πολύ ενδιαφέρουσα προσέγγιση του Πανεπιστημίου του Τέξας [15], που αφορά σε aggressive duty cycling στο εσωτερικό GNSS chip της συσκευής, μειώνοντας εντυπωσιακά την κατανάλωση ενέργειας.
- Αναγνωρίζεται ότι το βασικό εμπόδιο για CDGNSS σε καθημερινές συσκευές, αφορά την κεραία και όχι το GNSS chipset. Η χρήση της απλής κεραίας GNSS του τηλεφώνου οδηγεί σε δυσκολία αντιμετώπισης της πολυανάκλασης και ως εκ τούτου, στην καθυστέρηση του χρόνου υπολογισμού των αρχικών τιμών ακέραιων τιμών φάσης (initialization). Στις περισσότερες έρευνες και πειράματα διεθνώς, οι συγγραφείς εστιάζουν στον low-cost δέκτη, χρησιμοποιώντας πολλές φορές διασύνδεση με γεωδαιτική κεραία ελέγχοντας τις διαφορές από αντίστοιχες διατάξεις με γεωδαιτικούς high-end δέκτες.
- Γίνεται προσπάθεια ώστε να μειωθεί ο χρόνος αρχικοποίησης, με τεχνικές που χρησιμοποιούν πχ. την κάμερα ενός κινητού τηλεφώνου (VISRTK)

Παράλληλα, παρατηρούνται σημαντικές βελτιώσεις στους δέκτες GNSS κώδικα που χρησιμοποιούνται σε καθημερινές συσκευές. Αυτές αφορούν στο μέγεθος, τις ανάγκες σε ενέργεια και το κόστος των φορητών συσκευών. Όμως η ακρίβεια έχει σταθεροποιηθεί σε επίπεδα 2-3 μέτρων. Οποιαδήποτε βελτίωση επιτυγχάνεται, έχει να κάνει με το τμήμα διαστήματος, κυρίως λόγω δυνατότητας multi-GNSS. Ουσιαστικά, οι δέκτες που μετρούν κώδικα, έχουν φτάσει στα όρια της αρχής λειτουργίας τους (fundamental limitations). Υπό τις παρούσες συνθήκες, δύσκολα επιτυγχάνεται ακρίβεια κάτω του μέτρου, με απλούς δέκτες κώδικα.

## 2.4 Η ΑΓΟΡΑ ΤΩΝ ΔΕΚΤΩΝ ΠΛΟΗΓΗΣΗΣ

Η σύγχρονη κατάσταση στον χώρο της τεχνολογίας, έχει ως αποτέλεσμα την επέκταση του εύρους εφαρμογών που χρησιμοποιούνται δέκτες GNSS. Μια γενική ταξινόμηση των δεκτών GNSS θα ήταν ως εξής:

- Chipset σε κινητά τηλέφωνα/tablets. Συνήθως πρόκειται για δέκτες με δυνατότητα λήψης μιας συχνότητας και με δυνατότητα λήψη μόνο κώδικα, αν και αναπτύσσονται τελευταία

chipsets σε κινητά καθημερινής χρήσης με δυνατότητα δύο συχνοτήτων και μετρήσεις στους φορείς και ακόμα και εξαγωγή raw δεδομένων.

- Evaluation kits. Η διαφορά με την προηγούμενη κατηγορία είναι η δυνατότητα αποθήκευσης raw δεδομένων. Ξεείνησαν ως δέκτες μίας συχνότητας με δυνατότητες μέτρησης κώδικα και τώρα πλέον έχουν εξελιχθεί σε δέκτες πολλών συχνοτήτων, υποστήριξης multi-gnss και μετρήσεων φάσεων. Σε αυτή τη κατηγορία εμπίπτει και το ublox C94-M8P που χρησιμοποιήθηκε για τις ανάγκες της εργασίας.
- Δέκτες χειρός GIS. Συνήθως δέκτες μίας συχνότητας, με κάπως καλύτερες κεραιές και ευκολόχρηστα λογισμικά για χρήση σε πραγματικό χρόνο. Οι περισσότεροι ενσωματώνουν διαφορικές τεχνικές για ακρίβειες επιπέδου m.
- Γεωδαιτικοί δέκτες. Αναφέρθηκαν αναλυτικά στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Οι δύο πρώτες κατηγορίες περιλαμβάνουν την συντριπτική πλειοψηφία των δεκτών GNSS που προσφέρονται και αγοράζονται σήμερα. Ουσιαστικά πρόκειται για διαφορετικές αγορές, καθώς τα chipset και τα evaluation kits έχουν χρήση σε καθημερινές εφαρμογές (πλοηγοί αυτοκινήτων, υπηρεσίας εντοπισμού σε φορητές συσκευές, πλοήγησης) και κοστίζουν φθηνά, ενώ στον αντίποδα η χρήση σε επαγγελματικές εφαρμογές, όπως Τοπογραφία/Γεωδαισία, Γεωργία ακριβείας κλπ, χρησιμοποιεί δέκτες GIS και γεωδαιτικούς δέκτες.

Καθώς ενσωματώνεται η ανάγκη για προσδιορισμό θέσης στην καθημερινότητα περισσότερων εφαρμογών, αναδύεται η ανάγκη για εφαρμογές επαυξημένης ακριβείας, χωρίς να είναι επαγγελματικές εφαρμογές. Για παράδειγμα η ανάπτυξη των αυτόνομων κινούμενων πλατφορμών (μη επανδρωμένα αυτοκίνητα, UAV) απαιτεί ακρίβειες καλύτερες από μερικές δεκάδες εκατοστά, ενώ οι εφαρμογές διαμοιρασμού (πχ bike-, scooter- sharing) χρειάζονται αξιοπιστία στον προσδιορισμό της θέσης πολλές φορές σε δύσκολο αστικό περιβάλλον. Ο περιορισμός του μεγέθους των γεωδαιτικών δεκτών και το υψηλό τους κόστος, οδηγούν στην έρευνα εναλλακτικών λύσεων, σε εφαρμογές όπως είναι η πλοήγηση σε υποβοηθούμενα οχήματα [20]. Είναι κατανοητό ότι οι εφαρμογές μαζικής παραγωγής δεν είναι δυνατόν να χρησιμοποιούν τους ακριβούς δέκτες που προσφέρουν τα επιθυμητά χαρακτηριστικά ως προς την επιζητούμενη ακρίβεια, αλλά όχι ως προς το κόστος και το μέγεθος. Παρότι οι τεχνικές επαύξησης της ακριβείας, όπως οι διαφορικές/σχετικές μέθοδοι προσδιορισμού θέσης δημιουργήθηκαν για δέκτες που δεν έχουν τα χαρακτηριστικά των σημερινών low-cost δεκτών, γίνεται προσπάθεια ενσωμάτωσης των μεθόδων αυτών από όλο και ευρύτερο τμήμα της αγοράς.

Το 2016 ήταν μία χρονιά ορόσημο για την αγορά μαζικής παραγωγής GNSS χαμηλού κόστους. Η αμερικάνικη εταιρεία Google ανακοίνωσε ότι προτίθεται να διαθέτει raw δεδομένα GNSS

(τόσο από κώδικα, όσο και από τις φάσεις) από κινητά τηλέφωνα. Η κινέζικη εταιρεία Alibaba Group Holding Limited, ξεκίνησε μία κοινοπραξία για εφαρμογές βασισμένες στον προσδιορισμό θέσης. Την ίδια χρονιά, η ελβετική εταιρεία u-blox κυκλοφόρησε το πρώτο RTK προϊόν της για αγορά μαζικής παραγωγής.

Το 2017, η Broadcom, αμερικάνικη εταιρεία σχεδιασμού λογισμικών, ανακοίνωσε την ανάπτυξη του πρώτου διπλόσυχνου δέκτη για κινητά τηλέφωνα.

Το 2018, η u-blox ανακοίνωσε την ανάπτυξη του F9, ενός διπλόσυχνου δέκτη χαμηλού κόστους για χρήση σε εφαρμογές αυτόνομης πλοήγησης (lane-level navigation) και βιομηχανίας. Την ίδια χρονιά, η κινέζικη εταιρεία Xiaomi εξέδωσε το πρώτο smartphone με ενσωματωμένο GPS δύο συχνοτήτων.

## 2.5 Το U-BLOX EVALUATION KIT C94-M8P

Στον εξοπλισμό του τμήματος Μηχανικών Τοπογραφίας & Γεωπληροφορικής του Π.Α.Δ.Α. περιλαμβάνεται ένα ζεύγος δεκτών GNSS χαμηλού κόστους της ελβετικής εταιρείας u-blox, το C94-M8P-3 Evaluation Kit.

Πρόκειται για ένα ζεύγος χαμηλού κόστους δεκτών μονής συχνότητας, υψηλής ακρίβειας και ευαισθησίας, βασισμένο στη κεντρική ηλεκτρονική πλακέτα NEO-M8P-2 της ίδιας εταιρείας. Ο κάθε δέκτης είναι ενσωματωμένος σε πλακέτα διεπαφής που παρέχει τη δυνατότητα σύνδεσης είτε με την παρεχόμενη κεραία, είτε με οποιαδήποτε γεωδαιτική κεραία GNSS, καθώς επίσης και θύρα USB και RS232. Ο κάθε δέκτης έχει δυνατότητα να προγραμματιστεί τόσο ως base, όσο ως rover και η επικοινωνία μεταξύ των δεκτών πραγματοποιείται μέσω radio modem και κεραίας UHF, που συνδέονται στην πλακέτα διεπαφής. Εποπτικά, παρατίθεται στην Εικόνα 18 παρακάτω.



*Εικόνα 18 - Ο δέκτης u-blox που χρησιμοποιήθηκε. Διακρίνεται το κεντρικό chipset του δέκτη ενσωματωμένο στη πλακέτα διεπαφής και οι διασυνδέσεις USB, RS232, UHF, κεραίας GNSS, και οι ενδείξεις LED για την κατάσταση λειτουργίας και λειτουργία RTK. (Πηγή: C94-M8P Application Board Setup Guide)*

Οι δέκτες της σειράς M8, έχουν σχεδιαστεί για χρήση σε εφαρμογές μη επανδρωμένων πλατφορμών και γενικότερα ελέγχου μηχανημάτων που απαιτούν πλοήγηση ακριβείας. Ο κατασκευαστής υπόσχεται ακρίβεια επιπέδου cm όταν εφαρμόζονται τεχνικές σχετικού εντοπισμού σε ευνοϊκές συνθήκες παρατήρησης. Η αρχιτεκτονική τους υποστηρίζει διασύνδεση τόσο μέσω ασυρμάτων τεχνολογιών επικοινωνίας, όσο και με μια σειρά διεπαφών.

Πίνακας 9 - Υποστηριζόμενες μορφές διασύνδεσης u-blox σειράς M8

<b>Υποστηριζόμενες μορφές διασύνδεσης u-blox M8</b>	
<u>Ενσύρματες Διεπαφές (interfaces)</u>	<u>Ασύρματες τεχνολογίες</u>
UART(σειριακή)	Κυψελωτά δίκτυα
USB	Wi-Fi
SPI	Bluetooth
Display Data Channel (DDC)	UHF

Υποστηρίζουν τα συστήματα GPS, Glonass, BeiDou, QZSS, με τον περιορισμό ότι μπορούν παρατηρηθούν δορυφορικοί σχηματισμοί από δύο συστήματα ταυτόχρονα. Τα βασικά χαρακτηριστικά του συστήματος M8, δίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 10 Βασικά χαρακτηριστικά u-blox σειράς M8

<b>Κανάλια και λαμβανόμενα σήματα</b>	72 κανάλια (GPS L1C/A, GLONASS L1OF, BeiDou B1l)
<b>Ευαισθησία στα σήματα</b>	Πλοήγηση -160 dBm
<b>Μέγιστος ρυθμός ανανέωσης</b>	GPS: RTK 8Hz, multiGNSS: 5Hz
<b>Χρόνος σύγκλισης (φάσεις)</b>	RTK multiGNSS <60s
<b>Οριζόντια ακρίβεια θέσης</b>	Standalone 2.5m CEP RTK 0.025m + 1ppm CEP

Οι δέκτες της σειράς NEO-M8P-2, μπορούν να λειτουργήσουν τόσο σε στατικές, όσο και σε εφαρμογές κινούμενης βάσης.

Το σύστημα κεραίας GNSS που επιλέχθηκε, είναι η χαμηλού κόστους patch antenna τύπου u-blox. Πρόκειται για δύο, μία για κάθε δέκτη, μη βαθμονομημένες, μικρού μεγέθους κεραίες με μαγνητική βάση και αποσπώμενο μεταλλικό groundplane, που περιλαμβάνονται στο evaluation kit.



Εικόνα 19 - Το C94-M8P evaluation kit. Πηγή: <https://www.digikey.com>

Καθώς δεν υπάρχει πληροφορία σχετικά με τις μεταβολές του κέντρου φάσης των κεραιών τύπου u-blox, ίσως να ήταν χρήσιμο να πραγματοποιηθεί βαθμονόμηση. Στην γενική πρακτική χρησιμοποιούνται δύο μέθοδοι για βαθμονόμηση κεραιών [22]: Η απόλυτη βαθμονόμηση κεραιάς και η σχετική βαθμονόμηση κεραιάς. Τελικά αποκλείστηκε η διαδικασία της βαθμονόμησης, καθώς θα χρησιμοποιούταν η ίδια κεραιά, τόσο για τον base, όσο και για τον rover, στις παρατηρήσεις του πειράματος κατά ISO, οπότε με προσεκτικό σταθερό προσανατολισμό της διάταξης [19], θα μπορούσε να επιτευχθεί σχεδόν απαλοιφή του σφάλματος λόγω μεταβολής του κέντρου φάσης, όπως αναλύθηκε στην παράγραφο 1.5.2.

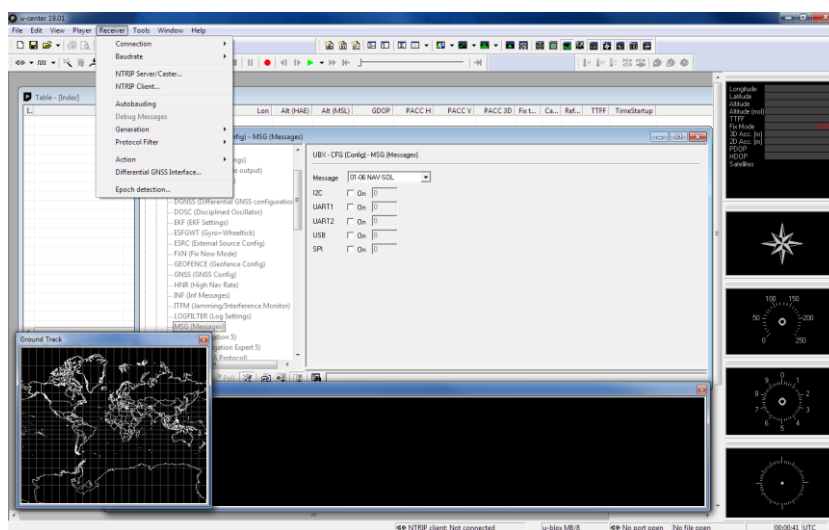
### 2.5.1 Ρύθμιση των δεκτών

Στην εργασιακή τους ρύθμιση, ο καθένας από τους δύο δέκτες, είναι ρυθμισμένος να λειτουργεί αυτόνομα, χωρίς δυνατότητα DGNSS/RTK και εξάγοντας στη σειριακή θύρα μηνύματα NMEA που μπορούν να παρακολουθούνται σε πραγματικό χρόνο, μέσω σύνδεσης σε συσκευή (PC ή mobile).

Για την αρχική ρύθμιση των C94-M8P, ώστε να λειτουργούν σε DGNSS ως base ή rover, χρησιμοποιήθηκαν μηνύματα του πρωτοκόλλου που έχει αναπτύξει η u-blox. Πρόκειται για εντολές που στέλνει ο χρήστης προς τους δέκτες, μέσω του λογισμικού που παρέχει η u-blox, του u-center. Η διασύνδεση πραγματοποιείται μέσω USB port και το λογισμικό την αναγνωρίζει ως εικονική θύρα COM.



## 2.5.2 Το λογισμικό u-center



Εικόνα 20 - Το βασικό GUI περιβάλλον του λογισμικού u-center

Το u-center είναι το εργαλείο που έχει αναπτύξει η ίδια η u-blox, προκειμένου οι χρήστες των δεκτών:

- 1) Να πραγματοποιούν ελέγχους απόδοσης σε δέκτες u-blox και άλλους δέκτες GNSS.
- 2) Να ρυθμίζουν τους δέκτες GNSS.
- 3) Να αναβαθμίζουν το firmware των δεκτών.

Πρόκειται για ένα ελεύθερο λογισμικό, που διατίθεται από την ιστοσελίδα της εταιρείας και λειτουργεί τόσο σε περιβάλλον GUI, όσο και ως CLI.

Η επικοινωνία με τους δέκτες γίνεται είτε μέσω μηνυμάτων NMEA, είτε μέσω του πρωτοκόλλου UBX που έχει αναπτύξει η εταιρεία. Το λογισμικό παρουσιάζει σε πραγματικό χρόνο, αλλά και για μετέπειτα θέαση, το σύνολο της πληροφορίας που συλλέγεται κατά τη διάρκεια λειτουργίας της συνδεδεμένης συσκευής GNSS. Υπάρχει δυνατότητα παρακολούθησης και αποθήκευσης όλων των παραμέτρων των δεδομένων GNSS (θέση, ταχύτητα, χρόνος, παρακολούθηση δορυφόρων κλπ). Προσφέρει επίσης εργαλεία ανάλυσης των δεδομένων και εξαγωγής σε περιβάλλον υπολογιστικών φύλλων.

Μπορεί να λειτουργήσει ως πλατφόρμα, είτε καταγραφής δεδομένων, είτε αποστολής δεδομένων δικτύου μέσω σύνδεσης ως NTRIP Client σε NTRIP Caster σε πραγματικό χρόνο, στη περίπτωση δικτυακής λύσης μέσω σύνδεσης σε κάποιο CORS.

Κατά τη διάρκεια της εργασίας, χρησιμοποιήθηκαν οι εκδόσεις λογισμικού 18.08 και 19.01.

### 2.5.3 Ρυθμίσεις για λειτουργία Base

Για λειτουργία base, απαιτούνται 3 βασικά στάδια ρύθμισης:

#### Ο καθορισμός της θέσης αναφοράς.

Ρυθμίζεται η θέση του δέκτη (είτε μέσω survey-in, είτε με γνωστές συντεταγμένες). Η διαδικασία αυτή, είναι η μοναδική που πρέπει να επαναλαμβάνεται σε κάθε χρήση του base. Όπου *survey-in*, είναι ο προσδιορισμός 3D συντεταγμένων μέσω αυτόνομου εντοπισμού. Ο δέκτης αρχίζει να προσδιορίζει τη θέση του και συνεχίζει την ίδια διαδικασία έως ότου ικανοποιηθούν δύο συνθήκες που έχει ορίσει ο χρήστης:

- α) Όταν συμπληρωθεί ένας ελάχιστος χρόνος παρατηρήσεων (επιλογή πλήθους εποχών).
- β) Όταν επιτευχθεί η απαιτούμενη ακρίβεια θέσης.

Στην εικόνα που ακολουθεί, παρουσιάζεται απόσπασμα από το περιβάλλον του u-center.

UBX - NAV (Navigation) - STATUS (Navigation Status)		UBX - NAV (Navigation) - STATUS (Navigation Status)	
Param	Value	Param	Value
Position Fix Type	3D Fix	Position Fix Type	TIME
Position within Limits	Yes	Position within Limits	Yes
DGNSS Fix	No	DGNSS Fix	No
Weeknumber Valid	Yes	Weeknumber Valid	Yes
Time of Week Valid	Yes	Time of Week Valid	Yes
Diff Corrections Available	No	Diff Corrections Available	No
Map Matching	None	Map Matching	None
TTF	0.869 s	TTF	0.869 s
Time since Powerup	1152.870 s	Time since Powerup	1325.870 s
PSM state	ACQUISITION	PSM state	ACQUISITION
Spoofing detection state	OK	Spoofing detection state	OK

Εικόνα 21 - Η διαδικασία *survey-in* στο περιβάλλον του u-center. Αριστερά: Εν αναμονή της δέσμευσης ελάχιστου χρόνου (flag: 3D Fix). Δεξιά: Ο δέκτης έχει σταθεροποιήσει τη θέση που δίνει και είναι δυνατόν να την εκπέμψει. (flag: TIME)

Το πακέτο εντολών που απαιτείται για ενεργοποίηση της διαδικασίας όπου ο δέκτης θα σταθεροποιήσει τη λύση που δίνει, είναι το UBX-CFG-TMODE3. Στην περίπτωση του ISO test της παρούσας εργασίας, χρησιμοποιήθηκαν οι συντεταγμένες που προέκυψαν από τον προσδιορισμό του σημείου αναφοράς μέσω στατικών μετρήσεων, όπως περιγράφεται στην παράγραφο 4.4.

#### Καθορισμός της θύρας επικοινωνίας radio link που θα εκπέμψει τις διορθώσεις.

Επιλογή του πακέτου εντολών UBX-CFG-PRT ώστε να επιλεγεί η εξαγωγή RTCM3 δεδομένων μέσω της UART1 (επιλογή protocol in:none και protocol out: RTCM3).

### Επιλογή των μηνυμάτων RTCM που θα εκπέμψει.

Σύμφωνα με το εγχειρίδιο περιγραφής του δέκτη [23], η παραμετροποίηση γίνεται μέσω επιλογής μηνυμάτων RTCM 3.3 [16].

Message Type	Description
1001	L1-only GPS RTK observations
1002	Extended L1-only GPS RTK observations
1003	L1/L2 GPS RTK observations
1004	Extended L1/L2 GPS RTK observations
1005	Stationary RTK reference station ARP
1006	Stationary RTK reference station ARP with antenna height
1007	Antenna descriptor
1009	L1-only GLONASS RTK observations
1010	Extended L1-only GLONASS RTK observations
1011	L1/L2 GLONASS RTK observations
1012	Extended L1/L2 GLONASS RTK observations
1074	GPS MSM4
1075	GPS MSM5
1077	GPS MSM7
1084	GLONASS MSM4
1085	GLONASS MSM5
1087	GLONASS MSM7
1124	BeiDou MSM4
1125	BeiDou MSM5
1127	BeiDou MSM7
1230	GLONASS code-phase biases
4072, sub-type 0	Reference station PVT (u-blox proprietary RTCM Message)

Message Type	Cs/ID	Description
1005	0xF5 0x05	Stationary RTK reference station ARP
1074	0xF5 0x4A	GPS MSM4
1077	0xF5 0x4D	GPS MSM7
1084	0xF5 0x54	GLONASS MSM4
1087	0xF5 0x57	GLONASS MSM7
1124	0xF5 0x7C	BeiDou MSM4
1127	0xF5 0x7F	BeiDou MSM7
1230	0xF5 0xE6	GLONASS code-phase biases
4072, sub-type 0	0xF5 0xFE	Reference station PVT (u-blox proprietary RTCM Message)

Εικόνα 22 - Υποστηριζόμενα εισαγόμενα (άνω μέρος εικόνας) και εξαγόμενα μηνύματα (κάτω μέρος εικόνας) του base ενός u-blox MP8 δέκτη. Πηγή: [23]σελ. 377

Για ταυτόχρονη λειτουργία GPS-Glonass ενός base δέκτη, επιλέγονται τα ακόλουθα μηνύματα:

- 1005 – οι συντεταγμένες θέσης που αναφέρονται στο ARP (antenna reference point) χωρίς περαιτέρω πληροφορία για το ύψος κεραίας ή τις μεταβολές του κέντρου φάσης.
- 1077 – το μακροσκελές μήνυμα MSM GPS.
- 1087 – το μακροσκελές μήνυμα MSM Glonass.
- 1230 – είναι η εκπομπή του σφάλματος που προκαλείται από το γεγονός ότι οι Glonass χρησιμοποιούν την τεχνική FDMA που περιγράφεται αναλυτικά στη παράγραφο 1.4.4. Αν δεν ληφθεί υπ' όψιν δε θα μπορέσει να γίνει επίλυση των ασαφειών φάσης για τα σήματα των δορυφόρων Glonass που δέχεται ο δέκτης [8].

Η ρύθμιση του δέκτη να αποστέλλει τα παραπάνω μηνύματα, γίνεται μέσω του πακέτου εντολών UBX-CFG-MSG.

#### **2.5.4 Ρυθμίσεις για λειτουργία Rover**

Για τη λειτουργία rover, απαιτείται μόνο η ρύθμιση του radio link ώστε να λαμβάνει τα μηνύματα του base, καθώς ένας δέκτης MP8 που λαμβάνει μηνύματα RTCM, μπαίνει αυτομάτως σε λειτουργία DGNSΣ χωρίς περαιτέρω ρυθμίσεις.

#### **Καθορισμός της θύρας επικοινωνίας radio link που θα λαμβάνει τις διορθώσεις.**

Επιλέγεται το πακέτο εντολών UBX-CFG-PRT ώστε να επιλεγθεί η είσοδος RTCM3 δεδομένων μέσω της UART1. (επιλογή protocol in: RTCM3 και protocol out: none).

#### **2.5.5 Ρυθμίσεις κοινές για λειτουργίες base και rover**

Οι δέκτες έχουν τη δυνατότητα, εκτός από την εκπομπή μηνυμάτων πληροφορίας σε πραγματικό χρόνο, να καταγράφουν σε αρχείο πληροφορίες σχετικά με τη θέση τους, την ταχύτητα τους και τον χρόνο. Άλλες καταγραφές, αφορούν το health status των δορυφόρων, τα στατιστικά στοιχεία των μετρήσεων, δείκτες ακρίβειας, συνοχής και εν γένει ένα μεγάλο εύρος πρωτογενούς ανάλυσης των παρατηρήσεων. Αυτά τα αρχεία μπορούν να χρησιμοποιηθούν αργότερα για επεξεργασία και περαιτέρω ανάλυση. Προκειμένου οι δέκτες να καταγράφουν τα επιθυμητά log αρχεία, επιλέχθηκαν μια σειρά από ρυθμίσεις. Σημειώνεται ότι η παραμετροποίηση αποθηκεύεται στην flash μνήμη που διαθέτουν τα modules, οπότε και δεν απαιτείται η αναρρύθμιση σε κάθε χρήση, εφόσον δεν αλλάζουν από τον χρήστη. Ουσιαστικά, κάθε φορά που οι δέκτες συνδέονται σε πηγή ρεύματος, εκκινούν σύμφωνα με τις τελευταίες τους ρυθμίσεις. Οι ρυθμίσεις που επιλέχθηκαν για να μπορούν οι δέκτες να καταγράφουν τα επιθυμητά δεδομένα είναι οι εξής:

- Για ρύθμιση της γωνίας αποκοπής, επιλέγεται το Elevation cut-off config του πακέτου εντολών CFG-NAV5.
- Αν είναι επιθυμητή η εξαγωγή των raw μηνυμάτων για την μετατροπή τους σε RINEX, επιλέγονται τα ακόλουθα πακέτα εντολών:

*UBX-RXM-RAWX* (μήνυμα παρατηρήσεων)

*UBX-RXM-SFRBX* (μήνυμα πλοήγησης)

- Τα μηνύματα για την επισκόπηση των μετρήσεων και των ιδιοτήτων τους, επιλέγονται από το πακέτο εντολών *UBX-NAV*.

*UBX-NAV-CLOCK*: Για την καταγραφή του iTOW σε κάθε εποχή μετρήσεων.

*UBX-NAV-DOP*: Για καταγραφή των δεικτών DOP.

*UBX-NAV-POSECEF*: Για καταγραφή των γεωκεντρικών συντεταγμένων X, Y, Z.

*UBX-NAV-POSLLH*: Για καταγραφή των μετρήσεων γεωδαιτικής θέσης στο WGS84, ( $\varphi$ ,  $\lambda$ , h, H, N) καθώς και της εσωτερικής οριζοντιογραφικής και κατακόρυφης ακρίβειας.

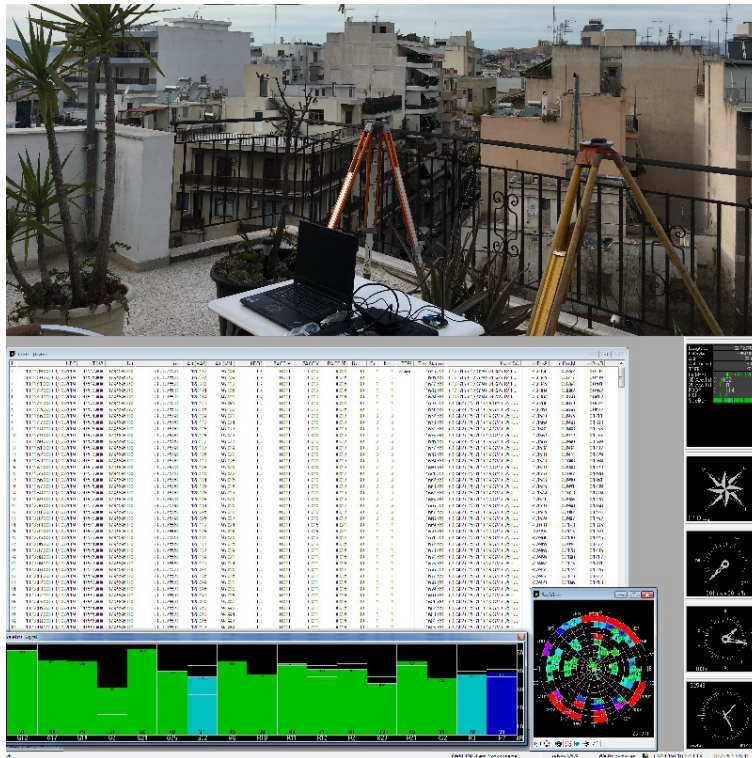
*UBX-NAV-RELPOSNED*: Το πλαίσιο Northing, Easting, Down ορίζεται ως το τοποκεντρικό σύστημα στον σταθμό αναφοράς (base ή CORS). Σε αυτό το μήνυμα δίνονται οι παράμετροι του διανύσματος σχετικής θέσης στο τοπικό σύστημα.

*UBX-NAV-SAT*: Καταγραφή των στοιχείων των δορυφόρων και των σημάτων τους σε κάθε εποχή.

*UBX-NAV-STATUS*: Καταγραφή στοιχείων σχετικά με την κατάσταση της θέσης του συστήματος (κατάσταση fix, ttff κλπ).

Κατόπιν αυτών των ρυθμίσεων, οι δέκτες τοποθετήθηκαν σε σημείο με ανοιχτό ορίζοντα και δοκιμάστηκε η διαδικασία.

Μετρολογικός έλεγχος δεκτών GNSS χαμηλού κόστους για εφαρμογές RTK  
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2



Εικόνα 23 - Ο rover σε λειτουργία RTK.

Πίνακας 11 - Η καταγραφή σε πραγματικό χρόνο των μηνυμάτων του πρωτοκόλλου UBX. Το carrier range status, εναλλάσσεται μεταξύ float και fix (τιμές 1 και 2).

Index	UTC	ITOW	Lat	Lon	Alt (HAE)	Alt (MSL)	GDOP	PACC H	PACC V	PACC 3D	Fix type ((Carrier Ra Reference TTF	TimeStart: Used Sv's	relPosE	relPosN	relPosD					
0	13.11.39.000	03/10/2019	47517	37.9569828	23.7327552	128.197	95.109	1.9	0.014	0.012	0.018	3D	1	1	27.666	1645.666	G6 G12 G15 G17 G19 G24 G25 R2 R10 R11 R12 R20 R21	-1.0351	0.3762	0.0534
1	13.11.40.000	03/10/2019	47518	37.9569828	23.7327552	128.197	95.109	1.9	0.014	0.012	0.018	3D	1	1		1646.666	G6 G12 G15 G17 G19 G24 G25 R2 R10 R11 R12 R20 R21	-1.0346	0.3777	0.0539
2	13.11.41.000	03/10/2019	47519	37.9569828	23.7327552	128.2	95.112	1.9	0.014	0.012	0.018	3D	1	1		1647.666	G6 G12 G15 G17 G19 G24 G25 R2 R10 R11 R12 R20 R21	-1.0346	0.3764	0.0501
3	13.11.42.000	03/10/2019	47520	37.9569828	23.7327553	128.194	95.106	1.9	0.014	0.012	0.018	3D	1	1		1648.666	G6 G12 G15 G17 G19 G24 G25 R2 R10 R11 R12 R20 R21	-1.0309	0.3802	0.0562
4	13.11.43.000	03/10/2019	47521	37.9569829	23.7327553	128.189	95.101	1.9	0.014	0.012	0.018	3D	1	1		1649.666	G6 G12 G15 G17 G19 G24 G25 R2 R10 R11 R12 R20 R21	-1.0307	0.385	0.0612
5	13.11.44.000	03/10/2019	47522	37.9569829	23.7327553	128.183	95.095	1.7	0.014	0.012	0.018	3D	1	1		1650.666	G6 G12 G15 G17 G19 G24 G25 R2 R10 R11 R12 R20 R21	-1.0281	0.3853	0.0674
6	13.11.45.000	03/10/2019	47523	37.9569829	23.7327553	128.188	95.1	1.7	0.014	0.012	0.018	3D	1	1		1651.666	G6 G12 G15 G17 G19 G24 G25 R2 R10 R11 R12 R20 R21	-1.026	0.3858	0.0622
7	13.11.46.000	03/10/2019	47524	37.956983	23.7327539	128.109	95.021	1.7	0.014	0.01	0.017	3D	2	2		1652.666	G6 G12 G15 G17 G19 G24 G25 R2 R10 R11 R12 R20 R21	-1.154	0.3955	0.1411
8	13.11.47.000	03/10/2019	47525	37.956983	23.7327538	128.112	95.024	1.7	0.014	0.01	0.017	3D	2	2		1653.666	G6 G12 G15 G17 G19 G24 G25 R2 R10 R11 R12 R20 R21	-1.1569	0.3958	0.1383
9	13.11.48.000	03/10/2019	47526	37.956983	23.7327538	128.115	95.027	1.7	0.014	0.01	0.017	3D	2	2		1654.666	G6 G12 G15 G17 G19 G24 G25 R2 R10 R11 R12 R20 R21	-1.1584	0.3988	0.1355
10	13.11.49.000	03/10/2019	47527	37.956983	23.7327538	128.115	95.027	1.7	0.014	0.01	0.017	3D	2	2		1655.666	G6 G12 G15 G17 G19 G24 G25 R2 R10 R11 R12 R20 R21	-1.1562	0.3972	0.1355
11	13.11.50.000	03/10/2019	47528	37.956983	23.7327538	128.112	95.023	1.7	0.014	0.01	0.017	3D	2	2		1656.666	G6 G12 G15 G17 G19 G24 G25 R2 R10 R11 R12 R20 R21	-1.1583	0.398	0.1389
12	13.11.51.000	03/10/2019	47529	37.956983	23.7327539	128.107	95.019	1.7	0.014	0.01	0.017	3D	2	2		1657.666	G6 G12 G15 G17 G19 G24 G25 R2 R10 R11 R12 R20 R21	-1.1537	0.3934	0.1437
13	13.11.52.000	03/10/2019	47530	37.956983	23.7327539	128.108	95.02	1.7	0.014	0.01	0.017	3D	2	2		1658.666	G6 G12 G15 G17 G19 G24 G25 R2 R10 R11 R12 R20 R21	-1.153	0.3974	0.1429
14	13.11.53.000	03/10/2019	47531	37.956983	23.7327538	128.113	95.025	1.7	0.014	0.01	0.017	3D	2	2		1659.666	G6 G12 G15 G17 G19 G24 G25 R2 R10 R11 R12 R20 R21	-1.1548	0.4008	0.1369
15	13.11.54.000	03/10/2019	47532	37.956983	23.7327539	128.108	95.02	1.7	0.014	0.01	0.017	3D	2	2		1660.666	G6 G12 G15 G17 G19 G24 G25 R2 R10 R11 R12 R20 R21	-1.1533	0.3988	0.1423
16	13.11.55.000	03/10/2019	47533	37.956983	23.7327538	128.11	95.022	1.7	0.014	0.01	0.017	3D	2	2		1661.666	G6 G12 G15 G17 G19 G24 G25 R2 R10 R11 R12 R20 R21	-1.155	0.4007	0.1408
17	13.11.56.000	03/10/2019	47534	37.956983	23.7327538	128.104	95.016	1.7	0.014	0.01	0.017	3D	2	2		1662.666	G6 G12 G15 G17 G19 G24 G25 R2 R10 R11 R12 R20 R21	-1.1548	0.399	0.1461
18	13.11.57.000	03/10/2019	47535	37.956983	23.7327538	128.106	95.018	1.7	0.014	0.01	0.017	3D	2	2		1663.666	G6 G12 G15 G17 G19 G24 G25 R2 R10 R11 R12 R20 R21	-1.1546	0.3991	0.1439
19	13.11.58.000	03/10/2019	47536	37.956983	23.7327538	128.106	95.017	1.7	0.014	0.01	0.017	3D	2	2		1664.666	G6 G12 G15 G17 G19 G24 G25 R2 R10 R11 R12 R20 R21	-1.1549	0.4013	0.1449
20	13.11.59.000	03/10/2019	47537	37.956983	23.7327539	128.108	95.02	1.7	0.014	0.01	0.017	3D	2	2		1665.666	G6 G12 G15 G17 G19 G24 G25 R2 R10 R11 R12 R20 R21	-1.1541	0.3986	0.1428
21	13.12.00.000	03/10/2019	47538	37.956983	23.7327539	128.104	95.016	1.7	0.014	0.01	0.017	3D	2	2		1666.666	G6 G12 G15 G17 G19 G24 G25 R2 R10 R11 R12 R20 R21	-1.153	0.3968	0.1468
22	13.12.01.000	03/10/2019	47539	37.956983	23.7327538	128.098	95.01	1.7	0.014	0.01	0.017	3D	2	2		1667.666	G6 G12 G15 G17 G19 G24 G25 R2 R10 R11 R12 R20 R21	-1.1546	0.4002	0.1524
23	13.12.02.000	03/10/2019	47540	37.956983	23.7327539	128.095	95.007	1.7	0.014	0.01	0.017	3D	2	2		1668.666	G6 G12 G15 G17 G19 G24 G25 R2 R10 R11 R12 R20 R21	-1.1529	0.3987	0.1552
24	13.12.03.000	03/10/2019	47541	37.9569831	23.7327556	128.112	95.024	1.7	0.014	0.015	0.021	3D	1	1		1669.666	G6 G12 G15 G17 G19 G24 G25 R2 R10 R11 R12 R20 R21	-1.0033	0.4143	0.1385
25	13.12.04.000	03/10/2019	47542	37.9569831	23.7327556	128.105	95.016	1.7	0.014	0.015	0.021	3D	1	1		1670.666	G6 G12 G15 G17 G19 G24 G25 R2 R10 R11 R12 R20 R21	-0.9995	0.4115	0.1459
26	13.12.05.000	03/10/2019	47543	37.9569831	23.7327556	128.108	95.02	1.7	0.014	0.012	0.018	3D	1	1		1671.666	G6 G12 G15 G17 G19 G24 G25 R2 R10 R11 R12 R20 R21	-0.9981	0.413	0.1425
27	13.12.06.000	03/10/2019	47544	37.9569831	23.7327556	128.103	95.015	1.7	0.014	0.012	0.018	3D	1	1		1672.666	G6 G12 G15 G17 G19 G24 G25 R2 R10 R11 R12 R20 R21	-0.9965	0.4094	0.1472
28	13.12.07.000	03/10/2019	47545	37.9569831	23.7327556	128.107	95.019	1.7	0.014	0.011	0.018	3D	1	1		1673.666	G6 G12 G15 G17 G19 G24 G25 R2 R10 R11 R12 R20 R21	-0.9966	0.4128	0.1435
29	13.12.08.000	03/10/2019	47546	37.9569832	23.7327556	128.109	95.021	1.7	0.014	0.011	0.018	3D	1	1		1674.666	G6 G12 G15 G17 G19 G24 G25 R2 R10 R11 R12 R20 R21	-0.9996	0.418	0.1417
30	13.12.09.000	03/10/2019	47547	37.9569832	23.7327556	128.102	95.014	1.7	0.014	0.011	0.018	3D	1	1		1675.666	G6 G12 G15 G17 G19 G24 G25 R2 R10 R11 R12 R20 R21	-0.9967	0.4175	0.1481
31	13.12.10.000	03/10/2019	47548	37.9569832	23.7327557	128.098	95.014	1.7	0.014	0.011	0.018	3D	1	1		1676.666	G6 G12 G15 G17 G19 G24 G25 R2 R10 R11 R12 R20 R21	-0.9954	0.4174	0.1526
32	13.12.11.000	03/10/2019	47549	37.9569832	23.7327557	128.106	95.018	1.7	0.014	0.011	0.018	3D	1	1		1677.666	G6 G12 G15 G17 G19 G24 G25 R2 R10 R11 R12 R20 R21	-0.9947	0.4173	0.1442
33	13.12.12.000	03/10/2019	47550	37.9569832	23.7327557	128.099	95.011	1.7	0.014	0.011	0.018	3D	1	1		1678.666	G6 G12 G15 G17 G19 G24 G25 R2 R10 R11 R12 R20 R21	-0.992	0.4166	0.1513
34	13.12.13.000	03/10/2019	47551	37.9569832	23.7327557	128.098	95.01	1.7	0.014	0.011	0.018	3D	1	1		1679.666	G6 G12 G15 G17 G19 G24 G25 R2 R10 R11 R12 R20 R21	-0.994	0.4212	0.1525
35	13.12.14.000	03/10/2019	47552	37.9569832	23.7327557	128.093	95.005	1.7	0.014	0.011	0.018	3D	1	1		1680.666	G6 G12 G15 G17 G19 G24 G25 R2 R10 R11 R12 R20 R21	-0.9956	0.4252	0.1578
36	13.12.15.000	03/10/2019	47553	37.9569832	23.7327557	128.09	95.002	1.7	0.014	0.011	0.018	3D	1	1		1681.666	G6 G12 G15 G17 G19 G24 G25 R2 R10 R11 R12 R20 R21	-0.992	0.424	0.16
37	13.12.16.000	03/10/2019	47554	37.9569832	23.7327557	128.08	94.992	1.7	0.014	0.011	0.018	3D	1	1		1682.666	G6 G12 G15 G17 G19 G24 G25 R2 R10 R11 R12 R20 R21	-0.9984	0.4219	0.1704
38	13.12.17.000	03/10/2019	47555	37.9569833	23.7327557	128.082	94.994	1.7	0.014	0.011	0.018	3D	1	1		1683.666	G6 G12 G15 G17 G19 G24 G25 R2 R10 R11 R12 R20 R21	-0.9987	0.4275	0.1683
39	13.12.18.000	03/10/2019	47556	37.9569833	23.7327557	128.085	94.997	1.7	0.014	0.011	0.018	3D	1	1		1684.666	G6 G12 G15 G17 G19 G24 G25 R2 R10 R11 R12 R20 R21	-0.9906	0.4329	0.1652
40	13.12.19.000	03/10/2019	47557	37.9569833	23.7327557	128.077	94.989	1.7	0.014	0.011	0.018	3D	1	1		1685.666	G6 G12 G15 G17 G19 G24 G25 R2 R10 R11 R12 R20 R21	-0.989	0.4293	0.1735
41	13.12.20.000	03/10/2019	47558	37.9569833	23.7327539	128.114	95.026	1.7	0.014	0.01	0.017	3D	2	2		1686.666	G6 G12 G15 G17 G19 G24 G25 R2 R10 R11 R12 R20 R21	-1.1527	0.3987	0.1363
42	13.12.21.000	03/10/2019	47559	37.9569833	23.7327539	128.12	95.022	1.7	0.014	0.01	0.017	3D	2	2		1687.666	G6 G12 G15 G17 G19 G24 G25 R2 R10 R11 R12 R20 R21	-1.153	0.3996	0.1301
43	13.12.22.000	03/10/2019	47560	37.9569833	23.7327538	128.116	95.028	1.7	0.014	0.01	0.017	3D	2	2		1688.666	G6 G12 G15 G17 G19 G24 G25 R2 R10 R11 R12 R20 R21	-1.155	0.4009	0.1346
44	13.12.23.000	03/10/2019	47561	37.9569833	23.7327539	128.113	95.025	1.7	0.014	0.01	0.017	3D	2	2		1689.666	G6 G12 G15 G17 G19 G24 G25 R2 R10 R11 R12 R20 R21	-1.1535	0.4023	0.137
45	13.12.24.000	03/10/2019	47562	37.9569833	23.7327539	128.111	95.023	1.7	0.014	0.01	0.017	3D	2	2		1690.666	G6 G12 G15 G17 G19 G24 G25 R2 R10 R11 R12 R20 R21	-1.1538	0.4021	0.1393
46	13.12.25.000	03/10/2019	47563	37.9569833	23.7327539	128.106	95.018	1.7	0.014	0.01	0.01									

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 Έλεγχος διατάξεων κατά ISO 17123 part 8

Το πρότυπο του Διεθνούς Οργανισμού Πιστοποίησης (ISO) 17123, με το γενικό όνομα *Optics and optical instruments. Field testing methods for geodetic and topographic instruments*, καθορίζει μεθόδους πεδίου για εξακρίβωση της ακρίβειας γεωδαιτικών οργάνων και του βοηθητικού τους εξοπλισμού. Το σύνολο του προτύπου μπορεί να θεωρηθεί ως ένα αρχικό στάδιο στη διαδικασία ελέγχου του βαθμού αβεβαιότητας των μετρήσεων, κατάλληλα σχεδιασμένο για χρήση στο πεδίο, χωρίς αναγκαιότητα κατοχής ειδικού εξοπλισμού. Αποτελείται από τα παρακάτω κεφάλαια:

- Μέρος 1: Θεωρία
- Μέρος 2: Χωροβάτες
- Μέρος 3: Θεοδόλιχα
- Μέρος 4: Ηλεκτρονικές συσκευές μέτρησης αποστάσεων EDM
- Μέρος 5: Ηλεκτρονικοί γεωδαιτικοί σταθμοί
- Μέρος 6: Περιστρεφόμενα Lasers
- Μέρος 7: Οπτικά όργανα κέντρωσης
- Μέρος 8: Έλεγχος πεδίου οργάνων GNSS σε κινηματικό προσδιορισμό σε πραγματικό χρόνο (RTK)

Το 8<sup>ο</sup> και τελευταίο, μέχρι στιγμής, κεφάλαιο του προτύπου [24], καθορίζει ένα σύνολο από απλές διαδικασίες αξιολόγησης της ακρίβειας εξοπλισμού δεκτών GNSS με τη μέθοδο RTK, σε συνήθεις χρήσεις τοπογραφίας, κατασκευών και βιομηχανίας. Μέσω των διαδικασιών αυτών, ελέγχεται η καταλληλότητα του εξοπλισμού για την εκτέλεση τέτοιων εργασιών.

### 3.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ ΤΟΥ ISO 17123-8

Το πρότυπο καθορίζει δύο κατηγορίες ελέγχων, το Απλοποιημένο Τεστ (Simplified Test) και το Πλήρες Τεστ (Full Test). Η βασική ιδέα της προτεινόμενης τεχνικής, περιλαμβάνει ένα σταθερό σημείο, που λειτουργεί ως αναφορά (base) και 2 σημείων που εναλλάσσονται στις μετρήσεις του κινούμενου δέκτη (tower). Η απόσταση μεταξύ των 2 σημείων του κινούμενου δέκτη, οφείλει να είναι μεγαλύτερη από 2m και να μη ξεπερνά τα 20m. Η θέση του σταθερού σημείου αναφοράς (base) πρέπει να είναι σε απόσταση τέτοια, που να εξυπηρετεί το είδος της εργασίας. Πριν την

έναρξη της διαδικασίας, ο χρήστης πρέπει να διασφαλίσει ότι το σύνολο του εξοπλισμού (δέκτης GNSS, κεραία, παρελκόμενα) είναι κατάλληλο για μετρήσεις.

Η οριζόντια απόσταση και η υψομετρική διαφορά μεταξύ των δύο σημείων του κινούμενου δέκτη πρέπει να έχουν καθοριστεί με μεθόδους που να εξασφαλίζουν ακρίβεια προσδιορισμού καλύτερη από 3mm. Οι τιμές που προκύπτουν από αυτές τις μεθόδους, θεωρούνται ως τιμές αναφοράς (groundtruth) και συγκρινόμενες με τις τιμές που υπολογίζονται από τις συντεταγμένες του κάθε σετ μετρήσεων, εξασφαλίζεται ότι οι παρατηρήσεις δεν δίνουν τιμές εκτός των επιθυμητών ορίων (outliers).

Πραγματοποιούνται 3 **σειρές** μετρήσεων. Κάθε σειρά μετρήσεων αποτελείται από 5 **σετ** μετρήσεων και το κάθε σετ μετρήσεων περιλαμβάνει διαδοχικές μετρήσεις στα 2 σημεία του κινούμενου δέκτη. Το διάστημα μεταξύ των σετ πρέπει να είναι περίπου 5 λεπτά. Αυτή η προϋπόθεση, ορίζει και το ελάχιστο διάστημα μεταξύ των σειρών στα 25 λεπτά περίπου, καλύπτοντας τον κύκλο μεταβολής του τυπικού σφάλματος πολυανάκλασης που είναι περίπου στα 20 λεπτά. Οι μετρήσεις εκφράζονται στο τοπικό σύστημα συντεταγμένων σε μορφή Easting, Northing, height.

Η έναρξη μιας νέας σειράς μετρήσεων πρέπει να απέχει περίπου 90 λεπτά από την έναρξη της προηγούμενης, ώστε τα σετ διαδοχικών σειρών να επηρεάζονται από αλλαγές στη θέση των δορυφορικών σχηματισμών και αλλαγές στην κατάσταση της ιονόσφαιρας και τροπόσφαιρας. Ως εκ τούτου, οι υπολογιζόμενες τυπικές αποκλίσεις για όλες τις μετρήσεις θα αποτελούν μια ποσοτική τάξη μεγέθους της ακρίβειας, που θα λαμβάνουν υπ' όψιν την επίδραση των τυπικών παραγόντων που επηρεάζουν τις δορυφορικές παρατηρήσεις.

Το Απλοποιημένο Τεστ περιλαμβάνει μία μοναδική σειρά μετρήσεων και προσδιορίζει αν η μετρητική διάταξη βρίσκεται, από άποψη εσωτερικής ακρίβειας, εντός των επιθυμητών ορίων του κατασκευαστή. Το Πλήρες Τεστ περιλαμβάνει τρεις σειρές μετρήσεων και επιπρόσθετα των ελέγχων του Απλοποιημένου Τεστ, δίνει την δυνατότητα υπολογισμού τυπικών αποκλίσεων και διενέργειας στατιστικών ελέγχων.

## 3.2 ΑΠΛΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΤΕΣΤ

### 3.2.1 Μετρήσεις Απλοποιημένου τεστ

Το απλοποιημένο τεστ περιλαμβάνει μία σειρά μετρήσεων και ελέγχει εάν η εσωτερική ακρίβεια του συστήματος που χρησιμοποιείται βρίσκεται μέσα στα επιθυμητά όρια του κατασκευαστή. Σύμφωνα με το Πρότυπο, παρατηρήσεις της διαδικασίας θεωρούνται:



- Οι συντεταγμένες (x, y) που είναι εκφρασμένες στο προβολικό σύστημα αναφοράς που χρησιμοποιείται στη περιοχή των μετρήσεων.
- Τα υψόμετρα (h).

Καθώς η διαδικασία γίνεται για προσδιορισμό υψομετρικών διαφορών σε πολύ μικρές αποστάσεις, είναι αδιάφορο για τις ανάγκες του ελέγχου εάν θα χρησιμοποιηθούν ελλειψοειδή ή ορθομετρικά υψόμετρα. Στον παρακάτω Πίνακα, συνοψίζονται οι παρατηρήσεις για το Απλοποιημένο Τεστ.

Πίνακας 12 - Οι παρατηρήσεις του Απλοποιημένου Τεστ

σειρά.σετ	Παρατηρήσεις						
	T1			T2			
	x	y	h	x	y	h	
1 <sup>η</sup> σειρά μετρήσεων	1.1	x11	y11	h11	x11	y11	h11
	1.2	x12	y12	h12	x12	y12	h12
	1.3	x13	y13	h13	x13	y13	h13
	1.4	x14	y14	h14	x14	y14	h14
	1.5	x15	y15	h15	x15	y15	h15

### 3.2.2 Υπολογισμοί απλοποιημένου τεστ

Μετά την επιτυχή διενέργεια μίας σειράς μετρήσεων, οι μετρήσεις συγκρίνονται με τις συντεταγμένες αναφοράς για την απαλοιφή χονδροειδών σφαλμάτων. Η διαδικασία έχει ως εξής:

- Πραγματοποιείται υπολογισμός της οριζόντιας απόστασης και της υψομετρικής διαφοράς μεταξύ των σημείων του κινητού δέκτη (rover) για κάθε σετ μετρήσεων.

$$D_{i,j} = \sqrt{(x_{i,j,2} - x_{i,j,1})^2 + (y_{i,j,2} - y_{i,j,1})^2} \quad (33)$$

$$\Delta h_{i,j} = h_{i,j,2} - h_{i,j,1} \quad (34)$$

όπου:

- $i$  η σειρά μετρήσεων
- $j$  το σετ μετρήσεων

- Πραγματοποιείται υπολογισμός των αποκλίσεων από τις τιμές αναφοράς, δηλαδή των τιμών που προέκυψαν με μέθοδο εκτός RTK ακρίβειας καλύτερης των 3mm.

$$e_{Di,j} = D_{i,j} - D^* \quad (35)$$

$$e_{hi,j} = h_{i,j} - h^* \quad (36)$$

όπου με \* οι τιμές αναφοράς.

- Γίνεται ανίχνευση χονδροειδών σφάλματων, εφαρμόζοντας τον κανόνα ότι οι υπολογισμένες αποκλίσεις πρέπει να ικανοποιούν τις σχέσεις:

$$|e_{Di,j}| \leq 2.5\sqrt{2s_{xy}} \quad (37)$$

$$|e_{hi,j}| \leq 2.5\sqrt{2s_h} \quad (38)$$

όπου οι τιμές  $s_{xy}$  και  $s_h$ , οι τιμές οριζοντιογραφικής και κατακόρυφης τυπικής απόκλισης του κατασκευαστή (a-priori) ή μετά από διαδικασία Πλήρους τεστ (a-posteriori). Εάν διαπιστωθεί σεν που δεν ικανοποιεί την παραπάνω σχέση, επαναλαμβάνεται όλη η σειρά μετρήσεων.

### 3.3 ΠΛΗΡΕΣ ΤΕΣΤ

Το Πλήρες τεστ απαιτεί την χρήση 3 σειρών μετρήσεων, όπου η κάθε σειρά αποτελείται από 5 σετ μετρήσεων. Η διαδικασία του Πλήρους τεστ υλοποιείται σε 3 βασικά στάδια.

- 1) Έλεγχος χονδροειδών σφαλμάτων σύμφωνα με τη μέθοδο του Απλοποιημένου τεστ.  
Επανάληψη παρατηρήσεων μέχρι να έχουμε 3 σειρές μετρήσεων απαλλαγμένες από τυχόν τέτοια σφάλματα.
- 2) Υπολογισμός πειραματικών τυπικών αποκλίσεων του εξοπλισμού.
- 3) Στατιστικοί έλεγχοι.

Πρόκειται για έναν προτεινόμενο τρόπο αξιολόγησης του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται. Εξαγόμενο του είναι οι πειραματικές τυπικές αποκλίσεις για τον προσδιορισμό θέσης, τόσο οριζοντιογραφικά, όσο και κατακόρυφα. Αναλυτικά, το Πλήρες τεστ χρησιμοποιείται για να καθορίσει:

- Το κριτήριο της ακρίβειας του εξοπλισμού.
- Το κριτήριο της ακρίβειας του εξοπλισμού, όταν χρησιμοποιείται σε διαφορετικό χρόνο και συνθήκες (πολλαπλά δείγματα).
- Μέτρο ακρίβειας για την ακρίβεια διαφορετικού εξοπλισμού.

#### 3.3.1 Μετρήσεις Πλήρους Τεστ

Σε συνέχεια του απλοποιημένου τεστ, επαναλαμβάνοντας την ίδια διαδικασία για άλλες 2 σειρές μετρήσεων, δηλαδή για συνολικά 3 σειρές μετρήσεων, προκύπτει το Πλήρες τεστ.

Πίνακας 13 - Οι παρατηρήσεις του Πλήρους τεστ

	σειρά.σετ	Παρατηρήσεις					
		T1			T2		
		x	y	h	x	y	h
1 <sup>η</sup> σειρά μετρήσεων	1.1	x11	y11	h11	x11	y11	h11
	1.2	x12	y12	h12	x12	y12	h12
	1.3	x13	y13	h13	x13	y13	h13
	1.4	x14	y14	h14	x14	y14	h14
	1.5	x15	y15	h15	x15	y15	h15
2 <sup>η</sup> σειρά μετρήσεων	2.1	x21	y21	h21	x21	y21	h21
	2.2	x22	y22	h22	x22	y22	h22
	2.3	x23	y23	h23	x23	y23	h23
	2.4	x24	y24	h24	x24	y24	h24
	2.5	x25	y25	h25	x25	y25	h25
3 <sup>η</sup> σειρά μετρήσεων	3.1	x31	y31	h31	x31	y31	h31
	3.2	x32	y32	h32	x32	y32	h32
	3.3	x33	y33	h33	x33	y33	h33
	3.4	x34	y34	h34	x34	y34	h34
	3.5	x35	y35	h35	x35	y35	h35

### 3.3.2 Υπολογισμοί Πλήρους Τεστ

Μετά τη συλλογή των δεδομένων, οι υπολογισμοί υπόκεινται αρχικά σε έλεγχο χονδροειδών σφαλμάτων με τη διαδικασία του απλοποιημένου τεστ. Υπολογίζονται οι μέσες τιμές των προβολικών συντεταγμένων και του ελλειψοειδούς υψομέτρου σε κάθε ένα από τα 2 σημεία που έγιναν οι παρατηρήσεις.

$$\overline{x_{T_k}} = \frac{1}{15} \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^5 x_{i,j,Tk} \quad (39)$$

$$\overline{y_{T_k}} = \frac{1}{15} \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^5 y_{i,j,Tk} \quad (40)$$

$$\overline{h_{T_k}} = \frac{1}{15} \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^5 h_{i,j,Tk} \quad (41)$$

όπου:

- $i$  η σειρά μετρήσεων
- $j$  το σετ
- $k$  ο αύξων αριθμός του σημείου του δικτύου (T1, T2)

Υπολογίζονται τα υπόλοιπα (residuals)

$$r_{x_{i,j,k}} = \overline{x_{T_k}} - x_{i,j,k} \quad (42)$$

$$r_{y_{i,j,k}} = \overline{y_{T_k}} - y_{i,j,k} \quad (43)$$

$$r_{h_{i,j,k}} = \overline{h_{T_k}} - h_{i,j,k} \quad (44)$$

Τα υπόλοιπα υψώνονται στο τετράγωνο και αθροίζονται, κατά x,y,h, ανεξαρτήτως σε ποιο σημείο αναφέρονται.

$$\sum r_x^2 = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^5 \sum_{T_k=1}^2 r_{x_{i,j,k}}^2 \quad (45)$$

$$\sum r_y^2 = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^5 \sum_{T_k=1}^2 r_{y_{i,j,k}}^2 \quad (46)$$

$$\sum r_h^2 = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^5 \sum_{T_k=1}^2 r_{h_{i,j,k}}^2 \quad (47)$$

Εφαρμόζεται συνόρθωση με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων (Μ.Ε.Τ.), για τον υπολογισμό της πειραματικής τυπικής αποκλίσης. Οι βαθμοί ελευθερίας  $\nu$  είναι ίδιοι και για τα τρία μεγέθη, καθώς συμμετέχουν οι ίδιες ακριβώς παρατηρήσεις σε κάθε σύστημα. Δηλαδή:

$$\nu = (\text{πλήθος σειρών} \times \text{πλήθος σετ} - 1) \times \text{πλήθος σημείων} = 28$$

και οι εξισώσεις των πειραματικών τυπικών αποκλίσεων για κάθε συνιστώσα του προβολικού συστήματος:

$$s_x = \sqrt{\frac{\sum r_x^2}{\nu}} \quad (48)$$

$$s_y = \sqrt{\frac{\sum r_y^2}{\nu}} \quad (49)$$

$$s_h = \sqrt{\frac{\sum r_h^2}{\nu}} \quad (50)$$

Αντιστοίχως, προκύπτουν οι πειραματικές τυπικές αποκλίσεις τόσο οριζοντιογραφικά, όσο και κατακόρυφα.

$$S_{ISORTK_{xy}} = \sqrt{s_x^2 + s_y^2} \quad (51)$$

$$S_{ISORTK_h} = s_h \quad (52)$$

### 3.3.3 Στατιστικοί έλεγχοι Πλήρους Τεστ

Οι στατιστικοί έλεγχοι κατά ISO υλοποιούνται για να την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, μέσω των πειραματικών τυπικών αποκλίσεων που προκύπτουν από τους υπολογισμούς του Πλήρους Τεστ και των βαθμών ελευθερίας των συστημάτων. Οι έλεγχοι πραγματοποιούνται επιδιώκοντας απάντηση σε 4 ερωτήματα,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ , όπως θα παρουσιαστεί παρακάτω. Για όλα τα ερωτήματα

οι βαθμοί ελευθερίας είναι  $\nu_x = \nu_y = \nu_h = 28$ . Για τα ερωτήματα α) και β) , το επίπεδο εμπιστοσύνης είναι  $1-\alpha = 0.95$ , ενώ για ερωτήματα γ) και δ) το επίπεδο εμπιστοσύνης καθορίζεται ως  $1-\alpha = 0.975$ .

Για τα ερωτήματα γ και δ, θα πρέπει τα δύο δείγματα να έχουν τον ίδιο βαθμό ελευθερίας, π.χ. να αναφέρονται σε μια σειρά μετρήσεων το καθένα.

Οι έλεγχοι επιδιώκουν απαντήσεις στα 4 ακόλουθα ερωτήματα:

**Ερώτημα α)** Η υπολογισμένη πειραματική τυπική απόκλιση  $S_{ISORTK_{xy}}$  είναι ίση ή μικρότερη της τυπικής απόκλισης  $S_{xy}$ ; Η τιμή  $S_{xy}$  μπορεί να αφορά είτε αυτή που δίνει ο κατασκευαστής των δεκτών (a-priori), είτε τιμή που προέκυψε από άλλη πειραματική διαδικασία (a-posteriori).

Η μηδενική υπόθεση γίνεται αποδεκτή αν πληρείται η παρακάτω συνθήκη από τις ανισότητες που διέπουν τα στατιστικά τεστ για την κατανομή  $\chi^2$ .

$$S_{ISORTK_{xy}} \leq \sigma_{xy} \sqrt{\frac{\chi_{0.95}^2(\nu_x + \nu_y)}{\nu_x + \nu_y}} \quad (53)$$

Καθώς  $\chi_{0.95}^2(56) = 74,47$  [25], η ανισότητα για την αποδοχή της μηδενικής υπόθεσης γίνεται

$$S_{ISORTK_{xy}} \leq \sigma_{xy} * 1.15 \quad (54)$$

**Ερώτημα β)** Η υπολογισμένη πειραματική τυπική απόκλιση  $S_{ISORTK_h}$  είναι ίση ή μικρότερη της τυπικής απόκλισης  $S_h$ ; Η τιμή  $S_h$  μπορεί να αφορά είτε αυτή που δίνει ο κατασκευαστής των δεκτών (a-priori), είτε τιμή που προέκυψε από άλλη πειραματική διαδικασία (a-posteriori).

Η μηδενική υπόθεση γίνεται αποδεκτή αν πληρείται η παρακάτω συνθήκη από τις ανισότητες που διέπουν τα στατιστικά τεστ για την κατανομή  $\chi^2$ .

$$S_{ISORTK_h} \leq \sigma_{xy} \sqrt{\frac{\chi_{0.95}^2(\nu_h)}{\nu_h}} \quad (55)$$

Καθώς  $\chi_{0.95}^2(28) = 41.34$  [25] , η ανισότητα για την αποδοχή της μηδενικής υπόθεσης γίνεται

$$S_{ISORTK_{xy}} \leq \sigma_{xy} * 1.22 \quad (56)$$

**Ερώτημα γ)** Δύο διαφορετικές υπολογισμένες πειραματικές τυπικές αποκλίσεις μιας οριζοντιογραφικής θέσης, που προκύπτουν από διαφορετικά δείγματα μετρήσεων, ανήκουν στον ίδιο πληθυσμό;

Προκειμένου να γίνει σύγκριση 2 διαφορετικών δειγμάτων, θα πρέπει να ικανοποιείται η μηδενική υπόθεση ότι οι τυπικές αποκλίσεις ικανοποιούν την παρακάτω σχέση:

$$\frac{1}{F_1 - \frac{a}{2}(\widetilde{v}_x + \widetilde{v}_y, v_x + v_y)} \leq \frac{S_{ISORTK_{xy}}^2}{S_{ISORTK_{xy}}^2} \leq F_1 - \frac{a}{2}(v_x + v_y, \widetilde{v}_x + \widetilde{v}_y)$$

Καθώς  $F_{0,975}(56,56) = 1.70$  [25] , η ανισότητα για την αποδοχή της μηδενικής υπόθεσης γίνεται:

$$0.59 \leq \frac{S_{ISORTK_{xy}}^2}{S_{ISORTK_{xy}}^2} \leq 1.70$$

Στην περίπτωση που δεν ικανοποιείται η μηδενική υπόθεση, γίνεται δεκτή η εναλλακτική υπόθεση.

**Ερώτημα δ)** Δύο διαφορετικές υπολογισμένες πειραματικές τυπικές αποκλίσεις μιας κατακόρυφης θέσης, που προκύπτουν από διαφορετικά δείγματα μετρήσεων, ανήκουν στον ίδιο πληθυσμό;

Όπως και στο ερώτημα γ, εξετάζονται τα 2 δείγματα ως προς τις τυπικές τους αποκλίσεις που αφορούν αυτή τη φορά τις κατακόρυφες θέσεις. Η μηδενική υπόθεση ικανοποιείται όταν:

$$\frac{1}{F_1 - \frac{a}{2}(\widetilde{v}_h + v_h)} \leq \frac{S_{ISORTK_h}^2}{S_{ISORTK_h}^2} \leq F_1 - \frac{a}{2}(v_h, \widetilde{v}_h)$$

Καθώς  $F_{0,975}(28,28) = 2.13$  [25] , η ανισότητα για την αποδοχή της μηδενικής υπόθεσης γίνεται

$$0.47 \leq \frac{S_{ISORTK_h}^2}{S_{ISORTK_h}^2} \leq 2.13$$

Στην περίπτωση που δεν ικανοποιείται η μηδενική υπόθεση, γίνεται δεκτή η εναλλακτική υπόθεση.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 Αξιολόγηση u-blox C94-M8p-3 kit με πειραματική διεξαγωγή ελέγχου ISO 17123-8

Όπως αναφέρθηκε στη παράγραφο 2.4, τα τελευταία χρόνια γίνεται μια προσπάθεια αξιοποίησης οικονομικών δεκτών με δυνατότητα μέτρησης φάσεων σε καθημερινές εφαρμογές ακριβείας. Από την πλευρά της επιστήμης της Γεωματικής, είναι κρίσιμο να δοκιμαστούν αυτού του είδους οι μετρητικές διατάξεις σε συνθήκες που επιτρέπουν την σύγκριση με αντίστοιχους γεωδαιτικούς δέκτες. Το σύστημα ζεύγους δεκτών χαμηλού κόστους που διαθέτει το τμήμα Μηχανικών Τοπογραφίας & Γεωπληροφορικής του Π.Α.Δ.Α, είναι ένα σύστημα που έχει αναπτυχθεί με γνώμονα να πραγματοποιεί μετρήσεις με τη μέθοδο κινηματικής λειτουργίας πραγματικού χρόνου (RTK). Αποφασίστηκε ότι ο καλύτερος τρόπος αξιολόγησης του συστήματος, θα ήταν η διεξαγωγή ελέγχου κατά ISO 17123-8. Αυτό το τεστ, αξιολογεί την δυνατότητα ενός δέκτη να πραγματοποιεί μετρήσεις σε εφαρμογές πραγματικού χρόνου, αλλά και την εσωτερική ακριβειά του, σε ένα οριζόντιο και κατακόρυφο δίκτυο ελέγχου ορισμένο στον χώρο με ακρίβεια καλύτερη των 3mm. Για την αξιολόγηση της εξωτερικής ακριβείας, πραγματοποιήθηκε παράλληλα σύγκριση με τις απόλυτες θέσεις που προέκυψαν από στατικό εντοπισμό με γεωδαιτικούς δέκτες. Ζητούμενο είναι η αξιολόγηση του u-blox C94-M8P-3, ως προς την καταλληλότητα του για τοπογραφικές εργασίες με RTK.

Σε αυτό το κεφάλαιο περιγράφεται η προσέγγιση της έρευνας, ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε, η προετοιμασία των εργασιών πεδίου, η ίδρυση του δικτύου ελέγχου, η διαδικασία της πειραματικής διεξαγωγής ελέγχου κατά ISO 17123-8 και η επεξεργασία των παρατηρήσεων.

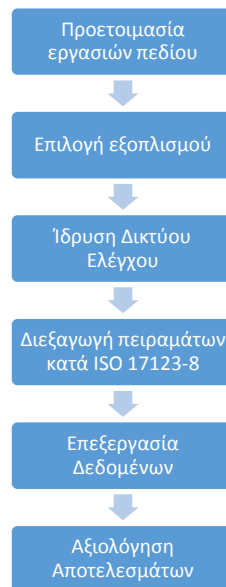
### 4.1 ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

Προκειμένου να αξιολογηθεί ένα σύστημα GNSS πλοήγησης χαμηλού κόστους για χρήση σε συνηθισμένες μετρητικές τοπογραφικές εργασίες, πρέπει να διερευνηθούν η ακρίβεια και η αξιοπιστία που προσφέρει ένα τέτοιο σύστημα. Αυτή η εργασία διερευνά την επίδοση ενός τέτοιου συστήματος σε μετρήσεις πραγματικού χρόνου (RTK), σύμφωνα με το πρότυπο ISO 17123-8.

Οι δοκιμές για την απόδοση ενός συστήματος RTK, συνήθως εστιάζουν στα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Ακρίβεια στον προσδιορισμό της θέσης σε σχέση με την πραγματική θέση.

- Αξιοπιστία στην συνεχή λήψη διορθώσεων.
- Time to first fix.



Πίνακας 14 - Διάγραμμα ροής Εργασιών ελέγχου ISO 17123-8

Οι εργασίες πεδίου πραγματοποιήθηκαν σε δύο στάδια. Το πρώτο στάδιο αφορούσε στην επιλογή του χώρου που θα γινόταν η εγκατάσταση του δικτύου ελέγχου και οι εργασίες ίδρυσης του δικτύου. Το δεύτερο στάδιο, αφορούσε τον έλεγχο, σύμφωνα με το πρότυπο ISO 17123-8, του συστήματος GNSS χαμηλού κόστους.

Σύμφωνα με όσα περιγράφονται στο προηγούμενο κεφάλαιο, το προς εφαρμογή πρότυπο, προτείνει ως πεδίο ελέγχου τρία σημεία στο χώρο. Το ένα σημείο λειτουργεί ως το σημείο που τοποθετείται ο base δέκτης ενός ζεύγους που πραγματοποιεί μετρήσεις RTK και τα άλλα δύο ως σημεία που θα λάβει εναλλάξ παρατηρήσεις ο rover δέκτης.

Το πρώτο σημείο (σημείο base) πρέπει να βρίσκεται από τα άλλα δύο σε απόσταση που θα επιλεγεί ελεύθερα, αρκεί να μην εισάγονται τα σφάλματα που είναι ευθέως ανάλογα της απόστασης, όπως τα σφάλματα σχετιζόμενα με τον χρόνο, τις τροχιές και τις επιδράσεις της ατμόσφαιρας. Τα δύο σημεία του rover πρέπει να απέχουν μεταξύ τους απόσταση μεταξύ 2 και 20 μέτρων.

Καθώς οι σχετικές θέσεις των σημείων του rover έπρεπε να έχουν ιδρυθεί με ακρίβεια καλύτερη από 3mm, η ίδρυση του δικτύου πραγματοποιήθηκε ως εξής:

- Με επίλυση στατικού εντοπισμού με γεωδαιτικούς δέκτες GNSS, για τον προσδιορισμό της απόλυτης θέσης του σημείου του base και ονομαστικών αρχικών τιμών για τις



συντεταγμένες των δύο σημείων του rover. Αυτή η επίλυση θα εξασφάλιζε και την αξιολόγηση των δεκτών στον απόλυτο προσδιορισμό θέσης.

- Με χρήση βιομηχανικού γεωδαιτικού σταθμού για τον ακριβή προσδιορισμό του διανύσματος μεταξύ των δύο σημείων rover και υλοποίηση του δικτύου ελέγχου σύμφωνα με τις προδιαγραφές του Προτύπου ISO .

Στη συνέχεια, οι προς εξέταση δέκτες GNSS, προκειμένου να πραγματοποιηθούν ορθά οι έλεγχοι, τοποθετήθηκαν σε κατάλληλες διατάξεις για τοπογραφικές μετρήσεις (τρικόχλια εφαρμοσμένα πάνω σε τρίποδες για κατακορύφωση και κέντρωση) και πραγματοποίησαν παρατηρήσεις με τη μέθοδο RTK, ακολουθώντας τις οδηγίες του προτύπου ISO 17123-8.

Ένα πρόβλημα που έπρεπε να αντιμετωπιστεί, ήταν η κέντρωση των κεραιών με ακρίβεια πάνω σε καθορισμένα σημεία στο έδαφος, καθώς οι κεραιές που συνοδεύουν τους δέκτες δεν διαθέτουν σπείρωμα για τοποθέτηση σε τρίποδες ή τρικόχλιο. Γι αυτόν το σκοπό, σχεδιάστηκαν και κατασκευαστήκαν παρελκόμενες διατάξεις, που περιγράφονται λεπτομερώς στη παράγραφο 4.3.3 παρακάτω.

## 4.2 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΠΕΔΙΟΥ

Ως πεδίο ίδρυσης του δικτύου, επιλέχθηκε ο χώρος στάθμευσης στο νότιο τμήμα της Πανεπιστημιούπολης I, του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής.

Το δίκτυο ιδρύθηκε με γνώμονα την ορθή πρακτική που ακολουθείται συνήθως σε πεδία ελέγχου GNSS. Αυτό σημαίνει ότι οι δέκτες θα μπορούσαν να λειτουργήσουν με ανοιχτό ορίζοντα, έχοντας όσο το δυνατόν απρόσκοπτη θέαση από τους δορυφόρους, χωρίς παρεμβολές και μακριά από πηγές πολυανάκλασης σήματος. Επιπροσθέτως, το δίκτυο ακολούθησε και τις προδιαγραφές του ISO, σχετικά με τις αποστάσεις μεταξύ των σημείων.



Εικόνα 24 - Ο χώρος στάθμευσης στο νότιο τμήμα της Πανεπιστημιούπολης I του Π.Α.Δ.Α (πηγή υποβάθρου: Google Maps)

Τα σημεία T1 και T2 ιδρύθηκαν ώστε να είναι τα σημεία ελέγχου του ISO, δηλαδή αυτά που θα συνέθεταν το διάνυσμα αναφοράς και θα παρατηρούσε τον δέκτη ρομπερ σε 3 σειρές μετρήσεων των 5 σετ. Απέχουν μεταξύ τους περίπου 18μ. Το σημείο T3, επιλέχθηκε ώστε να είναι εύκολη η εποπτεία μεταξύ base και ρομπερ, σε απόσταση περίπου 60 μέτρα από τα σημεία ελέγχου T1 και T2.

### 4.3 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε για τα πειράματα, περιλαμβάνει τον εξοπλισμό ίδρυσης του δικτύου ελέγχου και τον εξοπλισμό συλλογής δεδομένων για τον έλεγχο κατά ISO του συστήματος GNSS.

#### 4.3.1 Γεωδαιτικός δέκτης GPS Topcon HiPer PRO



Εικόνα 25 - Ο γεωδαιτικός δέκτης GPS Topcon HiPer PRO (πηγή: <http://surveyingstation.com>)

Για την ίδρυση του δικτύου, αρχικά εφαρμόστηκε η μέθοδος του στατικού εντοπισμού με 3 γεωδαιτικούς δέκτες GPS της ιαπωνικής εταιρείας Topcon, της σειράς HiPer Pro, που διαθέτει το τμήμα Μηχανικών Τοπογραφίας & Γεωπληροφορικής. Επιλέχθηκε για τον απόλυτο προσδιορισμό θέσης του δικτύου ελέγχου, δηλαδή για την γεωαναφορά των 3 σημείων στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (ΕΓΣΑ '87). Στον πίνακα που ακολουθεί, δίνονται κάποια βασικά χαρακτηριστικά από τον κατασκευαστή [26].

Πίνακας 15 - Βασικά χαρακτηριστικά δέκτη GPS Topcon HiPer PRO

Διάστημα καταγραφής	1 Hz, 5,10,20Hz προαιρετικά
Ακρίβεια (Static)	Για L1+L2 H:3mm+0.5ppm (× μήκος βάσης) V: 5mm+0.5ppm (× μήκος βάσης)
Ακρίβεια (RTK)	Για L1+L2 H:10mm+1ppm (× μήκος βάσης) V: 15mm+1ppm (× μήκος βάσης)

Μαζί με τους γεωδαιτικούς δέκτες GNSS, χρησιμοποιήθηκαν, ως παρελκόμενα, 3 ξύλινοι τοπογραφικοί τρίποδες βαρέως τύπου και τρία βαθμονομημένα τρικόχλια υψηλής ακρίβειας με προσαρμογέα με σωληνωτή αεροστάθμη.

#### 4.3.2 Ρομποτικός Γεωδαιτικός Σταθμός Leica TS30



Εικόνα 26 - Ο ρομποτικός γεωδαιτικός σταθμός Leica TS30 (πηγή: <https://www.precision-geosystems.com>)

Στη συνέχεια, για τον προσδιορισμό της αληθούς τιμής του διανύσματος μεταξύ των δύο σημείων που θα μετρούσε ο δέκτης rover στο τεστ, χρησιμοποιήθηκε ο Ρομποτικός Γεωδαιτικός σταθμός TS30 της ελβετικής εταιρείας Leica Geosystems. Πρόκειται για όργανο που χρησιμοποιείται σε εφαρμογές βιομηχανικής Γεωδαισίας και μικρομετακινήσεων, όχι μόνο γιατί φέρει EDM και γωνιομετρικό σύστημα πολύ υψηλής ακριβείας αλλά και γιατί διαθέτει συστήματα αυτοματοποιημένων μετρήσεων, όπως ATR (Αυτόματη Αναγνώριση Στόχου) και PS (Δυναμική Αναζήτηση Στόχου). Στον πίνακα που ακολουθεί, δίνονται τα βασικά χαρακτηριστικά, σύμφωνα με τον κατασκευαστή [27].

Πίνακας 16 - Βασικά χαρακτηριστικά γεωδαιτικού σταθμού Leica TS30

<u>Γωνιακές μετρήσεις</u>	
Ακρίβειες (std. dev ISO17123-3) Hz, V	0,5'' (0,15mgon)
ATR γωνιακή ακρίβεια	1'' (0.3 mgon)
<u>Μετρήσεις αποστάσεων (με πρίσμα)</u>	
Ακρίβειες (std. dev ISO17123-4) / χρόνος μέτρησης	
Precise mode	0.6mm+1ppm/ 7 sec.
Standard mode	1mm+1ppm / 2.4 sec.

Μαζί με τον γεωδαιτικό σταθμό TS30, χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω παρελκόμενα:

- 2 ξύλινοι τοπογραφικοί τρίποδες βαρέως τύπου.
- 2 βαθμονομημένα τριχόχλια υψηλής ακριβείας χωρίς οπτική κέντρωση.<sup>4</sup>
- 1 carrier πρίσματος τύπου Leica with stub.
- 1 κυκλικό πρίσμα τύπου Leica GPR με σταθερά πρίσματος -34.4mm (σταθερά Leica 0.0mm) .

#### **4.3.3 Σύστημα δεκτών GNSS υψηλής ευαισθησίας u-blox C94-M8P**

Για τις ανάγκες της εργασίας, χρησιμοποιήθηκε το σύστημα δεκτών GNSS C94-M8P-3 της ελβετικής εταιρίας u-blox. Τα χαρακτηριστικά των δεκτών, περιγράφονται αναλυτικά στη παράγραφο 2.5 παραπάνω.

Για την ορθή χρήση των δεκτών για τοπογραφικές μετρήσεις, χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω παρελκόμενα:

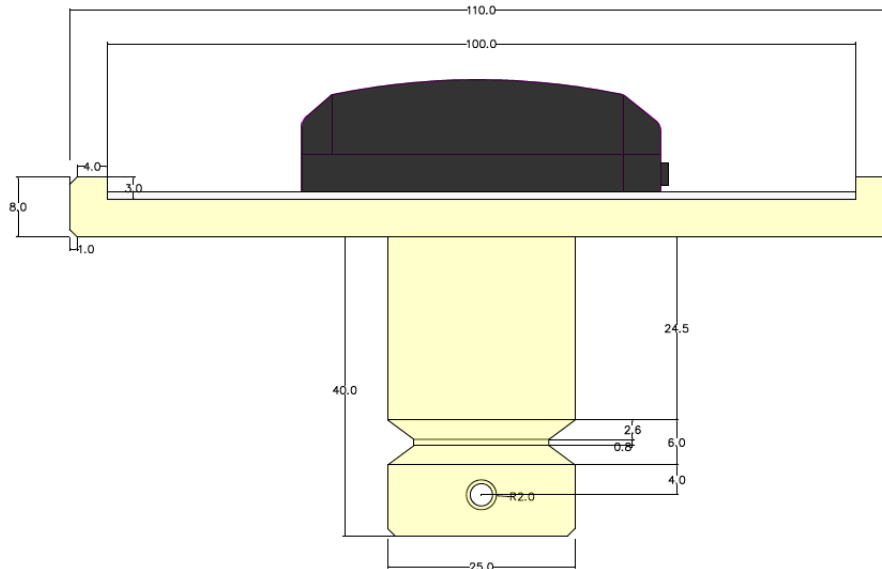
- 1) 3 ξύλινοι τρίποδες βαρέως τύπου.
- 2) 2 τριχόχλια υψηλής ακριβείας χωρίς οπτική κέντρωση. Η κέντρωση των τριχοχλίων πραγματοποιήθηκε με τη διαδικασία της κέντρωσης με laser του γεωδαιτικού σταθμού.
- 3) 1 τριχόχλιο υψηλής ακριβείας με οπτική κέντρωση.
- 4) 2 carrier τριχοχλίου.
- 5) 2 ειδικά κατασκευασμένες βάσεις αλουμινίου, για τις ανάγκες της εργασίας, ώστε να εφαρμόζουν στα carrier και να υλοποιείται κέντρωση και οριζοντίωση ακριβείας.

Τα παρελκόμενα υπ' αριθ. 5 της παραπάνω λίστας, ήταν κρίσιμο να κατασκευαστούν, καθώς οι χρησιμοποιούμενοι δέκτες της u-blox, αναπτύχθηκαν για να χρησιμοποιηθούν, ως είναι, κυρίως για εφαρμογές πλοήγησης υψηλής ακριβείας. Θεωρήθηκε ότι, εάν κάποιος χρήστης επιθυμεί να υλοποιήσει εφαρμογές τοπογραφικού δικτύου με τις αντίστοιχες ακριβείες, οφείλει πρώτα να λύσει το ζήτημα της αξιόπιστης κέντρωσης – οριζοντίωσης του εξοπλισμού.

Η σχεδίαση των βάσεων υλοποιήθηκε σε περιβάλλον CAD, λαμβάνοντας ως δεδομένο ότι οι βάσεις θα έπρεπε να είναι απόλυτα συμβατές με σπείρωμα τριχοχλίου τύπου 5/8".

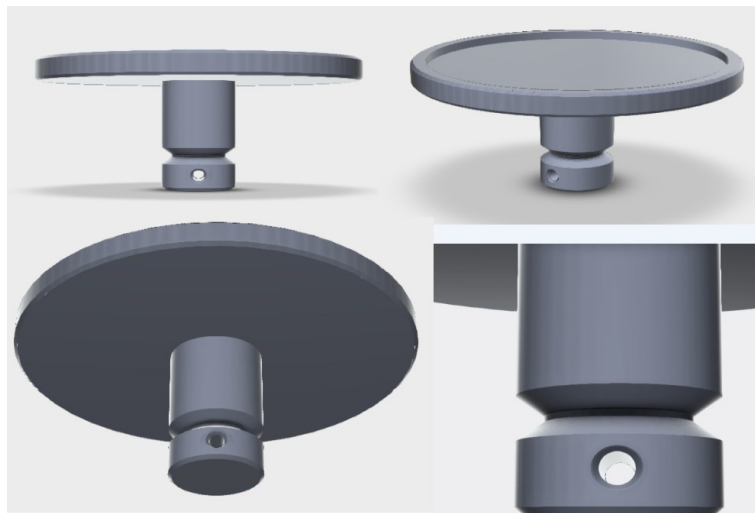
---

<sup>4</sup> Η κέντρωση πραγματοποιήθηκε με το ενσωματωμένο σύστημα laser κέντρωσης που διαθέτει ο Leica TS30.



Εικόνα 27 - Σχεδιαστική τομή των βάσεων u-blox.

Για την κατασκευή τους, επιλέχθηκε υλικό αλουμινίου, λόγω της ανθεκτικότητας που προσφέρει και τις υψηλές αντοχές του υλικού στις ατμοσφαιρικές μεταβολές. Λήφθηκε επίσης υπ' όψιν η κατασκευή να είναι τέτοια, ώστε να μην επηρεάζει το σήμα που λαμβάνει η κεραία GNSS, ως πηγή του φαινομένου πολυανάκλασης. Το πρωτότυπο αναπτύχθηκε σχεδιαστικά σε περιβάλλον λογισμικού 3D CAD. Η κατασκευή πραγματοποιήθηκε σε μηχανουργείο με χρήση τόρνου ελαφρού τύπου.



Εικόνα 28 - 3D σχεδίαση του πρωτότυπου της βάσης σε περιβάλλον SOLIDWORKS.



Εικόνα 29 - Οι κατασκευασμένες βάσεις αλουμινίου.

Η κέντρωση της κεραίας εξασφαλίστηκε πάνω στη βάση, καθώς ο δίσκος - groundplane που συνοδεύει το kit εφαρμόζει μαγνητικά με τέτοιο τρόπο με την κεραία, που η κεραία τοποθετείται με ευκολία στο κέντρο του δίσκου.

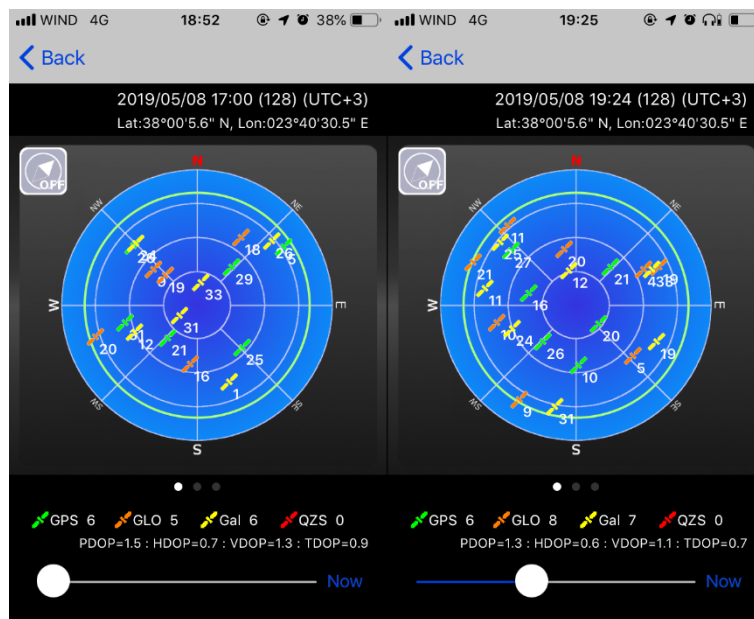
#### 4.4 Η ΙΔΡΥΣΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

Η ίδρυση του δικτύου ελέγχου πραγματοποιήθηκε σε 2 στάδια.

Στο πρώτο στάδιο ίδρυσης του δικτύου ελέγχου, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις GPS με τη μέθοδο του στατικού εντοπισμού, όπου με μετεπεξεργασία, προσδιορίστηκαν οι συντεταγμένες των 3 σημείων T1, T2 και T3, στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (ΕΓΣΑ '87). Τοποθετήθηκαν ταυτόχρονα 3 γεωδαιτικοί δέκτες Topcon Hiper PRO στα σημεία του δικτύου και πραγματοποιήθηκαν παρατηρήσεις από το σύστημα GPS, για χρονικό διάστημα 90 λεπτών. Καθώς οι δέκτες χρησιμοποιήθηκαν χωρίς χειριστήριο, για την λήψη πληροφοριών σχετικά με την δορυφορική διάταξη κατά τη διάρκεια των παρατηρήσεων χρησιμοποιήθηκε επικουρικά η εφαρμογή GPS Plan του Hiroaki Yamada για iOS<sup>5</sup>. Η εφαρμογή παρέχει τη δυνατότητα φόρτωσης του τρέχοντος almanac, ούτως ώστε να γίνει μία εκτίμηση της τρέχουσας γεωμετρίας των δορυφορικών διατάξεων και των δεικτών ακρίβειας που σχετίζονται με αυτή. Καθ' όλη τη

<sup>5</sup> Ιστοσελίδα εφαρμογής (08/2019): <https://apps.apple.com/us/app/gps-plan/id623849032>

διάρκεια των παρατηρήσεων, οι δέκτες κατέγραψαν με γωνία αποκοπής  $15^\circ$ , τουλάχιστον 6 δορυφόρους GPS. Η εφαρμογή GPS Plan έδωσε επίσης πληροφορία και για τους δείκτες DOP, όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 30. Πρέπει να σημειωθεί όμως, ότι καθώς οι δείκτες που υπολογίζει η εφαρμογή χρησιμοποιούν ως δεδομένα τη γεωμετρία των δορυφορικών σχηματισμών επιπλέον συστημάτων GNSS (GPS+Glonass+Galileo για την Αθήνα), αυτοί οι δείκτες δεν λήφθηκαν υπ' όψιν, αφού το σύστημα Topcon Hyper PRO παρατηρούσε δορυφόρους μόνο του συστήματος GPS. Επίσης η εφαρμογή υπολογίζει το πλήθος των δορυφόρων που βρίσκονται στον ορίζοντα μέσω του almanac, χωρίς να γνωρίζει τις πραγματικές συνθήκες στην ακριβή θέση των δεκτών, όπως πιθανές αποκρύψεις δορυφόρων λόγω εμποδίων (NLOS).



Εικόνα 30 - Η γεωμετρία των δορυφορικών σχηματισμών GNSS κατά τη διάρκεια των στατικών μετρήσεων και οι ενδεικτικοί δείκτες DOP, στο περιβάλλον της εφαρμογής GPS Plan.





Εικόνα 31 - Στατικές παρατηρήσεις με τους γεωδαιτικούς δέκτες.

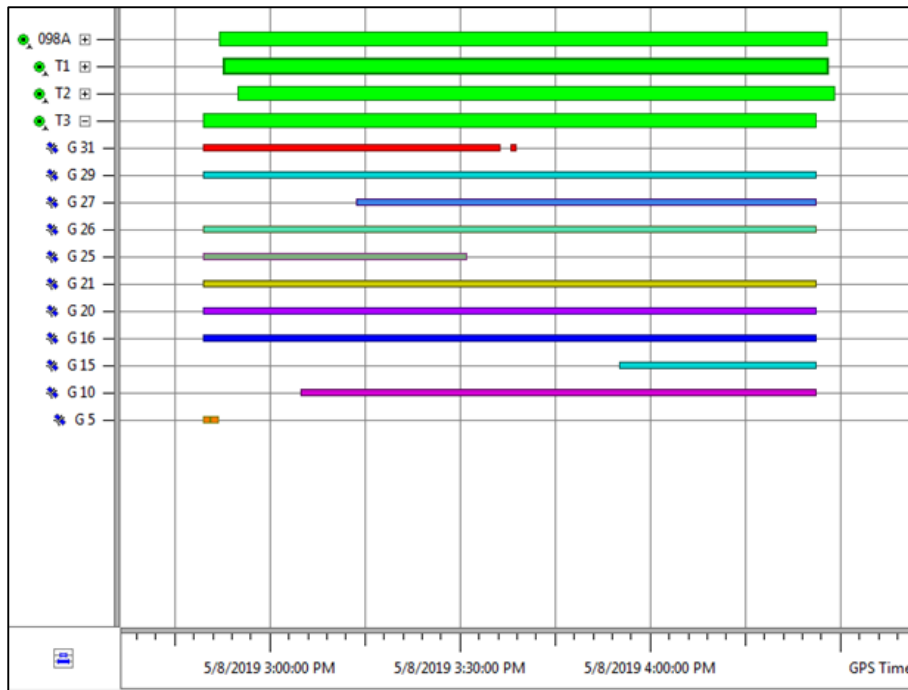
Η επίλυση των βάσεων πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του λογισμικού Topcon Tools, με στοιχεία από τον σταθμό 098A του HEPOS. Επιλύθηκαν συνολικά 6 βάσεις:

Πίνακας 17 - Οι βάσεις που συμμετείχαν στην επίλυση του δικτύου ελέγχου.

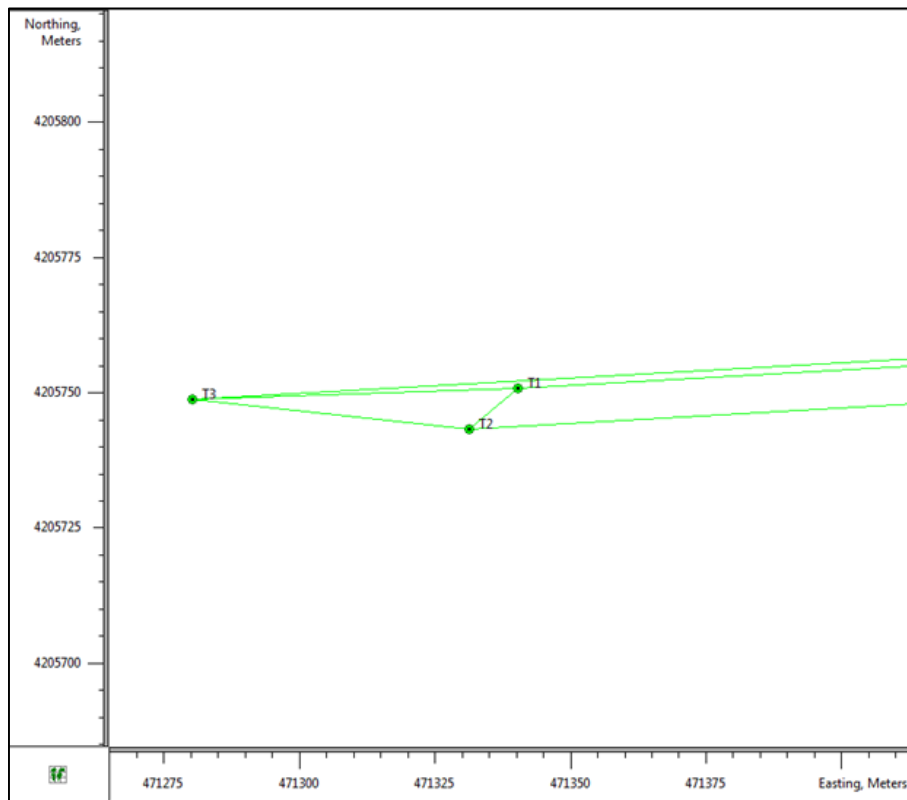
Όνομα βάσης	Οριζοντιογραφικό RMS (m)	Κατακόρυφο RMS (m)
098A-T1	0.004	0.0069
098A-T2	0.004	0.0070
098A-T3	0.005	0.0073
T1-T2	0.001	0.0010
T1-T3	0.001	0.0016
T2-T3	0.001	0.0015

Παρακάτω παρουσιάζεται η απεικόνιση των παρατηρούμενων δορυφόρων τις εποχές των παρατηρήσεων και το διάγραμμα επίλυσης των βάσεων.

Μετρωλογικός έλεγχος δεκτών GNSS χαμηλού κόστους για εφαρμογές RTK  
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4



Εικόνα 32 - Οι παρατηρούμενοι δορυφόροι τις εποχές των στατικών μετρήσεων στο περιβάλλον του Torcon Tools.



Εικόνα 33 - Το διάγραμμα των βάσεων που συμμετείχαν στη λύση, σε περιβάλλον Torcon Tools.. Εκτός οθόνης ο 098Α.

Μετά την επίλυση των στατικών μετρήσεων στο γραφείο, προέκυψαν οι παρακάτω συντεταγμένες στο WGS84.

Πίνακας 18 - Η επίλυση του στατικού εντοπισμού στο WGS' 84

Όνομα Σημείου δικτύου	Γεωγραφικό πλάτος (φ)	Γεωγραφικό Μήκος (λ)	h (ellipsoid)
T1	38°00'05.61280"N	23°40'30.94910"E	97.574
T2	38°00'05.36465"N	23°40'30.58058"E	97.605
T3	38°00'05.53910"N	23°40'28.48648"E	97.394

Θεωρήθηκε ότι το WGS 84 και το HTRS07 ταυτίζονται σε ικανοποιητικό επίπεδο για τις ανάγκες της εργασίας, οπότε εφαρμόστηκε το επίσημο μοντέλο μετασχηματισμού HTRS07 – ΕΓΣΑ87, δηλαδή η συνδυασμένη χρήση ενός μετασχηματισμού 7 παραμέτρων και κατόπιν ενός καννάβου διορθώσεων των προβολικών συντεταγμένων [17], όπως υλοποιούνται από το λογισμικό Heros TT [18].

Τα αποτελέσματα της επίλυσης του στατικού εντοπισμού, σχετικά με την απόλυτη θέση των σημείων στο σύστημα ΕΓΣΑ '87 όπως υπολογίστηκαν στο Heros TT, παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα, μαζί με τις τυπικές αποκλίσεις της επίλυσης από το Topcon Tools:

Πίνακας 19 - Η λύση του στατικού εντοπισμού μετασχηματισμένη στο ΕΓΣΑ '87

Όνομα σημείου	Προβολικό Easting (m)	Προβολικό Northing (m)	h (m)	Τυπική Απόκλιση N (m)	Τυπική Απόκλιση E (m)	Τυπική Απόκλιση U (m)
098A	482571.321	4206385.358	216.805			
T1	471340.289	4205750.805	69.305	0.003	0.003	0.007
T2	471331.275	4205743.188	69.336	0.003	0.003	0.007
T3	471280.223	4205748.743	69.127	0.003	0.003	0.007

Στο δεύτερο στάδιο ίδρυσης του δικτύου ελέγχου, πραγματοποιήθηκαν παρατηρήσεις αποστάσεων υψηλής ακρίβειας, μεταξύ των σημείων T1-T2, με τη χρήση γεωδαιτικού σταθμού κατάλληλου για μετρήσεις παρακολούθησης (monitoring). Επιλέχθηκε αυτή η μέθοδος, γιατί σύμφωνα με τον κατασκευαστή των γεωδαιτικών δεκτών GPS που χρησιμοποιήθηκαν, η εσωτερική ακρίβεια των δεκτών είναι βέλτιστα 3mm οριζοντιογραφικά και 5mm κατακόρυφα. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε, βασίστηκε στις απευθείας μετρήσεις από το ένα σημείο στο άλλο, διαδοχικά και σε 2 θέσεις τηλεσκοπίου. Η κέντρωση και στα δύο σημεία T1 και T2, πραγματοποιήθηκε με την laser κέντρωση που είναι ενσωματωμένη στο όργανο και υλοποιεί τον κατακόρυφο άξονα του οργάνου. Οι μετρήσεις καταγράφηκαν και παρουσιάζονται στον Πίνακας 20.



Εικόνα 34 - Μέτρηση απόστασης μεταξύ T1 - T2 με χρήση γεωδαιτικού σταθμού. Οι παρατηρήσεις του γεωδαιτικού σταθμού από το T1 προς το T2 και από το T2 προς το T1, σε δύο θέσεις τηλεσκοπίου αντίστοιχα, απεικονίζονται στον παρακάτω Πίνακα:

Πίνακας 20 - Οι τιμές αναφοράς για το ISO, όπως προέκυψαν από τις παρατηρήσεις του γεωδαιτικού σταθμού.

Θέση τηλεσκοπίου	Από - προς	Ύψος οργάνου	Ύψος στόχου	κατακόρυφη γωνία	Έλεγχος αθροίσματος κατακόρυφων γωνιών	κεκλιμένη απόσταση	Οριζόντια απόσταση	Υψομετρική διαφορά
Θέση I	T1-T2	1.550	1.526	99.9378	399.9956	11.8074	11.8074	0.0255
Θέση II	T1-T2	1.550	1.526	300.0578		11.8073	11.8073	0.0247
Θέση I	T2-T1	1.548	1.539	100.0603	400.000	11.8071	11.8071	-0.0234
Θέση II	T2-T1	1.548	1.539	299.9397		11.8071	11.8071	-0.0232
<b>Μέσες Τιμές</b>							<b>11.8071</b>	<b>-0.0233</b>

Παρατηρήθηκε ότι το άθροισμα των κατακόρυφων γωνιών για τις δύο θέσεις τηλεσκοπίου στις μετρήσεις από το T1 προς το T2, υπολείπεται του πλήρους κύκλου (400 grad) κατά 0.0044 grad, ήτοι 44cc. Σύμφωνα με τον κατασκευαστή (Πίνακας 16), η ακρίβεια του οργάνου για τις κατακόρυφες γωνίες είναι 0.5cc, οπότε θεωρήθηκε ότι στο σετ των μετρήσεων από T1 προς T2 υπεισήρθαν χονδροειδή σφάλματα. Γι αυτό τον λόγο και λαμβάνοντας υπ' όψιν την υψηλή ακρίβεια του οργάνου, αποφασίστηκε οι μετρήσεις από το T1 να μην χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό των μέσων τιμών για τις συνιστώσες του διανύσματος αναφοράς T1-T2.

#### 4.5 Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΕΞΑΓΩΓΗΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΤΑ ISO 17123-8 ΓΙΑ ΤΟ U-BLOX C94-M8P

Ο πειραματικός έλεγχος του u-blox kit στο δίκτυο ελέγχου κατά ISO, πραγματοποιήθηκε αμέσως μετά τις παρατηρήσεις της βάσης με τον γεωδαιτικό σταθμό, χωρίς να μετακινηθούν οι τρίποδες και τα τρικόχλια που ήταν εγκατεστημένα στα T1, T2. Αυτό έγινε για να αποφευχθούν σφάλματα που θα οφείλονταν στην κέντρωση των τριχοχλίων.

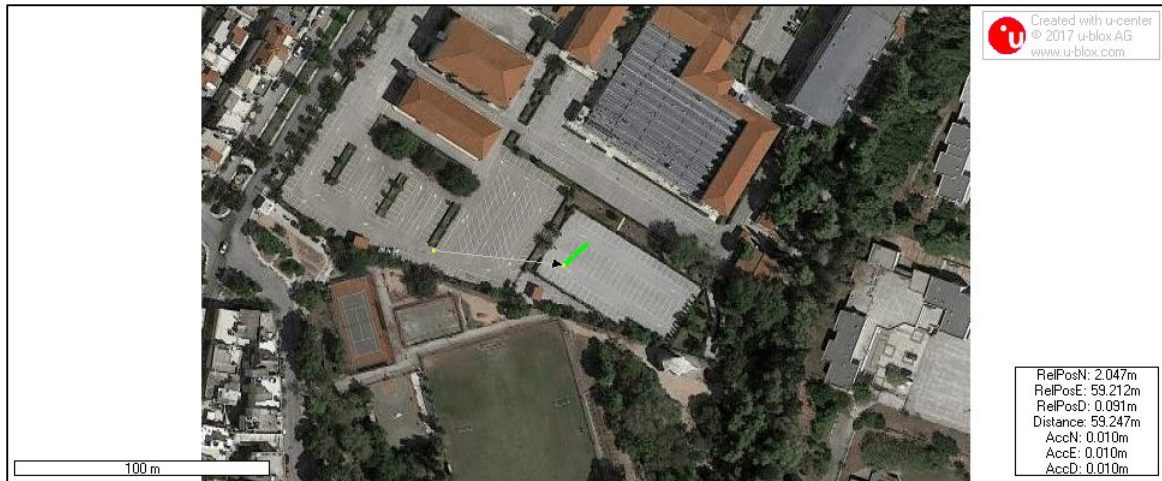
Πριν την έναρξη του τεστ, σημειώθηκαν οι υψομετρικές διαφορές της κεραίας από τα σημεία του δικτύου, συνυπολογίζοντας την διάταξη τρίποδας – τρικόχλιο – βάση κεραίας - κεραία. Καθώς δεν υπάρχει πληροφορία σχετικά με το ηλεκτρικό κέντρο φάσης για τις κεραίες τύπου u-blox που χρησιμοποιήθηκαν, θεωρήθηκε για πρακτικούς λόγους ως σημείο αναφοράς της κεραίας (ARP) το άνω μέρος του επιχειλίου της αλουμινένιας βάσης.

Θεωρήθηκε ότι η έλλειψη αυτής της πληροφορίας δεν επηρέαζε τον σιοπό του ελέγχου, καθώς το μήκος της βάσης base-rover ήταν μικρό (περίπου 60μ.), οι κεραίες ήταν προσανατολισμένες προς την διεύθυνση του Βορρά καθ' όλη την διάρκεια των παρατηρήσεων και χρησιμοποιήθηκαν κεραίες του ίδιου μοντέλου, και τα σφάλματα ήταν ουσιαστικά κοινά και εξαιλείφθηκαν [12].

Ο δέκτης base κατέγραφε παρατηρήσεις καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος, ενώ ο δέκτης rover απενεργοποιούταν μετά το πέρας κάθε σειράς μετρήσεων. Οι δύο δέκτες κατέγραφαν σε log αρχείο μέσω σύνδεσης με 2 φορητούς υπολογιστές μέσω του λογισμικού u-center της u-blox.



Εικόνα 35 - Η διάταξη των μετρήσεων για το ISO test.



Εικόνα 36- Οι μετρήσεις μέσα από το map view του u-center

Κατά τη διάρκεια των σετ μετρήσεων, ο rover κατέγραφε συνεχώς με ρυθμό καταγραφής 1Hz. Για ευκολία στην μετέπειτα επεξεργασία, ο δέκτης έμενε σταθερός έως 60 εποχές μετρήσεων (60 δευτερόλεπτα) και σημειωνόταν η έναρξη και η λήξη των παρατηρήσεων στα σημεία T1 και T2, αντίστοιχα. Αποφασίστηκε ότι έτσι η διαλογή των μετρήσεων που αφορούν τις εποχές που ο δέκτης ήταν πάνω στα σημεία T1, T2, θα ήταν ευκολότερο να γίνει στο γραφείο. Η διάρκεια των μετρήσεων, καθορίστηκε από τις προδιαγραφές του ISO 17123-8, σύμφωνα με το οποίο, έπρεπε να πραγματοποιηθούν 3 σειρές μετρήσεων των 5 σετ, με χρονική διαφορά ανάμεσα στην έναρξη κάθε σειράς τα 90 λεπτά. Αυτή η συνθήκη καθόρισε την συνολική διάρκεια του τεστ στα 210 λεπτά περίπου. Ως παράδειγμα της διαδικασίας των παρατηρήσεων, της διαλογής και των υπολογισμών, παρατίθενται στο Παράρτημα τα υπολογιστικά φύλλα για τα σετ 1.4 και 1.5.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 Επεξεργασία Δεδομένων και Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων

Η καταγραφή σε αρχεία μορφότυπου .ubx, έδωσε τη δυνατότητα πλήρους εποπτείας και επεξεργασίας των δεδομένων που λάμβαναν οι δέκτες κατά τη διάρκεια των παρατηρήσεων. Πρόκειται για αρχεία που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο περιβάλλον του u-center για μετέπειτα θέαση των παρατηρήσεων ανά εποχή, με πλήρη εποπτεία σε στοιχεία όπως η διάταξη των δορυφόρων, raw παρατηρήσεις σε μορφή RINEX, εμφάνιση των παρατηρήσεων σε υπόβαθρα χαρτών wms, πληροφορίες έντασης των δορυφορικών σημάτων κ.ο.κ.. Για την επεξεργασία των δεδομένων, χρησιμοποιήθηκε η δυνατότητα του λογισμικού να δημιουργήσει πίνακα με τις παρατηρήσεις, με πληροφορία στις στήλες που επιλέγει ο χρήστης.

### 5.1 ΔΙΑΛΟΓΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΣΕ ΠΡΟΒΟΛΙΚΕΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ

Με την επιλογή της μετέπειτα αναπαραγωγής του πραγματικού χρόνου σε μορφή πίνακα, επιλέχθηκαν οι παρακάτω παράμετροι για μεταφορά σε υπολογιστικό φύλλο.

Πίνακας 21 - Οι επιλεγμένες παράμετροι για τους υπολογισμούς

Παράμετρος	Περιγραφή	Σχόλια
<b>Index</b>	Ο αύξων αριθμός της παρατήρησης, με εύρος από 0 έως την τελευταία εποχή -1.	
<b>UTC</b>	Η ώρα UTC που αντιστοιχεί στην εποχή	
<b>iToW</b>	Internal Time of the Week	
<b>Lat</b>	Γεωγραφικό πλάτος	DD.ddddddd (WGS84)
<b>Lon</b>	Γεωγραφικό μήκος	DD.ddddddd (WGS84)
<b>Alt (HAE)</b>	Ελλειψοειδές υψόμετρο	(m) WGS84
<b>Alt (MSL)</b>	Ορθομετρικό υψόμετρο	(m) άγνωστο γεωειδές
<b>GDOP</b>	Δείκτης ακριβείας που αφορά στη γεωμετρία των δορυφόρων GNSS ως προς τον δέκτη	
<b>PACC H</b>	Εκτίμηση της οριζοντιογραφικής ακριβείας θέσης	
<b>PACC V</b>	Εκτίμηση της κατακόρυφης ακριβείας θέσης	
<b>PACC 3D</b>	Εκτίμηση της 3D ακριβείας θέσης	
<b>Fix type (GPS)</b>	Είδος λύσης GPS	0: no fix 1: dead reckoning only 2: 2D-fix 3: 3D-fix

		4: GNSS + dead reckoning combined 5: time only fix
<b>Carrier Range Status</b>	Κατάσταση λύσης ασαφειών φάσης	0: no carrier phase range solution 1: float solution (no fixed integer carrier phase measurements have been used to calculate the solution) 2: fixed solution (one or more fixed integer carrier phase range measurements have been used to calculate the solution)
<b>TTF</b>	Χρόνος για πρώτη επίλυση ασαφειών φάσης.	
<b>TimeStartup</b>	Χρόνος από την έναρξη παρατηρήσεων	
<b>Used SVs</b>	Καταγραφή των δορυφόρων που χρησιμοποιεί η λύση	
<b>relPosE</b>	Διάνυσμα σχετικής θέσης από τον base: Συνιστώσα Easting	
<b>relPosN</b>	Διάνυσμα σχετικής θέσης από τον base: Συνιστώσα Northing	
<b>relPosD</b>	Διάνυσμα σχετικής θέσης από τον base: Συνιστώσα Down.	

Η επεξεργασία σε υπολογιστικό φύλλο πραγματοποιήθηκε στα παρακάτω στάδια:

### Στάδιο 1

Μεταφορά όλων των καταγραφών από τον πίνακα του u-center σε φύλλο MS Excel. Ένα αρχείο για κάθε σετ μετρήσεων, ήτοι δημιουργήθηκαν 15 αρχεία.

### Στάδιο 2

Βάσει των σημειώσεων πεδίου, έγινε η διαλογή των μετρήσεων που αφορούσαν σε εποχές που ο δέκτης κατέγραφε σταθερός στα σημεία T1, T2 του ιδρυθέντος δικτύου.

### Στάδιο 3

Ευθύς μετασχηματισμός των  $\varphi$ ,  $\lambda$ ,  $h$  που αφορούσαν παρατηρήσεις στα T1 και T2 στο προβολικό σύστημα του ΕΓΣΑ '87 (TM87), μέσω του εργαλείου HEPOS TT. Θεωρήθηκε ότι το WGS84 ταυτίζεται με το HTRS07, παραδοχή ικανοποιητική για τις ανάγκες της συγκεκριμένης εργασίας. Στη συνέχεια, για κάθε σετ, υπολογίστηκαν οι μέσες τιμές των Easting, Northing, h για κάθε σημείο και προστέθηκε η διόρθωση του ύψους κεραιάς, ώστε οι τελικές συντεταγμένες να αναφέρονται στο σημείο του δικτύου.



Τελικό αποτέλεσμα κάθε σετ, θεωρήθηκαν οι μέσες τιμές Easting, Northing, h ελλειψοειδές για κάθε σημείο (T1, T2) εκφρασμένες στο ΕΓΣΑ87.

Εδώ παρατηρήθηκε, ότι ενώ οι δέκτες ήταν ρυθμισμένοι για καταγραφή μηνύματος High Precision, το οποίο σύμφωνα με τον κατασκευαστή και την περιγραφή του πρωτοκόλλου UBX αφορά σε ακρίβεια χιλιοστού, το αρχείο κατέγραψε, σε μορφή δεκαδικών μοιρών, το γεωγραφικό πλάτος και γεωγραφικό μήκος με 7 ψηφία μετά την υποδιαστολή, κάτι που σημαίνει ανάλυση 11mm. Αυτό συνέβη, γιατί η έκδοση του λογισμικού u-center που χρησιμοποιήθηκε κατά τη καταγραφή (version 19.01) παρουσίαζε προβλήματα στην καταγραφή πληροφορίας High Precision, κάτι που επιλύθηκε με την κυκλοφορία της έκδοσης 19.03<sup>6</sup> [28]. Καθώς το ISO 17123-8 θεωρεί ως παρατηρήσεις τις προβολικές συντεταγμένες, δηλαδή την πληροφορία που λαμβάνει ένας μέσος χρήστης από τα αρχεία που αποθηκεύει ένας ορθά ρυθμισμένος γεωδαιτικός δέκτης για καθημερινές τοπογραφικές εργασίες, ο έλεγχος προχώρησε, θεωρώντας αφενός μεν ότι η ακρίβεια χιλιοστού δεν είναι το ζητούμενο εκ κατασκευής για έναν δέκτη πλοήγησης, όπως λανσάρεται το kit u-blox C94-M8P, αφετέρου δε γιατί το πλήθος των παρατηρήσεων εξασφάλιζε ότι η στρογγυλοποίηση στο εκατοστό δε θα επηρέαζε το τελικό αποτέλεσμα. Για λόγους ελέγχου και πληρότητας, πραγματοποιήθηκε έλεγχος και θα παρουσιαστεί στη συνέχεια, με βάση το πακέτο εντολών RELPOS του πρωτοκόλλου UBX, που κατέγραψε ο δέκτης με ακρίβεια δέκατου του χιλιοστού [23].

---

<sup>6</sup> όπως αναφέρεται στο Εγχειρίδιο Έκδοσης (Release Notes):  
3.4 Version 19.03

[...]

• Bug fix: High Navigation Rate data can now be viewed in the table view.

## 5.2 ΟΙ ΕΛΕΓΧΟΙ ΚΑΤΑ ISO 17123-8 ΓΙΑ ΤΟ U-BLOX C94-M8P

### 5.2.1 Ο έλεγχος του Απλοποιημένου Τεστ για το u-blox C94-M8P

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, το ISO 17123-8 θεωρεί ως παρατηρήσεις τις προβολικές συντεταγμένες x,y και το ελλειψοειδές υψόμετρο στο τοπικό datum. Στον παρακάτω πίνακα, παρατίθενται συνοπτικά οι μέσες τιμές από κάθε σετ, στρογγυλοποιημένες για λόγους υπολογισμών στο χιλιοστό. Στην τελευταία γραμμή του πίνακα, παρατίθεται η στατική επίλυση για τα σημεία T1, T2, όπως προέκυψε από τις μετρήσεις του γεωδαιτικού δέκτη Topcon HiPer Pro. Έτσι έχουμε μια εποπτεία των αποτελεσμάτων μετρήσεων RTK με το u-blox C94-M8P, ως προς την λύση απόλυτης θέσης και ένα δείγμα της εξωτερικής ακρίβειας που μπορεί να πετύχει αυτός ο δέκτης.

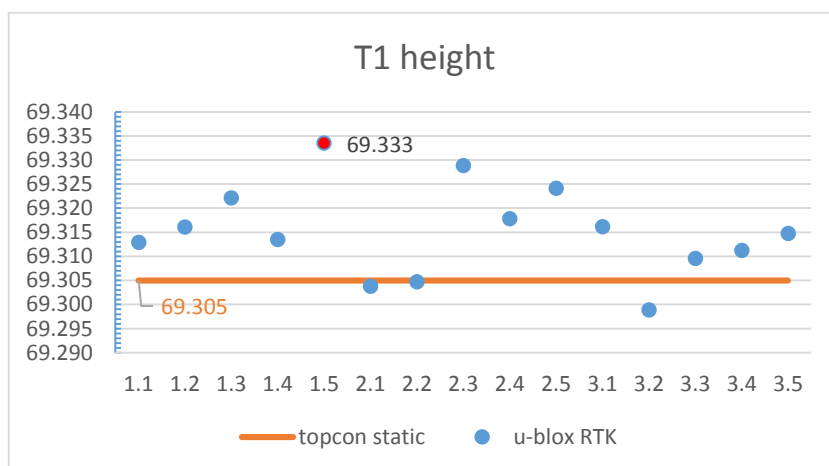
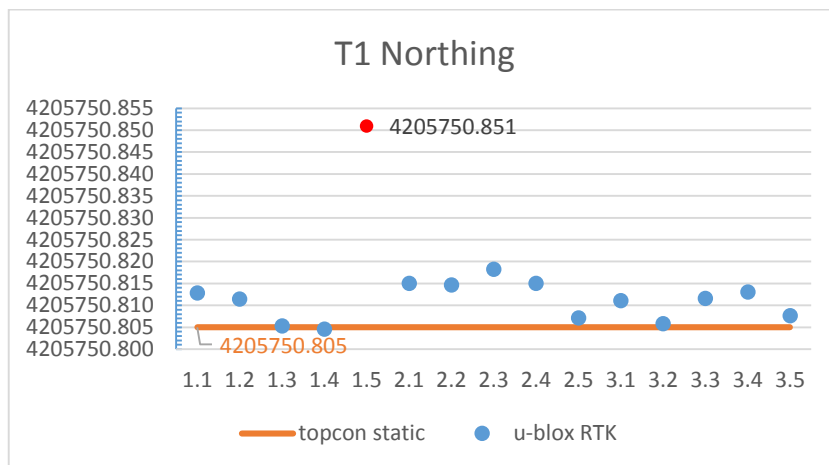
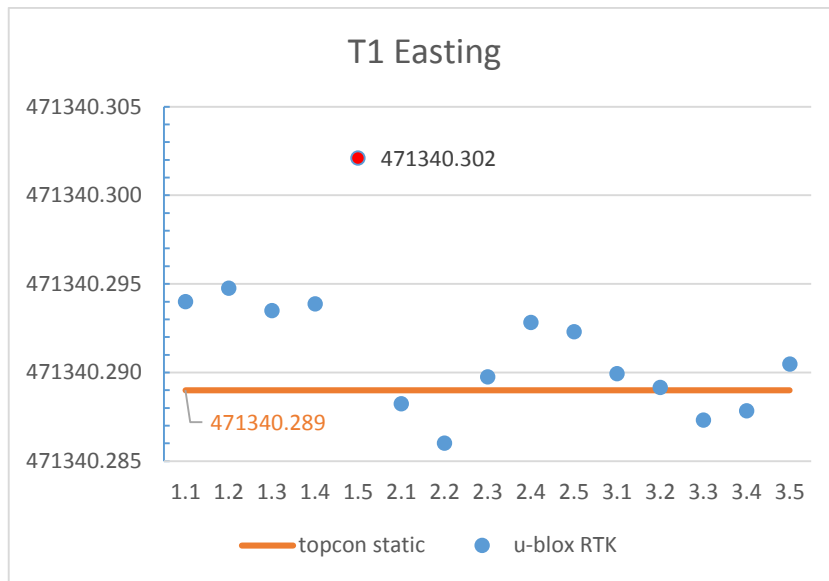
Πίνακας 22 - Απλοποιημένο Τεστ. Οι παρατηρήσεις ISO

Απλοποιημένο Τεστ - Παρατηρήσεις							
αρ. σετ	Παρατηρήσεις						
	T1			T2			
	x	y	h_ellip.	x	y	h_ellip.	
1η σειρά	1.1	471340.294	4205750.813	69.313	471331.278	4205743.192	69.340
	1.2	471340.295	4205750.811	69.316	471331.277	4205743.198	69.347
	1.3	471340.293	4205750.805	69.322	471331.282	4205743.190	69.344
	1.4	471340.294	4205750.805	69.314	471331.277	4205743.191	69.341
	1.5	471340.302	4205750.851	69.333	471331.276	4205743.193	69.334
2η σειρά	2.1	471340.288	4205750.815	69.304	471331.276	4205743.196	69.332
	2.2	471340.286	4205750.815	69.305	471331.272	4205743.199	69.332
	2.3	471340.290	4205750.818	69.329	471331.271	4205743.195	69.337
	2.4	471340.293	4205750.815	69.318	471331.275	4205743.190	69.346
	2.5	471340.292	4205750.807	69.324	471331.277	4205743.195	69.338
3η σειρά	3.1	471340.290	4205750.811	69.316	471331.277	4205743.190	69.342
	3.2	471340.289	4205750.806	69.299	471331.274	4205743.189	69.330
	3.3	471340.287	4205750.812	69.310	471331.275	4205743.189	69.335
	3.4	471340.288	4205750.813	69.311	471331.269	4205743.193	69.336
	3.5	471340.290	4205750.808	69.315	471331.267	4205743.189	69.340
<i>Static Topcon</i>	<i>471340.289</i>	<i>4205750.805</i>	<i>69.305</i>	<i>471331.275</i>	<i>4205743.188</i>	<i>69.336</i>	
*set/5min ->25min για 5 sets							
*σειρά/90 min -> 210min για 3 σειρές							

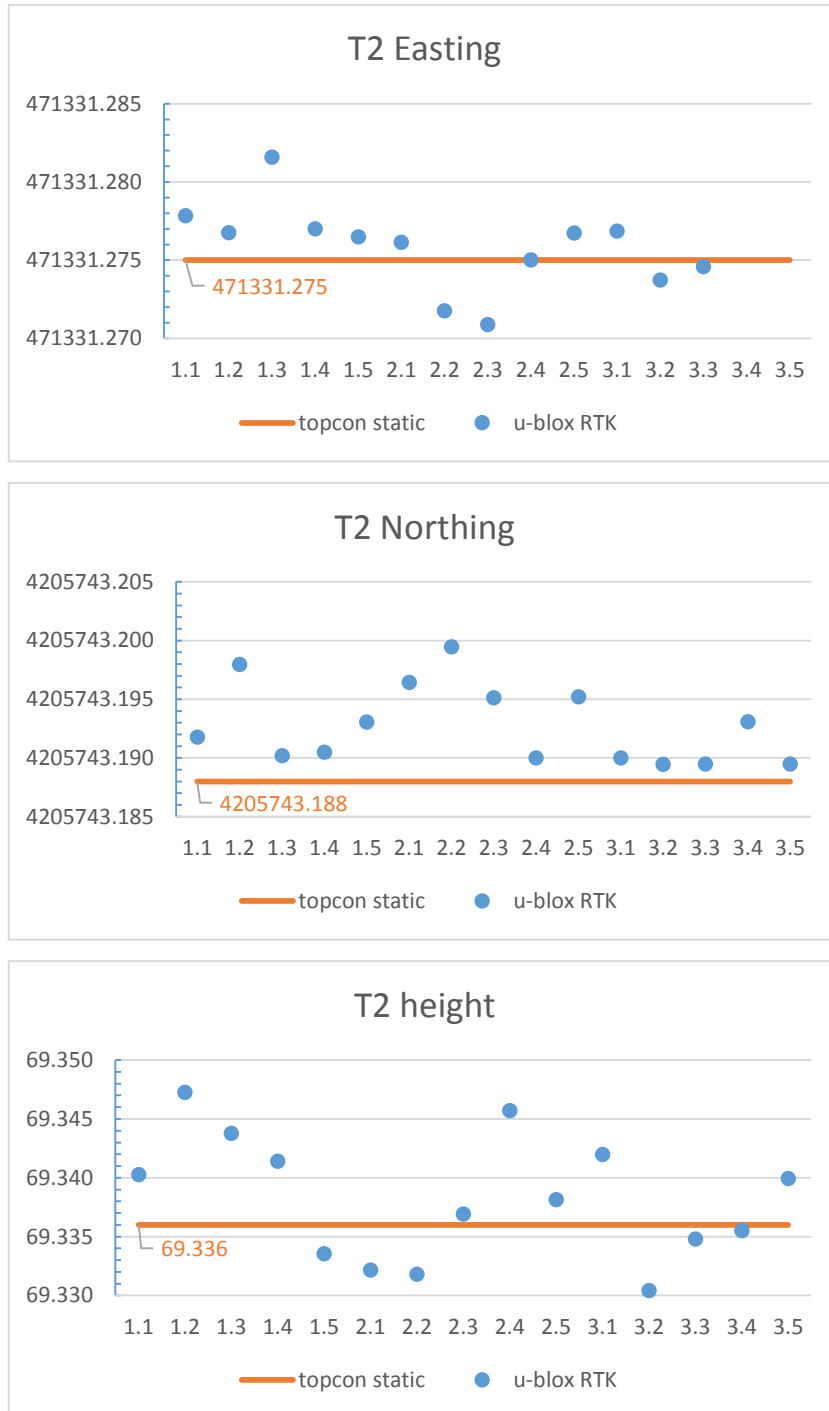
Παρατηρείται πολύ καλή απόδοση του δέκτη χαμηλού κόστους, με τιμές με μικρή διασπορά στα σετ που ανήκουν στην ίδια σειρά μετρήσεων, όπως αποτυπώνεται και στα παρακάτω γραφήματα

που γίνεται η σύγκριση με τη λύση που προέκυψε από τους γεωδαιτικούς δέκτες. Αυτό δικαιολογεί και τις προδιαγραφές του προτύπου, που προτείνει τα διαδοχικά σετ να απέχουν μεταξύ τους 90 λεπτά, ώστε, μεταξύ άλλων, να ελέγχεται η συμπεριφορά των δεκτών σε διαφορετικούς δορυφορικούς σχηματισμούς και διαφορετικές ατμοσφαιρικές συνθήκες. Παρατηρείται δηλαδή μεγάλη συνοχή, με εξαίρεση την μέτρηση του T1 στο σετ 1.5, που θα αναλυθεί ξεχωριστά.

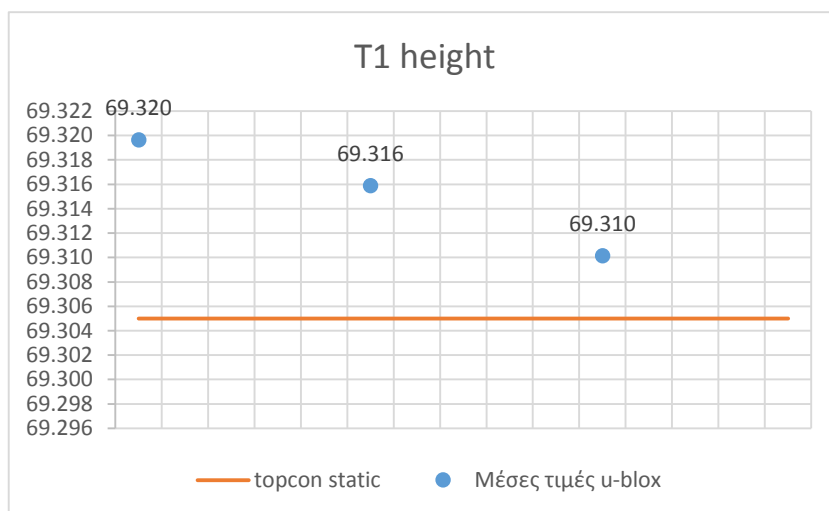
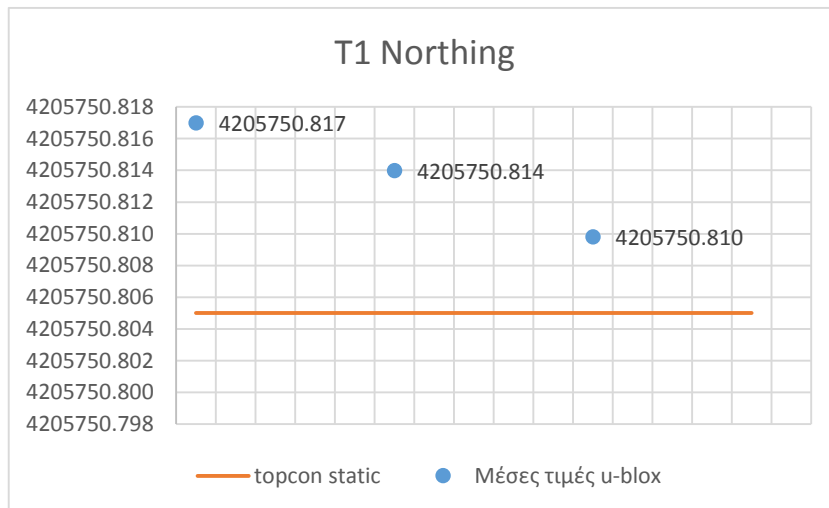
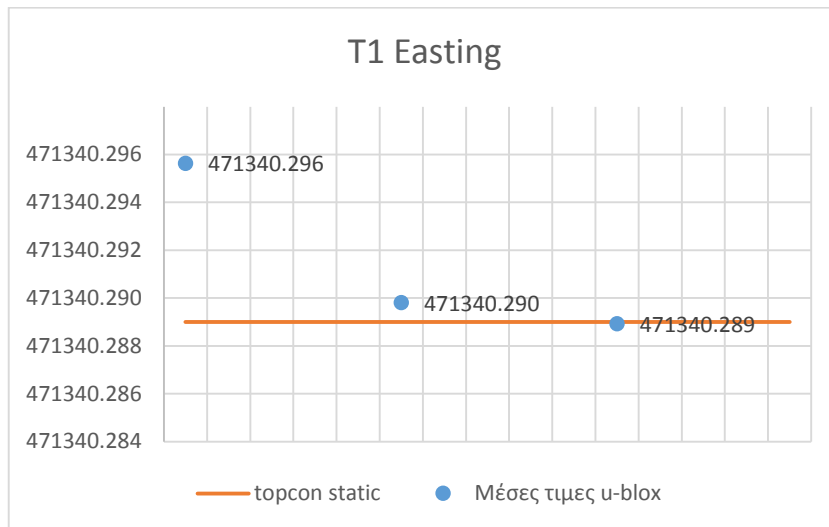
Πίνακας 23 - Οι διακυμάνσεις ανά συνιστώσα για το T1 και η σύγκριση με την στατική επίλυση του γεωδαιτικού δέκτη.



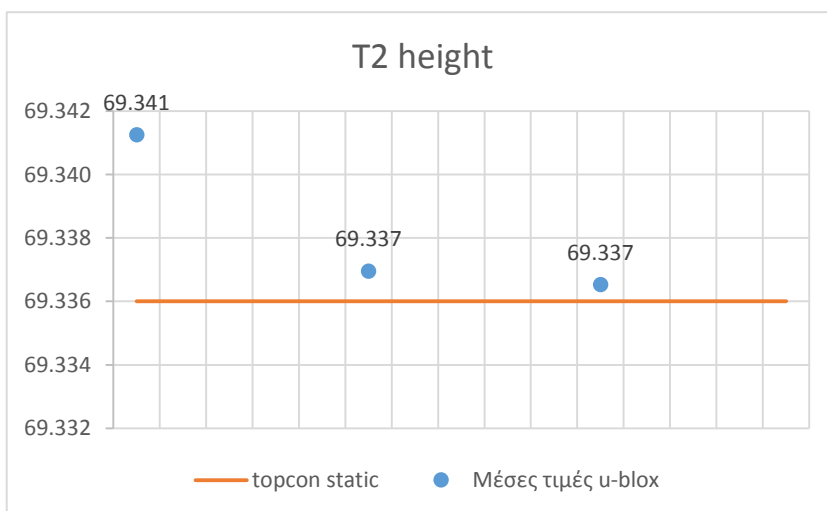
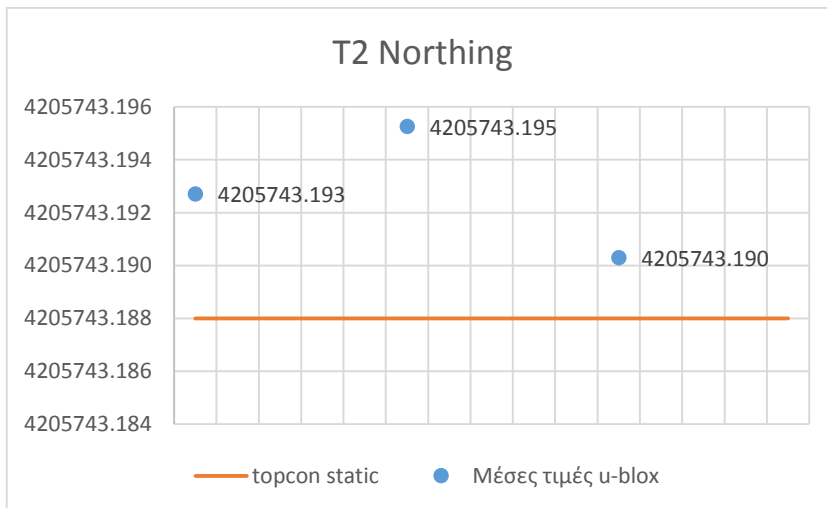
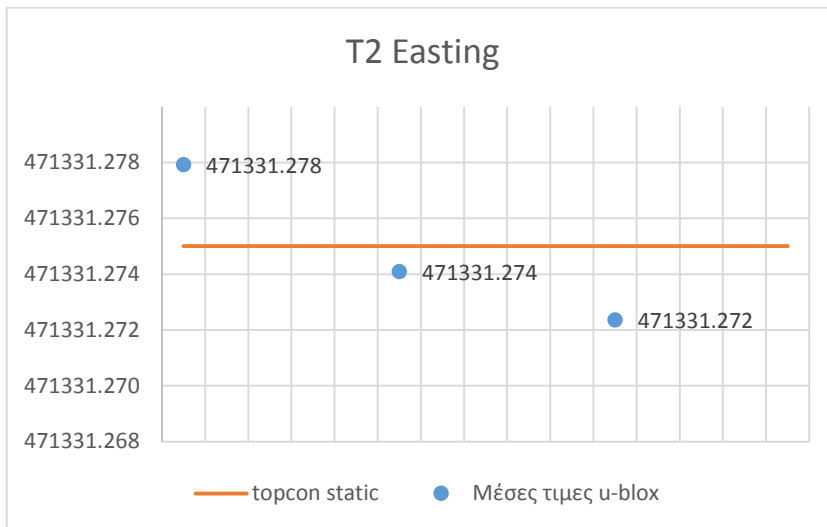
Πίνακας 24 - Οι διακυμάνσεις ανά συνιστώσα για το T2 και η σύγκριση με την στατική επίλυση του γεωδαιτικού δέκτη.



Πίνακας 25 - Οι μέσες τιμές των συνιστωσών του T1, για κάθε σειρά μετρήσεων.



Πίνακας 26 - Οι μέσες τιμές των συνιστωσών του T2, για κάθε σειρά μετρήσεων.



Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε υπολογισμός της οριζόντιας απόστασης και της υψομετρικής διαφοράς μεταξύ των σημείων του φορητού δέκτη (rover) για κάθε σετ μετρήσεων.

$$D_{i,j} = \sqrt{(x_{i,j,2} - x_{i,j,1})^2 + (y_{i,j,2} - y_{i,j,1})^2} \quad (33)$$

$$\Delta h_{i,j} = h_{i,j,2} - h_{i,j,1} \quad (34)$$

όπου  $i$  το σετ και  $j$  η σειρά μετρήσεων.

Υπολογίστηκαν οι αποκλίσεις από τις αρχικές τιμές αναφοράς, δηλαδή των τιμών που προέκυψαν από τις μετρήσεις με τον γεωδαιτικό σταθμό.

$$e_{Di,j} = D_{i,j} - D^* \quad (35)$$

$$e_{hi,j} = h_{i,j} - h^* \quad (36)$$

όπου \* οι συνιστώσες του διανύσματος που προέκυψαν από τον γεωδαιτικό σταθμό Leica TS30.

Οι υπολογισμοί παρατίθενται στον παρακάτω Πίνακα.

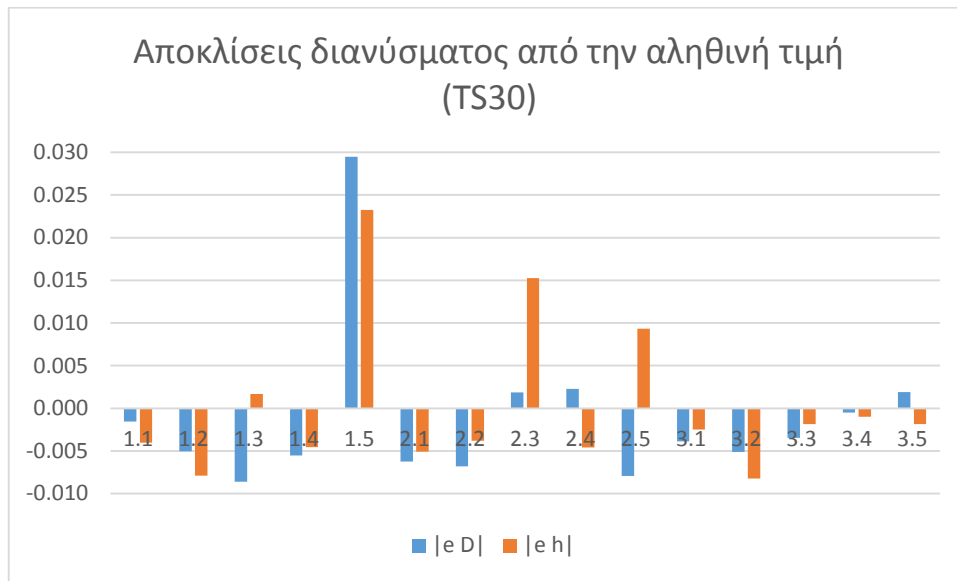
Πίνακας 27 - Απλοποιημένο Τεστ. Οι υπολογισμοί.

Απλοποιημένο Τεστ - Υπολογισμοί									
αρ. σετ	Διάνυσμα T1-T2		Αληθινή τιμή (TS30)		Αποκλίσεις από την Αληθινή τιμή (TS30)				
	Dij	Δhij	D*	Δh*	ε D	ε h	ε D	ε h	
1η σειρά	1.1	11.806	-0.027	<b>11.8071</b>	<b>-0.0233</b>	-0.002	-0.004	0.002	0.004
	1.2	11.802	-0.031			-0.005	-0.008	0.005	0.008
	1.3	11.798	-0.022			-0.009	0.002	0.009	0.002
	1.4	11.802	-0.028			-0.006	-0.005	0.006	0.005
	1.5	11.837	0.000			0.029	0.023	0.029	0.023
2η σειρά	2.1	11.801	-0.028			-0.006	-0.005	0.006	0.005
	2.2	11.800	-0.027			-0.007	-0.004	0.007	0.004
	2.3	11.809	-0.008			0.002	0.015	0.002	0.015
	2.4	11.809	-0.028			0.002	-0.005	0.002	0.005
	2.5	11.799	-0.014			-0.008	0.009	0.008	0.009
3η σειρά	3.1	11.803	-0.026			-0.004	-0.002	0.004	0.002
	3.2	11.802	-0.032			-0.005	-0.008	0.005	0.008
	3.3	11.804	-0.025			-0.003	-0.002	0.003	0.002
	3.4	11.807	-0.024			0.000	-0.001	0.000	0.001
	3.5	11.809	-0.025			0.002	-0.002	0.002	0.002
<i>Static Topcon</i>		<i>11.801</i>	<i>-0.031</i>			<i>-0.006</i>	<i>-0.008</i>	<i>0.006</i>	<i>0.008</i>

Βάσει αυτού του πίνακα, κατασκευάστηκε το παρακάτω διάγραμμα που αποτυπώνει της διακυμάνσεις των συνιστωσών προερχόμενων από μετρήσεις u-blox, γύρω από την αληθινή τιμή.



Πίνακας 28 - Αποκλίσεις διανύσματος από την αληθινή τιμή (TS30)



Παρατηρείται μία τάση (με εξαίρεση το σετ 1.5, λόγω της αστοχίας στο T1), το διάνυσμα μετρημένο με το u-blox να τείνει να πλησιάζει την αληθινή τιμή στα 2 τελευταία σετ μετρήσεων (n.4 και n.5 , όπου n ο αριθμός της σειράς). Αυτό πιθανόν να εξηγείται λόγω του χρονικού διαστήματος που ο δέκτης δίνει λύση fixed και θα αναλυθεί στην επόμενη παράγραφο.

Ο έλεγχος για τα χονδροειδή και συστηματικά σφάλματα, σύμφωνα με το πρότυπο δίνεται στον παρακάτω Πίνακα 30. Σημειώνεται ότι, καθώς ο κατασκευαστής δίνει ως μέτρο ακρίβειας το CEP, γίνεται η μετατροπή του σε δυσδιάστατο RMS (Distance RMS), που είναι αυτό που συνήθως αναφέρουν οι κατασκευαστές των γεωδαιτικών δεκτών. Έτσι προκύπτει και η σύγκριση με τα a-priori μέτρα ακρίβειας που δίνουν αντίστοιχα οι κατασκευαστές των γεωδαιτικών δεκτών. Για τον κατακόρυφο έλεγχο σφαλμάτων, θεωρήθηκε εμπειρικά ότι η a-priori τυπική απόκλιση είναι μία φορά μεγαλύτερη από αυτή της οριζοντιογραφίας.

Πίνακας 29 - Απλοποιημένο Τεστ. Έλεγχος σφαλμάτων.

Απλοποιημένο Τεστ - Έλεγχος σφαλμάτων (a-priori)		
DRMS= 1.20 CEP		
s_xy_CEP 0.025	s_xy_DRMS 0.030	s_h (2*s_xy_DRMS) 0.06
	Έλεγχος χονδροειδών σφαλμάτων	
	$ \epsilon D  \leq 2.5 \cdot \sqrt{2} \cdot s_{xy}$	$ \epsilon h  \leq 2.5 \cdot \sqrt{2} \cdot s_h$
	<b>0.106</b>	<b>0.212</b>

Ο έλεγχος για τα διανύσματα που προκύπτουν από όλα τα σετ και για τις 3 σειρές μετρήσεων πέρασε εύκολα κάτω από το κατώφλι, όπως παρατηρείται στον παραπάνω Πίνακα 28, τόσο για την οριζοντιογραφική, όσο και για την κατακόρυφη συνιστώσα.

### **5.2.2 Παρατηρήσεις και σχολιασμός του Απλοποιημένου Τεστ**

Βλέποντας την στατιστική συμπεριφορά στο σετ 1.5 και κυρίως στην μέτρηση του T1, έγινε προσπάθεια να αναλυθεί αυτή η συμπεριφορά. Εξετάζοντας το αρχείο καταγραφών του u-blox, παρατηρήθηκε ότι την εποχή 552888, ο δέκτης rover σταμάτησε να λαμβάνει διορθώσεις από τον base έως και την εποχή 552939, δηλαδή για 51 εποχές. Χρειάστηκε έπειτα άλλες 14 εποχές, ώστε να επιλύσει τις ασάφειες φάσης και να δώσει flag fixed.

Αντίστοιχα, με τον ίδιο τρόπο, κατά τη διάρκεια του σετ 2.3, ο δέκτης rover σταμάτησε να λαμβάνει διορθώσεις στα μισά των παρατηρήσεων του T1, με αδυναμία ανάκτησης σύνδεσης, οπότε και απενεργοποιήθηκε. Μετά από 4 λεπτά ενεργοποιήθηκε ξανά και με επιλυμένες τις ασάφειες φάσης, συμμετείχε στο τεστ, χωρίς να επηρεάσει αυτή η μικρή καθυστέρηση τους χρόνους που υποδεικνύει το ISO. Αναλύοντας το αποτέλεσμα που πέτυχε το σετ 2.3 ως προς το διάνυσμα αναφοράς, έχει μια αμελητέα απόκλιση οριζοντιογραφικά (0.002μ.), αλλά μία αξιοπρόσεκτη -για τα δεδομένα του συνολικού αποτελέσματος- απόκλιση 0.016μ κατακόρυφα.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί ότι, ο εντυπωσιακός χρόνος επίλυσης ασαφειών φάσης (flag fix), από τη στιγμή που ο δέκτης λάβει τα μηνύματα των διορθώσεων του base, δικαιολογείται για τους εξής λόγους:

Ο χρόνος που χρειάζεται για να επιλυθούν οι ασάφειες φάσης, επηρεάζεται από το μήκος της βάσης, που στη περίπτωση του τεστ είναι στα 60μ. (μικρή βάση) και από το φαινόμενο της πολυανάκλασης, που κατά τη διάρκεια των μετρήσεων ήταν αμελητέο, κρίνοντας και από την προσεκτική επιλογή των σημείων του δικτύου ελέγχου μακριά από πιθανές πηγές αυτού του φαινομένου. Επιπλέον, ο συνδυασμός GPS και Glonass προσφέρει ευρωστία στην λύση. Το γεγονός όμως ότι ο δέκτης M8P είναι μονής συχνότητας καθιστά την ιδιότητα της γρήγορης επίλυσης ασαφειών σημαντική.

Αυτό που δε μπορεί να γνωρίζει ένας χρήστης, είναι σε τι βαθμό θεωρείται η λύση της φάσης αξιόπιστη από τον κάθε κατασκευαστή, οπότε πιθανώς λύσεις που δίνονται ως fixed, αμέσως μετά από απώλεια λύσης fixed, θέλουν προσοχή. Αυτό στοιχειοθετεί και την συνοχή (λαμβάνοντας υπ' όψιν πάντα όσα συνέβησαν στα σετ 1.5 και 2.3) καθ' όλη τη διάρκεια των παρατηρήσεων, των σετ που είχαν συνεχώς επιλυμένες ασάφειες, δηλαδή προς το πέρας κάθε σειράς, να παράγουν

Μετρωλογικός έλεγχος δεκτών GNSS χαμηλού κόστους για εφαρμογές RTK  
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

διανύσματα πιο κοντά στην αληθινή τιμή. Συμπερασματικά, όσο ένας δέκτης είναι σε κατάσταση λύσης fixed, συνεχίζει να βελτιώνει την εκτίμηση της ακέραιας λύσης των ασαφειών φάσης.

Εικόνα 37 - Απόσπασμα από το Table View του u-center για το σετ 1.5. Στην εποχή 552888, δίνει την τιμή 0 στον δείκτη carrier range status.

36	09-34:27.000 06/08/2019	552885.000	38.00155960	23.67526370	99.087	65.949	1.8	0.015	0.022	0.030	3D	2	2	1802.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	60.0844	2.3415	-0.1723
37	09-34:28.000 06/08/2019	552886.000	38.00155960	23.67526370	99.088	65.950	1.8	0.015	0.024	0.030	3D	2	2	1803.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	60.0864	2.3190	-0.1733
38	09-34:29.000 06/08/2019	552887.000	38.00155960	23.67526370	99.089	65.951	1.8	0.015	0.026	0.030	3D	2	2	1804.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	60.0884	2.2975	-0.1743
39	09-34:30.000 06/08/2019	552888.000	38.00155940	23.67526370	99.036	65.899	1.8	0.447	0.798	0.910	3D	0	0	1805.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0.0000	0.0000	0.0000
40	09-34:31.000 06/08/2019	552889.000	38.00155930	23.67526380	99.990	65.853	1.8	0.604	1.086	1.240	3D	0	0	1806.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0.0000	0.0000	0.0000
41	09-34:32.000 06/08/2019	552890.000	38.00155930	23.67526380	99.958	65.821	1.8	0.667	1.211	1.380	3D	0	0	1807.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0.0000	0.0000	0.0000
42	09-34:33.000 06/08/2019	552891.000	38.00155930	23.67526390	99.921	65.784	1.8	0.688	1.255	1.430	3D	0	0	1808.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0.0000	0.0000	0.0000
43	09-34:34.000 06/08/2019	552892.000	38.00155930	23.67526390	99.880	65.743	1.8	0.683	1.250	1.420	3D	0	0	1809.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0.0000	0.0000	0.0000
44	09-34:35.000 06/08/2019	552893.000	38.00155940	23.67526390	99.847	65.710	1.8	0.664	1.216	1.390	3D	0	0	1810.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0.0000	0.0000	0.0000
45	09-34:36.000 06/08/2019	552894.000	38.00155940	23.67526390	99.808	65.671	1.8	0.636	1.166	1.330	3D	0	0	1811.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0.0000	0.0000	0.0000
46	09-34:37.000 06/08/2019	552895.000	38.00155940	23.67526390	99.772	65.635	1.8	0.603	1.105	1.260	3D	0	0	1812.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0.0000	0.0000	0.0000
47	09-34:38.000 06/08/2019	552896.000	38.00155950	23.67526390	99.739	65.602	1.8	0.567	1.040	1.180	3D	0	0	1813.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0.0000	0.0000	0.0000
48	09-34:39.000 06/08/2019	552897.000	38.00155950	23.67526400	99.700	65.563	1.8	0.530	0.972	1.110	3D	0	0	1814.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0.0000	0.0000	0.0000
49	09-34:40.000 06/08/2019	552898.000	38.00155950	23.67526400	99.662	65.524	1.8	0.493	0.906	1.030	3D	0	0	1815.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0.0000	0.0000	0.0000
50	09-34:41.000 06/08/2019	552899.000	38.00155960	23.67526410	99.628	65.491	1.8	0.458	0.842	0.960	3D	0	0	1816.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0.0000	0.0000	0.0000
51	09-34:42.000 06/08/2019	552900.000	38.00155960	23.67526420	99.605	65.468	1.8	0.427	0.785	0.890	3D	0	0	1817.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0.0000	0.0000	0.0000
52	09-34:43.000 06/08/2019	552901.000	38.00155960	23.67526420	99.579	65.442	1.8	0.443	0.815	0.930	3D	0	0	1818.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0.0000	0.0000	0.0000
53	09-34:44.000 06/08/2019	552902.000	38.00155960	23.67526430	99.558	65.421	1.8	0.459	0.844	0.960	3D	0	0	1819.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0.0000	0.0000	0.0000
54	09-34:45.000 06/08/2019	552903.000	38.00155970	23.67526440	99.541	65.404	1.8	0.474	0.871	0.990	3D	0	0	1820.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0.0000	0.0000	0.0000
55	09-34:46.000 06/08/2019	552904.000	38.00155970	23.67526440	99.512	65.374	1.8	0.488	0.897	1.020	3D	0	0	1821.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0.0000	0.0000	0.0000
56	09-34:47.000 06/08/2019	552905.000	38.00155970	23.67526450	99.486	65.349	1.8	0.502	0.922	1.050	3D	0	0	1822.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0.0000	0.0000	0.0000
57	09-34:48.000 06/08/2019	552906.000	38.00155970	23.67526460	99.457	65.320	1.8	0.515	0.946	1.080	3D	0	0	1823.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0.0000	0.0000	0.0000
58	09-34:49.000 06/08/2019	552907.000	38.00155970	23.67526460	99.434	65.297	1.8	0.528	0.969	1.100	3D	0	0	1824.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0.0000	0.0000	0.0000
59	09-34:50.000 06/08/2019	552908.000	38.00155970	23.67526470	99.406	65.269	1.8	0.541	0.992	1.130	3D	0	0	1825.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0.0000	0.0000	0.0000
60	09-34:51.000 06/08/2019	552909.000	38.00155980	23.67526470	99.386	65.249	1.8	0.553	1.014	1.150	3D	0	0	1826.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0.0000	0.0000	0.0000
61	09-34:52.000 06/08/2019	552910.000	38.00155980	23.67526480	99.361	65.224	1.8	0.565	1.035	1.180	3D	0	0	1827.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0.0000	0.0000	0.0000
62	09-34:53.000 06/08/2019	552911.000	38.00155980	23.67526480	99.329	65.192	1.8	0.576	1.056	1.200	3D	0	0	1828.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0.0000	0.0000	0.0000
63	09-34:54.000 06/08/2019	552912.000	38.00155980	23.67526490	99.304	65.167	1.8	0.587	1.076	1.230	3D	0	0	1829.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0.0000	0.0000	0.0000
64	09-34:55.000 06/08/2019	552913.000	38.00155990	23.67526500	99.286	65.149	1.8	0.598	1.095	1.250	3D	0	0	1830.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0.0000	0.0000	0.0000
65	09-34:56.000 06/08/2019	552914.000	38.00155990	23.67526500	99.263	65.126	1.8	0.608	1.113	1.270	3D	0	0	1831.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0.0000	0.0000	0.0000
66	09-34:57.000 06/08/2019	552915.000	38.00155990	23.67526510	99.246	65.109	1.8	0.619	1.130	1.290	3D	0	0	1832.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0.0000	0.0000	0.0000
67	09-34:58.000 06/08/2019	552916.000	38.00155990	23.67526520	99.227	65.099	1.8	0.629	1.147	1.310	3D	0	0	1833.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0.0000	0.0000	0.0000
68	09-34:59.000 06/08/2019	552917.000	38.00155990	23.67526530	99.214	65.077	1.8	0.638	1.163	1.330	3D	0	0	1834.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0.0000	0.0000	0.0000
69	09-35:00.000 06/08/2019	552918.000	38.00155990	23.67526530	99.199	65.062	1.8	0.648	1.179	1.340	3D	0	0	1835.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0.0000	0.0000	0.0000
70	09-35:01.000 06/08/2019	552919.000	38.00155990	23.67526530	99.187	65.049	1.8	0.657	1.194	1.360	3D	0	0	1836.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0.0000	0.0000	0.0000
71	09-35:02.000 06/08/2019	552920.000	38.00156000	23.67526540	99.166	65.029	1.8	0.666	1.208	1.380	3D	0	0	1837.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0.0000	0.0000	0.0000
72	09-35:03.000 06/08/2019	552921.000	38.00156000	23.67526540	99.145	65.007	1.8	0.675	1.223	1.400	3D	0	0	1838.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0.0000	0.0000	0.0000
73	09-35:04.000 06/08/2019	552922.000	38.00156000	23.67526550	99.135	64.997	1.8	0.683	1.236	1.410	3D	0	0	1839.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0.0000	0.0000	0.0000
74	09-35:05.000 06/08/2019	552923.000	38.00156000	23.67526560	99.117	64.980	1.8	0.691	1.249	1.430	3D	0	0	1840.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0.0000	0.0000	0.0000
75	09-35:06.000 06/08/2019	552924.000	38.00156000	23.67526560	99.102	64.965	1.8	0.699	1.262	1.440	3D	0	0	1841.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0.0000	0.0000	0.0000
76	09-35:07.000 06/08/2019	552925.000	38.00156010	23.67526570	99.094	64.957	1.8	0.707	1.275	1.460	3D	0	0	1842.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0.0000	0.0000	0.0000
77	09-35:08.000 06/08/2019	552926.000	38.00156010	23.67526570	99.076	64.939	1.8	0.715	1.288	1.470	3D	0	0	1843.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0.0000	0.0000	0.0000
78	09-35:09.000 06/08/2019	552927.000	38.00156010	23.67526580	99.063	64.925	1.8	0.722	1.300	1.490	3D	0	0	1844.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0.0000	0.0000	0.0000
79	09-35:10.000 06/08/2019	552928.000	38.00156020	23.67526590	99.051	64.914	1.8	0.729	1.312	1.500	3D	0	0	1845.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0.0000		

### 5.2.3 Η υλοποίηση του Πλήρους Τεστ για το u-blox C94-M8P

Όπως περιγράφηκε αναλυτικά στη περιγραφή του Προτύπου ISO 17123-8 παραπάνω, το Πλήρες τεστ υλοποιείται σε 3 βασικά στάδια.

- 1) Έλεγχος χονδροειδών σφαλμάτων κατά τη μέθοδο του απλοποιημένου τεστ.  
Επανάληψη παρατηρήσεων μέχρι να έχουμε 3 σετ απαλλαγμένα από τυχόν τέτοια σφάλματα.
- 2) Υπολογισμός πειραματικών τυπικών αποκλίσεων του εξοπλισμού.
- 3) Στατιστικοί έλεγχοι.

Εφόσον 3 σειρές μετρήσεων περάσανε τον έλεγχο χονδροειδών και συστηματικών σφαλμάτων του Απλοποιημένου Τεστ, μπορούσε πραγματοποιηθεί ο υπολογισμός των πειραματικών a-posteriori τυπικών αποκλίσεων για το u-blox C94-M8P. Αυτός περιλάμβανε:

- 1) Τον υπολογισμό των υπολοίπων της κάθε συνιστώσας, κάθε παρατήρησης, για κάθε σημείο σε σχέση με τη μέση τιμή της συνιστώσας από το σύνολο των 15 παρατηρήσεων.

$$r_{x_{i,j,k}} = \overline{x_{T_k}} - x_{i,j,k} \quad (42)$$

$$r_{y_{i,j,k}} = \overline{y_{T_k}} - y_{i,j,k} \quad (43)$$

$$r_{h_{i,j,k}} = \overline{h_{T_k}} - h_{i,j,k} \quad (44)$$

- 2) Τον υπολογισμό του αθροίσματος των τετραγώνων των υπολοίπων για κάθε συνιστώσα, ανεξαρτήτως σημείου.

$$\sum r_x^2 = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^5 \sum_{T_k=1}^2 r_{x_{i,j,k}}^2 \quad (45)$$

$$\sum r_y^2 = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^5 \sum_{T_k=1}^2 r_{y_{i,j,k}}^2 \quad (46)$$

$$\sum r_h^2 = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^5 \sum_{T_k=1}^2 r_{h_{i,j,k}}^2 \quad (47)$$

- 3) Την εκτίμηση πειραματικών τιμών τυπικών αποκλίσεων για συνδυασμό Σειρών μετρήσεων. Υπολογίστηκαν 4 ζεύγη τιμών για τις σειρές 1,2,3 χωριστά και για το σύνολο των σειρών, σύμφωνα με του τύπους:

$$s_x = \sqrt{\frac{\sum r_x^2}{v}} \quad (48)$$

$$s_y = \sqrt{\frac{\sum r_y^2}{v}} \quad (49)$$

$$s_h = \sqrt{\frac{\sum r_h^2}{v}} \quad (50)^7$$

<sup>7</sup> Καθώς  $v = (\text{πλήθος παρατηρήσεων} - 1) * 2$ , οι βαθμοί ελευθερίας  $v$ , είναι 28 για τους υπολογισμούς για όλες τις σειρές, ενώ για τους υπολογισμούς ανά σειρά, είναι 8.

$$S_{ISORTK_{xy}} = \sqrt{s_x^2 + s_y^2} \quad (51)$$

$$S_{ISORTK_h} = s_h \quad (52)$$

Στον Πίνακα 31 που ακολουθεί αποτυπώνονται τα αποτελέσματα των υπολογισμών για το Πλήρες Τεστ.

Πίνακας 30 - Πλήρες Τεστ . Υπολογισμοί πειραματικών τυπικών αποκλίσεων για το u-blox C94-M8P.

Πλήρες Τεστ - Υπολογισμοί							
	Μέσες τιμές U-blox	T1			T2		
		$\hat{x}$	$\hat{y}$	$\hat{h}$	$\hat{x}$	$\hat{y}$	$\hat{h}$
		471340.291	4205750.814	69.315	471331.275	4205743.193	69.338
	Static Topcon	471340.289	4205750.805	69.305	471331.275	4205743.188	69.336
	Διαφορά	0.002	0.009	0.010	0.000	0.005	0.002
		Υπόλοιπα T1			Υπόλοιπα T2		
	σετ	rx	ry	rh	rx	ry	rh
1η σειρά	1.1	-0.003	0.001	0.002	-0.003	0.001	-0.002
	1.2	-0.003	0.002	-0.001	-0.002	-0.005	-0.009
	1.3	-0.002	0.008	-0.007	-0.007	0.003	-0.006
	1.4	-0.002	0.009	0.002	-0.002	0.002	-0.003
	1.5	-0.011	-0.037	-0.018	-0.002	0.000	0.005
2η σειρά	2.1	0.003	-0.001	0.011	-0.001	-0.004	0.006
	2.2	0.005	-0.001	0.010	0.003	-0.007	0.006
	2.3	0.002	-0.005	-0.014	0.004	-0.002	0.001
	2.4	-0.001	-0.001	-0.003	0.000	0.003	-0.007
	2.5	-0.001	0.007	-0.009	-0.002	-0.002	0.000
3η σειρά	3.1	0.002	0.003	-0.001	-0.002	0.003	-0.004
	3.2	0.002	0.008	0.016	0.001	0.003	0.008
	3.3	0.004	0.002	0.006	0.000	0.003	0.003
	3.4	0.004	0.001	0.004	0.005	0.000	0.003
	3.5	0.001	0.006	0.000	0.007	0.003	-0.002
σειρές	$\Sigma rx^2$	$\Sigma ry^2$	$\Sigma rz^2$	sx	sy	sxy_ISO	sh_ISO
1,2,3	0.00041	0.00188	0.00160	0.00384	0.00820	<b>0.009</b>	<b>0.008</b>
1	0.00021	0.00159	0.00054	0.00508	0.01409	<b>0.015</b>	<b>0.008</b>
2	0.00008	0.00015	0.00065	0.00308	0.00429	<b>0.005</b>	<b>0.009</b>
3	0.00013	0.00020	0.00049	0.00410	0.00495	<b>0.006</b>	<b>0.008</b>

Παρατηρείται ότι οι τυπικές αποκλίσεις έχουν επηρεαστεί από τις παρατηρήσεις των σετ 1.5 και 2.3, όπως σχολιάστηκε παραπάνω, αμβλύνοντας τις επί μέρους τυπικές αποκλίσεις που συμμετέχουν, για οριζοντιογραφική και κατακόρυφη θέση, αντίστοιχα.

#### 5.2.4 Στατιστικοί έλεγχοι του Πλήρους Τεστ

Όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3, οι στατιστικοί έλεγχοι κατά ISO υλοποιούνται για να την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, μέσω των πειραματικών τυπικών αποκλίσεων που προκύπτουν από τους υπολογισμούς του Πλήρους Τεστ και των βαθμών ελευθερίας των συστημάτων. Στους ελέγχους που χρησιμοποιούνται οι τυπικές αποκλίσεις που προέκυψαν από όλες τις Σειρές μετρήσεων, οι βαθμοί ελευθερίας είναι  $\nu_x = \nu_y = \nu_h = 28$ . Στους ελέγχους που χρησιμοποιούνται οι τυπικές αποκλίσεις που προέκυψαν από μια Σειρά μετρήσεων, οι βαθμοί ελευθερίας είναι  $\nu_x = \nu_y = \nu_h = 8$ . Στη συνέχεια απαντήθηκαν τα ερωτήματα που αφορούν τους στατιστικούς ελέγχους.

**Ερώτημα α)** Η υπολογισμένη πειραματική τυπική απόκλιση  $S_{ISORTK_{xy}}$  είναι ίση ή μικρότερη της τυπικής απόκλισης  $s_{xy}$ ; Η τιμή  $s_{xy}$  μπορεί να αφορά είτε αυτή που δίνει ο κατασκευαστής των δεκτών (a-priori), είτε τιμή που προέκυψε από άλλη πειραματική διαδικασία (a-posteriori).

Η μηδενική υπόθεση γίνεται αποδεκτή αν πληρείται η παρακάτω συνθήκη από τις ανισότητες που διέπουν τα στατιστικά τεστ για την κατανομή  $\chi^2$ . Για επίπεδο εμπιστοσύνης  $1-\alpha=0.95$ , ισχύει για την οριζοντιογραφία:

$$S_{ISORTK_{xy}} \leq \sigma_{xy} \sqrt{\frac{\chi_{0.95}^2(\nu_x + \nu_y)}{\nu_x + \nu_y}} \quad (53)$$

Το πρότυπο προτείνει τον έλεγχο για τις τυπικές αποκλίσεις που συμμετέχουν όλες οι παρατηρήσεις (δηλαδή από το σύνολο των Σειρών), αλλά για λόγους περαιτέρω ελέγχων, ελέγχθηκαν και οι επί μέρους τυπικές αποκλίσεις, ώστε να βγουν στατιστικά στοιχεία για την κάθε Σειρά ξεχωριστά.

Για τις τυπικές αποκλίσεις που συμμετέχουν 3 Σειρές μετρήσεων, οι βαθμοί ελευθερίας είναι  $\nu_x = \nu_y = \nu_h = 28$ ,  $\chi_{0.95}^2(56) = 74,47$  [25], η ανισότητα για την αποδοχή της μηδενικής υπόθεσης γίνεται

$$S_{ISORTK_{xy}} \leq \sigma_{xy} * 1.15 \quad (54)$$

Για τις τυπικές αποκλίσεις που συμμετέχει μία Σειρά μετρήσεων, οι βαθμοί ελευθερίας είναι  $\nu_x = \nu_y = \nu_h = 8$ ,  $\chi_{0.95}^2(16) = 26,30$  [25], η ανισότητα για την αποδοχή της μηδενικής υπόθεσης γίνεται:

$$S_{ISORTK_{xy}} \leq \sigma_{xy} * 1.28 \quad (57)$$

**Ερώτημα β)** Αντιστοίχως, για την υψομετρία, η μηδενική υπόθεση γίνεται αποδεκτή αν πληρείται η παρακάτω συνθήκη από τις ανισότητες που διέπουν τα στατιστικά τεστ για την κατανομή  $\chi^2$ .

$$S_{ISORTK_h} \leq \sigma_h \sqrt{\frac{\chi_{0.95}^2(v_h)}{v_h}} \quad (55)$$

Για τις τυπικές αποκλίσεις που συμμετέχουν 3 σειρές μετρήσεων, οι βαθμοί ελευθερίας είναι  $v_x = v_y = v_h = 28$ ,  $\chi_{0.95}^2(28) = 41.34$  [25], η ανισότητα για την αποδοχή της μηδενικής υπόθεσης γίνεται

$$S_{ISORTK_h} \leq \sigma_h * 1.22 \quad (56)$$

Για τις τυπικές αποκλίσεις που συμμετέχει μία σειρά μετρήσεων, οι βαθμοί ελευθερίας είναι  $v_x = v_y = v_h = 8$ ,  $\chi_{0.95}^2(8) = 15,51$  [25], η ανισότητα για την αποδοχή της μηδενικής υπόθεσης γίνεται:

$$S_{ISORTK_h} \leq \sigma_h * 1.39 \quad (58)$$

Πίνακας 31 - Πλήρες Τεστ – Έλεγχος Κατανομής  $\chi^2$ .

<b>Έλεγχος Κατανομής <math>\chi^2</math> (1-<math>\alpha</math>=0.95)</b>				
		<b>Ερώτημα α:</b>		<b>Ερώτημα β:</b>
		Για $v=56$ , $s_{xy\_ISO} \leq s_{xy} * 1.15$		Για $v= 28$ , $sh\_ISO \leq sh * 1.22$
		Για $v=16$ , $s_{xy\_ISO} \leq s_{xy} * 1.28$		Για $v= 8$ , $sh\_ISO \leq sh * 1.39$
ΓΙΑ A-PRIORI $s_{xy} = 0.030$ , $sh = 0.060$				
	<b>sxy_ISO</b>		<b>sh_ISO</b>	
σειρές 1,2,3	<b>0.009</b>	μηδενική υπόθεση	<b>0.008</b>	μηδενική υπόθεση
σειρά 1	<b>0.015</b>	μηδενική υπόθεση	<b>0.008</b>	μηδενική υπόθεση
σειρά 2	<b>0.005</b>	μηδενική υπόθεση	<b>0.009</b>	μηδενική υπόθεση
σειρά 3	<b>0.006</b>	μηδενική υπόθεση	<b>0.008</b>	μηδενική υπόθεση
ΓΙΑ A-POSTERIORI $s_{xy\_ISO} = 0.009$ , $sh\_ISO = 0.008$				
	<b>sxy_ISO</b>		<b>sh_ISO</b>	
σειρές 1,2,3				
σειρά 1	<b>0.015</b>	εναλλακτική υπόθεση	<b>0.008</b>	μηδενική υπόθεση
σειρά 2	<b>0.005</b>	μηδενική υπόθεση	<b>0.009</b>	μηδενική υπόθεση
σειρά 3	<b>0.006</b>	μηδενική υπόθεση	<b>0.008</b>	μηδενική υπόθεση

Οι υπολογισμοί στον παραπάνω Πίνακα αποτυπώνουν ότι οι υπολογισμένες τυπικές αποκλίσεις είναι ίσες ή μικρότερες από αυτές που δίνει ο κατασκευαστής (a-priori), για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, ικανοποιώντας την ανισότητα της μηδενικής υπόθεσης, για κάθε περίπτωση.

Για τον έλεγχο μεταξύ των a-posteriori τυπικών αποκλίσεων, όπου ως αληθής τιμή λαμβάνεται η υπολογισμένη τυπική απόκλιση για το σύνολο των παρατηρήσεων, προκύπτει αναμενόμενα εκτός ορίου, για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% η τυπική απόκλιση που αφορά στην σειρά 1.

**Ερώτημα γ)** Δύο διαφορετικές υπολογισμένες πειραματικές τυπικές αποκλίσεις μιας οριζοντιογραφικής θέσης, που προκύπτουν από διαφορετικά δείγματα μετρήσεων, ανήκουν στον ίδιο πληθυσμό;

Κατά το Πρότυπο, προκειμένου να γίνει σύγκριση 2 διαφορετικών δειγμάτων, θα πρέπει να ικανοποιείται η μηδενική υπόθεση ότι οι τυπικές αποκλίσεις τους είναι ίσες. Αυτή θα ικανοποιείται όταν:

$$\frac{1}{F_1 - \frac{a}{2} (\bar{v}_x + \bar{v}_y, v_x + v_y)} \leq \frac{S_{ISORTK_{xy}}^2}{S_{ISORTK_{xy}}^2} \leq F_1 - \frac{a}{2} (v_x + v_y, \bar{v}_x + \bar{v}_y)$$

Καθώς  $F_{0,975}(56,56) = 1.70$  [25], η ανισότητα για την αποδοχή της μηδενικής υπόθεσης γίνεται:

$$0.59 \leq \frac{S_{ISORTK_{xy}}^2}{S_{ISORTK_{xy}}^2} \leq 1.70$$

**Ερώτημα δ)** Δύο διαφορετικές υπολογισμένες πειραματικές τυπικές αποκλίσεις μιας κατακόρυφης θέσης, που προκύπτουν από διαφορετικά δείγματα μετρήσεων, ανήκουν στον ίδιο πληθυσμό;

Όπως και στο ερώτημα γ, εξετάζονται τα 2 δείγματα ως προς τις τυπικές τους αποκλίσεις που αφορούν αυτή τη φορά τις κατακόρυφες θέσεις. Η μηδενική υπόθεση ικανοποιείται όταν:

$$\frac{1}{F_1 - \frac{a}{2} (\bar{v}_h + v_h)} \leq \frac{S_{ISORTK_h}^2}{S_{ISORTK_h}^2} \leq F_1 - \frac{a}{2} (v_h, \bar{v}_h)$$

Καθώς  $F_{0,975}(28,28) = 2.13$  [25], η ανισότητα για την αποδοχή της μηδενικής υπόθεσης γίνεται

$$0.47 \leq \frac{S_{ISORTK_h}^2}{S_{ISORTK_h}^2} \leq 2.13$$

Στην περίπτωση που δεν ικανοποιείται η μηδενική υπόθεση, γίνεται δεκτή η εναλλακτική υπόθεση.



Για τα ερωτήματα γ και δ, θα πρέπει τα δύο δείγματα να έχουν τον ίδιο βαθμό ελευθερίας, οπότε ο έλεγχος έγινε μεταξύ των σειρών, με όλους τους πιθανούς συνδυασμούς. Οι υπολογισμοί παρατίθενται στον Πίνακα 32.

Πίνακας 32 - Πλήρες Τεστ - Έλεγχος Κατανομής F

<b>Έλεγχος Κατανομής F</b>				
Για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%				
Ερωτήματα c,d: εάν τα δύο δείγματα ανήκουν στον ίδιο πληθυσμό				
<b>ΓΙΑ s<sub>xy</sub></b>				
Οριζοντιογραφικά (ερώτημα γ)	0.59<	σειρά 1/σειρά2	2.83	<1.7
		σειρά1/σειρά 3	2.33	
		σειρά 2/σειρά3	0.82	
<b>ΓΙΑ s<sub>h</sub></b>				
Κατακόρυφα (ερώτημα δ)	0.47<	σειρά 1/σειρά2	0.91	<2.13
		σειρά1/σειρά 3	1.04	
		σειρά 2/σειρά3	1.15	

Παρατηρείται ότι η αστοχία του σετ 1.5 αντικατοπτρίζεται και στον Έλεγχο Κατανομής F, καθώς δεν ικανοποιείται η ανισότητα της μηδενικής υπόθεσης του ερωτήματος γ, όπου συμμετέχει η τυπική απόκλιση της σειράς 1.

Προκύπτει, αναμενόμενα, ότι το δείγμα της σειράς 1 δεν ανήκει οριζοντιογραφικά στον ίδιο πληθυσμό με τις άλλες 2 σειρές μετρήσεων. Για όλους τους υπόλοιπους συνδυασμούς δειγμάτων για τα ερωτήματα γ και δ, ικανοποιούνται οι ανισότητες των μηδενικών υποθέσεων, αρά για αυτούς τους συνδυασμούς τα δείγματα ανήκουν στον ίδιο πληθυσμό.

### 5.2.5 Έλεγχος σφαλμάτων a-posteriori

Καθώς ολοκληρώθηκε ο έλεγχος κατά ISO 17123-8 αποδείχθηκε πειραματικά ότι η a-priori τυπική απόκλιση που δίνεται από τον κατασκευαστή του u-blox C94-M8P επαληθεύτηκε εύκολα. Θεωρήθηκε ότι για καλύτερη εποπτεία των μετρήσεων κατά ISO, έπρεπε να ξαναυλοποιηθεί ο αρχικός έλεγχος χονδροειδών σφαλμάτων (συστηματικά σφάλματα αποδείχθηκε ήδη ότι δεν επηρέαζαν τις μετρήσεις), αυτή τη φορά θεωρώντας ως τυπική απόκλιση αναφοράς, αυτή που προέκυψε από το Πλήρες τεστ.

Πίνακας 33 - Πλήρες Τεστ. Έλεγχος a-posteriori σφαλμάτων.

Πλήρες Τεστ - Έλεγχος σφαλμάτων (a-posteriori)		
DRMS= 1.20 CEP s_xy_CEP (a-priori) 0.025	s_xy_DRMS 0.009	s_h (2*s_xy_DRMS) 0.008
	Έλεγχος χονδροειδών σφαλμάτων $ \epsilon D  \leq 2.5 \cdot \sqrt{2} \cdot s_{xy}$ 0.032	$ \epsilon h  \leq 2.5 \cdot \sqrt{2} \cdot s_h$ 0.027

Ανατρέχοντας στον πίνακα που παρουσιάστηκαν οι αποκλίσεις των συνιστωσών των διανυσμάτων από κάθε σετ (Πίνακας 27 παραπάνω), δεν υπάρχουν αποκλίσεις που να είναι μεγαλύτερες από 0.032 στο οριζόντιο και 0.027 στο κατακόρυφο επίπεδο. Συμπερασματικά, όλες οι συνιστώσες των διανυσμάτων ικανοποιούν τον έλεγχο χονδροειδών σφαλμάτων βάσει των a-posteriori τυπικών αποκλίσεων.

### 5.2.6 Σύγκριση δεδομένων προερχόμενων από το μήνυμα υψηλής ακρίβειας

Όπως αναφέρθηκε στη παράγραφο 5.1 παραπάνω, κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας των αρχείων καταγραφής, παρατηρήθηκε, ότι ενώ οι δέκτες ήταν ρυθμισμένοι για καταγραφή μηνύματος High Precision, το οποίο σύμφωνα με τον κατασκευαστή και την περιγραφή του πρωτοκόλλου UBX αφορά σε ακρίβεια χιλιοστού, το αρχείο κατέγραψε το γεωγραφικό πλάτος και γεωγραφικό μήκος με 7 ψηφία μετά την υποδιαστολή, κάτι που σημαίνει ανάλυση 11mm, λόγω bug στην έκδοση του λογισμικού u-center 19.01 που χρησιμοποιήθηκε, που αναγνωρίστηκε και διορθώθηκε στην έκδοση 19.03. Ο δέκτης όμως, ήταν ρυθμισμένος, όπως αναφέρθηκε και στη παράγραφο 2.5.5 παραπάνω, να καταγράφει και το μήνυμα UBX-NAV-RELPOSNED του πρωτοκόλλου UBX.

Σύμφωνα με το εγχειρίδιο καθορισμού του πρωτοκόλλου [23], καταγράφεται το διάνυσμα σχετικής θέσης NED, που αναφέρεται στο τοπικό σύστημα που ορίζεται από το διάνυσμα μεταξύ του base και του rover σε πραγματικό χρόνο, μαζί με τις εσωτερικές του ακρίβειες. Παρότι στην περιγραφή του εγχειριδίου περιγράφεται ότι οι συνιστώσες του διανύσματος (Northing, Easting, Down) δίνονται με ανάλυση cm, στο εξαγώγιμο αρχείο της καταγραφής έχουν δοθεί με ανάλυση δέκατου του χιλιοστού. Θεωρήθηκε λοιπόν χρήσιμο, να γίνει σύγκριση των διανυσμάτων T1-T2 που προκύπτουν από τις σχετικές θέσεις των T1, T2 με αναφορά το T3, με αυτά που προέκυψαν από τις απόλυτες θέσεις που καταγράφηκαν με Standard Precision. Η σύγκριση αποτυπώνεται στον Πίνακα 34 και δείχνει σε όλες τις περιπτώσεις πολύ μικρές διαφορές.

Πίνακας 34 - Σύγκριση συνιστωσών διάνυσματος αναφοράς ISO (T1-T2) από δύο μηνύματα καταγραφής διαφορετικής ακρίβειας.

Διάνυσμα αναφοράς ISO (T1-T2)							
σειτ	από μήνυμα POSLLH		από μήνυμα RELPOS		Διαφορές		
	Dij	Δhij	Dij	Δhij	Dij(abs) - Dij(rel)	Δhij(abs) - Δhij(rel)	
1η σειρά	1.1	11.8055	-0.0273	11.8067	-0.0271	<b>-0.0012</b>	<b>-0.0002</b>
	1.2	11.8021	-0.0312	11.8069	-0.0312	<b>-0.0049</b>	<b>0.0000</b>
	1.3	11.7985	-0.0216	11.8041	-0.0216	<b>-0.0056</b>	<b>-0.0001</b>
	1.4	11.8016	-0.0279	11.8056	-0.0277	<b>-0.0040</b>	<b>-0.0002</b>
	1.5	11.8366	-0.0001	11.8406	0.0036	<b>-0.0040</b>	<b>-0.0036</b>
2η σειρά	2.1	11.8009	-0.0284	11.8067	-0.0282	<b>-0.0058</b>	<b>-0.0001</b>
	2.2	11.8003	-0.0271	11.8045	-0.0271	<b>-0.0042</b>	<b>0.0000</b>
	2.3	11.8089	-0.0080	11.8118	-0.0079	<b>-0.0029</b>	<b>-0.0001</b>
	2.4	11.8094	-0.0279	11.8114	-0.0278	<b>-0.0020</b>	<b>-0.0001</b>
	2.5	11.7992	-0.0140	11.8031	-0.0138	<b>-0.0039</b>	<b>-0.0001</b>
3η σειρά	3.1	11.8032	-0.0258	11.8073	-0.0258	<b>-0.0041</b>	<b>0.0000</b>
	3.2	11.8020	-0.0315	11.8092	-0.0315	<b>-0.0073</b>	<b>0.0000</b>
	3.3	11.8036	-0.0252	11.8084	-0.0251	<b>-0.0048</b>	<b>-0.0001</b>
	3.4	11.8066	-0.0243	11.8094	-0.0242	<b>-0.0028</b>	<b>-0.0001</b>
	3.5	11.8090	-0.0252	11.8127	-0.0252	<b>-0.0037</b>	<b>0.0000</b>
<i>Static Topcon</i>		<i>11.8013</i>	<i>-0.0310</i>	<i>11.8013</i>	<i>-0.0310</i>		

Οριζοντιογραφικά, οι διαφορές είναι της τάξης των μερικών χιλιοστών, ενώ κατακόρυφα πρακτικά ταυτίζονται. Υπενθυμίζεται ότι η διαφορά αφορά το οριζόντιο επίπεδο, καθώς κατακόρυφα, η Standard Precision απέδωσε ελλειψοειδή υψόμετρα με ανάλυση χιλιοστού. Σε κάθε περίπτωση, όπως αναμενόταν, η περίσσεια παρατηρήσεων ξεπέρασε σε μεγάλο βαθμό την δυσλειτουργία της καταγραφής, καθώς η στρωγγυλοποίηση στο εκατοστό για το οριζόντιο επίπεδο δεν επηρέασε σημαντικά το αποτέλεσμα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 Συμπεράσματα – Προοπτικές

### 6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο σκοπός των εργασιών ήταν να διερευνηθεί κατά πόσο οι δέκτες GNSS χαμηλού κόστους μπορούν να πετύχουν τοπογραφικές ακρίβειες (survey-grade) και κατά πόσο μπορούν να αξιοποιηθούν σε τοπογραφικές – γεωδαιτικές εφαρμογές. Για τον σκοπό αυτό, αξιοποιήθηκαν οι δέκτες μονής συχνότητας u-blox C94-M8P-3, που διαθέτει το Τμήμα Μηχανικών Τοπογραφίας & Γεωπληροφορικής του ΠΑ.Δ.Α.. Κρίθηκε ότι θα ήταν χρήσιμο να ελεγχθούν σύμφωνα με το πρότυπο ISO 17123-8, που αφορά τον μετρολογικό έλεγχο για εφαρμογές RTK μέσω εύκολων διαδικασιών πεδίου, τόσο για την παρουσία χονδροειδών σφαλμάτων κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, όσο για τον υπολογισμό πειραματικών τυπικών αποκλίσεων και την ανάλυση της στατιστικής συμπεριφοράς των δειγμάτων. Καθώς στο πρότυπο χρησιμοποιούνται πολλαπλά δείγματα, αποτελεί ένα αξιόπιστο κριτήριο ακρίβειας για τον ελεγχόμενο εξοπλισμό και καθορίζει ένα μέτρο ακρίβειας για τη σύγκριση με άλλες μετρητικές διατάξεις, ιδιότητα πολύ χρήσιμη για δέκτες χαμηλού κόστους που η χρήση τους σε γεωδαιτικές - τοπογραφικές εφαρμογές είναι ακόμα περιορισμένη.

Αρχικά, με χρήση εντολών του πρωτοκόλλου UBX της εταιρείας u-blox, ρυθμίστηκαν οι δέκτες για τις ανάγκες υποστήριξης παρατηρήσεων RTK, ως base και rover και δοκιμάστηκαν πολλές φορές ως προς την ορθή λειτουργία τους. Στη συνέχεια, ιδρύθηκε ένα δίκτυο ελέγχου 3 σημείων (T1, T2, T3), ακολουθώντας τις προδιαγραφές του Προτύπου. Τα σημεία T1, T2 προσδιορίστηκαν σε απόσταση μεταξύ 8 και 20 μέτρων και το T3 τοποθετήθηκε σε απόσταση τέτοια, ώστε η βάσεις T3-T1 και T3-T2 να είναι μήκους περίπου 60 μέτρων. Η ίδρυση του δικτύου πραγματοποιήθηκε με χρήση στατικών παρατηρήσεων με γεωδαιτικούς δέκτες GPS ακρίβειας μερικών mm και στη συνέχεια μετρήθηκε το διάνυσμα T1-T2 με χρήση βιομηχανικού γεωδαιτικού σταθμού υψηλής ακρίβειας (sub-mm). Τα 3 ιδρυθέντα σημεία χρησιμοποιήθηκαν στην διαδικασία ελέγχου με τους δέκτες χαμηλού κόστους.

Πριν τη διενέργεια μετρήσεων για τον έλεγχο κατά ISO, οι δέκτες ρυθμίστηκαν ούτως ώστε να παρατηρούν δορυφόρους των συστημάτων GPS και GLONASS. Χρησιμοποιήθηκαν οι κεραιές χαμηλού κόστους, σε συνδυασμό με τα groundplanes αλουμινίου, που περιλαμβάνονται στο evaluation kit των C94-M8P-3. Κατασκευάστηκαν βάσεις αλουμινίου που να υποδέχονται τα groundplanes και κατ' επέκταση τις κεραιές του συστήματος, για την απαλλαγή της διαδικασίας

από σφάλματα που οφείλονται στις μετρητικές διατάξεις και το σύστημα ενσωματώθηκε σε τοπογραφικές διατάξεις μετρήσεων, με χρήση τριπόδων, τριχογλίων και carrier.

Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις με τους δέκτες χαμηλού κόστους σύμφωνα με το πρότυπο ISO 17123-8. Η διαδικασία των μετρήσεων αφορούσε 3 σειρές μετρήσεων, των 5 σετ έκαστη με τη μέθοδο του σχετικού εντοπισμού σε πραγματικό χρόνο. Ο δέκτης base τοποθετήθηκε στο σημείο T3 και εξέπεμπε διορθώσεις προς τον δέκτη rover που τοποθετήθηκε εναλλάξ στα σημεία T1 και T2. Κάθε σετ υλοποιήθηκε στο πεδίο με παρατηρήσεις περίπου 60 εποχών στα T1 και T2. Τα 5 σετ της κάθε σειράς υλοποιούνταν διαδοχικά. Στο πέρας κάθε σειράς μετρήσεων, η επόμενη σειρά, ήτοι τα επόμενα 5 σετ μετρήσεων πραγματοποιούνταν έτσι ώστε η έναρξη της κάθε σειράς, να απέχει 90 λεπτά από την έναρξη της προηγούμενης σειράς. Παρήχθησαν 15 σετ μετρήσεων, και το σύνολο των εποχών τους αποθηκεύτηκαν σε αρχεία με χρήση συνδεδεμένου φορητού υπολογιστή. Σε αρχείο αποθηκεύτηκε επίσης το σύνολο των εποχών του base, με χρήση δεύτερου συνδεδεμένου φορητού υπολογιστή.

Η μετέπειτα επεξεργασία των σετ πραγματοποιήθηκε με τα εξής βήματα:

- 1) Αναπαραγωγή των αποθηκευμένων αρχείων καταγραφής στο περιβάλλον του λογισμικού u-center .
- 2) Δημιουργία πίνακα με εγγραφή μίας σειράς για κάθε εποχή, επιλέγοντας την καταγραφή των παραμέτρων θέσης, εκτίμησης ακρίβειας και κατάστασης δεκτών και παρατηρούμενων δορυφόρων.
- 3) Μεταφορά των εγγραφών σε υπολογιστικό φύλλο μορφότυπου .xlsx.
- 4) Διαλογή των εποχών που αφορούν μετρήσεις όταν οι δέκτες ήταν στατικοί στα σημεία του δικτύου T1, T2.
- 5) Μετασχηματισμός των φ, λ, h WGS84 σε E, N, h ΕΓΣΑ87 με τη χρήση του λογισμικού Heros TT.
- 6) Παραγωγή ενός ζεύγους συντεταγμένων T1, T2 για κάθε σετ. Υπολογισμός των μέσων τιμών για κάθε σημείο και διόρθωση των υψομέτρων ώστε το h να αναφέρεται στο σημείο και όχι στην κεραία.
- 7) Υπολογισμός των συνιστωσών του διανύσματος T1-T2 για κάθε σετ.

Οι μετρήσεις στον δέκτη rover διεξήχθησαν γενικά χωρίς προβλήματα, με τις κάτωθι εξαιρέσεις:

- 1) την αδυναμία λήψης από τον δέκτη rover για 51 εποχές των διορθώσεων του δέκτη base κατά τη διάρκεια του σετ 1.5, γεγονός όμως που βοήθησε στην εξαγωγή σημαντικών συμπερασμάτων.

- 2) Αντίστοιχα, με τον ίδιο τρόπο, κατά τη διάρκεια του σετ 2.3, ο δέκτης rover σταμάτησε να λαμβάνει διορθώσεις στα μισά των παρατηρήσεων του T1, με αδυναμία ανάκτησης σύνδεσης. Σε αυτή την περίπτωση, η προσέγγιση ήταν να απενεργοποιηθεί ο δέκτης και να ενεργοποιηθεί μετά από 4 λεπτά, ώστε να παρατηρηθεί η συμπεριφορά του συστήματος σε ανάλογες περιπτώσεις.

## 6.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι μέσες τιμές των συντεταγμένων σε προβολικό σύστημα (x, y) και ελλειψοειδών υψομέτρων (h) των σημείων T1, T2 για κάθε σετ, αποτελούν τις παρατηρήσεις που χρησιμοποιήθηκαν για τον μετρολογικό έλεγχο του δέκτη C94-M8P-3 κατά το πρότυπο ISO 17123-8.

Ο μετρολογικός έλεγχος πραγματοποιήθηκε με συγκρίσεις των συνιστωσών του διανύσματος T1-T2, με αναφορά τις αντίστοιχες συνιστώσες που προέκυψαν από τις μετρήσεις ίδρυσης του δικτύου, με τη χρήση γεωδαιτικών δεκτών GNSS και βιομηχανικού γεωδαιτικού σταθμού.

Ο πρώτος έλεγχος αφορούσε στο Απλοποιημένο τεστ ISO για κάθε σειρά από τις συνολικά 3 σειρές μετρήσεων, όπου ελέγχθηκαν οι παρατηρήσεις για χονδροειδή και συστηματικά σφάλματα. Ο έλεγχος διεξήχθη με σύγκριση των αποκλίσεων των διανυσμάτων T1-T2 (που προέκυψαν από τις συντεταγμένες του κάθε σετ), σε σχέση με τις τιμές των συνιστωσών αναφοράς. Ως τυπική απόκλιση αναφοράς για τον ορισμό των ορίων απόκλισης από τις τιμές των συνιστωσών του διανύσματος του δικτύου, χρησιμοποιήθηκε η τυπική απόκλιση που προκύπτει από τα στοιχεία του κατασκευαστή, δηλαδή 0.025 + 1ppm CEP οριζοντιογραφικά, ήτοι 0.030 + 1 ppm DRMS. Καθώς ο κατασκευαστής δε δίνει μέτρο ακρίβειας για το κατακόρυφο επίπεδο, θεωρήθηκε ότι η a-πρίοσι κατακόρυφη ακρίβεια είναι μία φορά χειρότερη από αυτή της οριζοντιογραφίας, ήτοι 0.060.

Όλα τα σετ σε όλες τις παρατηρήσεις πέρασαν με επιτυχία το Απλοποιημένο Τεστ. Παρατηρήθηκε πολύ καλή απόδοση του δέκτη, με μικρή διασπορά στα σετ που ανήκουν στην ίδια σειρά. Ο σύντομος χρόνος επίλυσης των ασαφειών φάσης (λύση fixed), από τη στιγμή που ο δέκτης rover έλαβε τα μηνύματα των διορθώσεων του base (περίπου 15 sec), αποδίδεται στο μικρό μήκος βάσης της πειραματικής διάταξης (60m.) και στην προσεκτική επιλογή των σημείων του δικτύου. Επίσης παρατηρήθηκε η τάση, να μικραίνει η απόκλιση των συνιστωσών από την αληθή τιμή, όσο ο δέκτης συνεχίζει να βρίσκεται σε κατάσταση fixed. Δηλαδή παρατηρήθηκε βελτίωση στον προσδιορισμό θέσης όσο διατηρήθηκε συνεχόμενες εποχές ο δέκτης σε κατάσταση fixed.

Στην περίπτωση του σετ 2.3, ο δέκτης rover σταμάτησε να λαμβάνει διορθώσεις κατά τη διάρκεια των παρατηρήσεων του T1. Πραγματοποιήθηκε επανεκκίνηση του δέκτη και οι τιμές των αποκλίσεων που καταγράφηκαν ως προς το διάνυσμα αναφοράς ήταν 0.002m οριζοντιογραφικά και 0.016m κατακόρυφα, επίδοση που θεωρήθηκε ιδιαίτερα καλή.

Ο επόμενος έλεγχος αφορούσε το Πλήρες τεστ ISO. Σε αυτό συμμετείχαν όλα τα σετ (15 σετ) από τις 3 σειρές μετρήσεων του Απλοποιημένου Τεστ και υπολογίστηκαν πειραματικές τυπικές αποκλίσεις για τους δέκτες. Οι τιμή της a-posteriori τυπικής απόκλισης με συμμετοχή όλων των σειρών μετρήσεων υπολογίστηκε 0.009m στο οριζόντιο και 0.008m στο κατακόρυφο επίπεδο, υποδεικνύοντας ότι για τα δεδομένα και τις συνθήκες του διενεργηθέντος ελέγχου, η a-priori τυπική απόκλιση ήταν συντηρητικά δοσμένη και επαληθεύτηκε εύκολα.

Στη συνέχεια του Πλήρους τεστ, πραγματοποιήθηκαν οι στατιστικοί έλεγχοι που προβλέπονται από το πρότυπο. Στο πρώτο μέρος των στατιστικών ελέγχων που αφορούν τη σχέση μεταξύ a-priori και a-posteriori τυπικών αποκλίσεων, υλοποιώντας Έλεγχο Κατανομής  $X^2$ , αποδείχθηκε ότι οι υπολογισμένες τυπικές αποκλίσεις είναι ίσες ή μικρότερες από αυτές που δίνει ο κατασκευαστής (a-priori), για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, ικανοποιώντας την ανισότητα της μηδενικής υπόθεσης των αντίστοιχων ερωτημάτων του ISO, για κάθε περίπτωση. Για καλύτερη εποπτεία των μετρήσεων του τεστ, ο Έλεγχος Κατανομής  $X^2$  επαναλήφθηκε με χρήση των πειραματικών (a-posteriori) τυπικών αποκλίσεων, όπου ανέδειξε μη ικανοποίηση της μηδενικής υπόθεσης μόνο για τη σειρά 1 οριζοντιογραφικά, γεγονός που οφείλεται στην απώλεια λύσης για 51 εποχές κατά τη διάρκεια του σετ 1.5.

Στο δεύτερο μέρος των στατιστικών ελέγχων που αφορούν το εάν τα διαφορετικά δείγματα μετρήσεων που προέκυψαν από κάθε σειρά ανήκουν στον ίδιο πληθυσμό, υλοποιήθηκε Έλεγχος Κατανομής F. Παρατηρήθηκε όπως αναμενόταν, ότι το οριζοντιογραφικό δείγμα της σειράς 1 δεν ανήκει στον ίδιο πληθυσμό με τις άλλες 2 σειρές μετρήσεων. Για όλους τους υπόλοιπους συνδυασμούς δειγμάτων, ικανοποιήθηκαν οι ανισότητες των μηδενικών υποθέσεων του προτύπου, άρα για αυτούς τους συνδυασμούς τα δείγματα ανήκουν στον ίδιο πληθυσμό.

Σε ότι αφορά την σύγκριση των μηνυμάτων συμβατικής και υψηλής ακριβείας, όπως αυτή αποτυπώνεται από τη διαφορά μεταξύ των διανυσμάτων που προκύπτουν με χρήση των απολύτων θέσεων σε σχέση με τη χρήση των σχετικών θέσεων, η περίσσεια παρατηρήσεων ξεπέρασε σε μεγάλο βαθμό την δυσλειτουργία της καταγραφής. Η στρογγυλοποίηση σε cm για το οριζόντιο επίπεδο δεν επηρέασε σημαντικά το αποτέλεσμα και οι διαφορές ήταν της τάξης των μερικών mm και κρίνονται ικανοποιητικές.

Οι τυπικές αποκλίσεις για την πειραματική μετρητική διάταξη υπολογίστηκαν σε επίπεδο cm. Η απόφαση για μετρολογικό έλεγχο κατά ISO κρίνεται ορθή, καθώς τα στατιστικά τεστ που προτείνονται ανέδειξαν το πρόβλημα απώλειας σύνδεσης με τον δέκτη αναφοράς στο σετ 1.5, αφού τόσο κατά τον έλεγχο Κατανομής  $X^2$ , όσο και κατά τον έλεγχο Κατανομής F δεν ικανοποιήθηκε η μηδενική υπόθεση για τα δείγματα που συμμετείχε το σετ 1.5.

Τα αποτελέσματα του μετρολογικού ελέγχου κρίνονται ικανοποιητικά, καθώς μέσω αυτού η απόδοση των δεκτών χαμηλού κόστους είναι άμεσα συγκρίσιμη με αντίστοιχους ελέγχους για γεωδαιτικούς δέκτες (πχ. [29]). Η εργασία ανέδειξε ότι οι δέκτες μπορούν να πραγματοποιήσουν εργασίες κινηματικού εντοπισμού σε πραγματικό χρόνο. Αποδείχθηκε ότι με κατάλληλες για γεωδαιτικές εφαρμογές διατάξεις, σε μικρά μήκη βάσεων και καλές συνθήκες παρατήρησης, οι δέκτες χαμηλού κόστους μπορούν να αποδώσουν με «τοπογραφική ακρίβεια».

Η χρήση του συστήματος αποδείχθηκε γενικά αξιόπιστη, καθώς πλην περίπου 50 εποχών, το σύστημα λειτούργησε απρόσκοπτα. Η απώλεια σύνδεσης μεταξύ δεκτών σε εφαρμογές πραγματικού χρόνου, παρατηρείται συχνά και με γεωδαιτικούς δέκτες και σχετίζεται, μεταξύ άλλων, με τις συνθήκες στο περιβάλλον μετρήσεων, την κατάσταση της συνδεσιμότητας των δεκτών και την αρχιτεκτονική του συστήματος.

Με αφορμή την απώλεια σύνδεσης κατά τη διάρκεια των μετρήσεων του τεστ αναλύθηκε το αρχείο καταγραφών του σετ 1.5 (βλ. Παράρτημα), όπου καταγράφεται πληροφορία σχετικά με την εκτίμηση ακρίβειας θέσης (παράμετρος PACS [23]) σε πραγματικό χρόνο. Η πληροφορία αυτή κρίνεται μη αξιόπιστη και είναι κατά κύριο λόγο ονομαστική, καθώς δεν φαίνεται να ανταποκρίνεται στην ακρίβεια θέσης της εποχής που αντιστοιχεί. Αυτό σημαίνει ότι στην περίπτωση μετρήσεων με αυτούς τους δέκτες με τη μέθοδο RTK, απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή στις εποχές αμέσως μετά την απώλεια και ανάκτηση λύσης fixed. Εφαρμογές με GNSS σε ένα δυναμικό περιβάλλον, όπως είναι οι τοπογραφικές – γεωδαιτικές εφαρμογές απαιτούν από τους δέκτες εκτός από εσωτερική και αξιοπιστία λύσης.

### 6.3 ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

Σε ότι αφορά τα πακέτα GNSS χαμηλού κόστους, θα πρέπει να αντιμετωπιστεί το ζήτημα της άγνωστης συμπεριφοράς της κεραίας. Έχει αποδειχθεί, ότι οι δέκτες χαμηλού κόστους σε συνδυασμό με γεωδαιτικές βαθμονομημένες κεραίες, έχουν απόδοση παρόμοια με τους αντίστοιχους γεωδαιτικούς δέκτες μίας συχνότητας. [30]. Καθώς όμως η χρήση γεωδαιτικής κεραίας αυξάνει θεαματικά το κόστος, ακόμα και στη περίπτωση OEM κεραίας, θεμιτό είναι να



διερευνηθεί, έστω και με μεθόδους σχετικής βαθμονόμησης, η συμπεριφορά των κεραιών χαμηλού κόστους, δηλαδή αυτών που κοστίζουν μερικές δεκάδες ευρώ.

Αυτή η εργασία βασίστηκε στην πεποίθηση ότι η χρήση του GNSS για τοπογραφικές – γεωδαιτικές εφαρμογές μπορεί και πρέπει να γίνει πιο προσιτή στο μέλλον. Βασικός προβληματισμός είναι εάν μπορεί κανείς να μειώσει το κόστος λειτουργίας ενός συστήματος GNSS χωρίς να μειώσει την ποιότητα. Σε αυτό το πλαίσιο, υπάρχουν πολλοί τρόποι να γίνει πιο αποδοτική η εργασία.

Ένας τρόπος μείωσης του κόστους λειτουργίας για τα συστήματα GNSS γενικά, είναι η χρήση δικτυακών σταθμών αναφοράς συνεχούς λειτουργίας (CORS). Σε αυτή τη περίπτωση, το κόστος για αγορά δέκτη GNSS για χρήση ως δέκτης αναφοράς μπορεί να αποφευχθεί. Στις περισσότερες χώρες που λειτουργούν συστήματα CORS, υπάρχει κόστος συνδρομής για τις διαφορικές/σχετικές τεχνικές, ήδη όμως λειτουργούν από οργανισμούς και εκπαιδευτικά ιδρύματα, κυρίως στις ΗΠΑ, ελεύθερα δίκτυα. Σε κάθε περίπτωση, το ετήσιο κόστος συνδρομής είναι πολλαπλάσια χαμηλότερο από την αγορά ενός ακόμα δέκτη, τουλάχιστον στην περίπτωση των γεωδαιτικών δεκτών. Πρακτικά λοιπόν, το κόστος μειώνεται σχεδόν όσο κοστίζει ένας ακόμα δέκτης.

Ένας εναλλακτικός τρόπος μείωσης του κόστους λειτουργίας για τα συστήματα GNSS είναι η χρήση μετρητικών διατάξεων χαμηλού κόστους. Υπάρχει πληθώρα δεκτών χαμηλού κόστους στην αγορά που παρατηρούν φάσεις (μονής ή και διπλής συχνότητας) και προσφέρονται για εφαρμογές υψηλής ακρίβειας. Επίσης σε κάποιες περιπτώσεις προσφέρονται ως πακέτο (σε συνδυασμό με κεραιές OEM) σε διατάξεις που πληρούν και πρότυπα αντοχής, δηλαδή μέσα σε κατάλληλα περιβλήματα για καθημερινή χρήση.

Στον παρακάτω πίνακα δίνεται μία σύγκριση μεταξύ 3 διαφορετικών λύσεων που υποστηρίζουν την μέθοδο RTK. Η πρώτη αφορά ένα ζευγάρι γεωδαιτικών δεκτών, με έτος πρώτης κυκλοφορίας το 2006 (Leica 1200 series). Η δεύτερη, έναν γεωδαιτικό δέκτη με δυνατότητα σύνδεσης σε δίκτυο σταθμών αναφοράς (CORS), με έτος πρώτης κυκλοφορίας το 2012 (Leica GS08+). Η τρίτη, ένα ζευγάρι δεκτών χαμηλού κόστους, με έτος πρώτης κυκλοφορίας το 2016 (u-blox C94-M8P).

Πίνακας 35 - Συγκριτικά χαρακτηριστικά δεκτών GNSS.

Εξοπλισμός	Ακρίβεια κατασκευαστή <sup>8</sup>	Τύπος	RTK ρυθμός ανανέωσης	Έτος πρώτης κυκλοφορίας	Τιμή πρώτης αγοράς
1 <sup>η</sup> λύση Γεωδαιτικοί GNSS δέκτες (ζεύγος) <i>Leica 1200 series</i>	Static Hr: 5mm+/-0.5ppm Static Vr: 10mm+0.5ppm Kinematic Hr: 10mm+1ppm Kinematic Vr: 20mm+1ppm	Διπλής συχνότητας 72 κανάλια GPS L1/L2 GLONASS L1/L2 SBAS	έως 20Hz	2006	20000€
2 <sup>η</sup> λύση Γεωδαιτικός GNSS δέκτης (με σύνδεση σε CORS) <i>Leica GS08+</i>	Static Hr: 5mm+/-0.5ppm Static Vr: 10mm+0.5ppm Kinematic Hr: 10mm+1ppm Kinematic Vr: 20mm+1ppm	Διπλής συχνότητας 120 κανάλια GPS: L1, L2, L2C (C/A, P, C Code) GLONASS: L1, L2 (C/A, P narrow Code) SBAS	έως 5Hz	2012	10000€
3 <sup>η</sup> λύση GNSS low- cost (ζεύγος) <i>u-blox C94-M8P evaluation kit</i>	Kinematic: 25mm + 1 ppm CEP (baseline up to 10km)	Μονής συχνότητας 72 κανάλια GPS L1C/A, GLONASS L1OF, BeiDou B1I	έως 8 Hz για GPS έως 5Hz για Multi- GNSS	2016	350€

Σύμφωνα με τον Πίνακα 35, παρατηρείται μία τάση μείωσης του κόστους τα τελευταία χρόνια σε προϊόντα GNSS υψηλής ακρίβειας που έχουν παρόμοιες αποδόσεις. Τις προηγούμενες δύο δεκαετίες οι κατασκευαστές δεκτών και δικτύων GNSS έριξαν το βάρος στην ανάπτυξη συστημάτων που θα επωφελούνται τόσο από την παύση της επιλεκτικής διαθεσιμότητας, όσο και από την ταυτόχρονη θέαση δορυφόρων από διαφορετικά παγκόσμια συστήματα αναφοράς. Οι δέκτες έγιναν πιο προσιτοί, πιο ευκολόχρηστοι, πιο μικροί, με χαμηλότερο βάρος.

Η χρήση λύσεων δεκτών χαμηλού κόστους, ήδη σήμερα μπορεί να αφομοιωθεί για τοπογραφικές και γεωδαιτικές εργασίες υψηλής ακρίβειας, όπως παρακολούθηση (monitoring), αποτύπωση τοπογραφικών σημείων, συστήματα πλοήγησης κινούμενων πλατφορμών, Mobile Mapping, με αξιοσημείωτη μείωση του κόστους. Είναι επίσης δυνατός ο συνδυασμός δεκτών GNSS χαμηλού κόστους με τεχνολογίες της Όρασης Υπολογιστών (πχ SLAM) και αδρανειακά συστήματα

<sup>8</sup> Για τις ανάγκες της σύγκρισης, ελήφθησαν τα δεδομένα χαρακτηριστικών των δεκτών που αναφέρονται με πλάγια γράμματα.

πλοήγησης, όπου και εκεί υπάρχουν αντίστοιχα προϊόντα χαμηλού κόστους υψηλής ακριβείας. Επίσης, λόγω του χαμηλού κόστους απόκτησης, προσφέρεται η δυνατότητα εφαρμογών ακριβείας σε αναπτυσσόμενες χώρες.

Στα επόμενα χρόνια, αναμένεται να αναπτυχθούν περισσότερο οι δέκτες GNSS που χρησιμοποιούνται σε συσκευές μαζικής παραγωγής και καθημερινής χρήσης. Περαιτέρω ανάπτυξη των chipset και των κεραιών σε καθημερινές συσκευές, που χρησιμοποιούνται και για άλλους σκοπούς πέραν του προσδιορισμού θέσης (πχ κινητά τηλέφωνα), θα έκαναν το κόστος χρήσης υψηλής ακριβείας δεδομένων GNSS πρακτικά αμελητέο.

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 Ευρετήριο εικόνων και πινάκων**

Εικόνα 1 - Αρχιτεκτονική συστήματος GNSS. Πηγή: (Groves, 2008).....	6
Εικόνα 2 - Η τροχιά ενός δορυφόρου και η διαφορά της απόστασης από ένα σημείο στη Γη σε γωνίες ανύψωσης 0° και 90°.....	6
Εικόνα 3 - Εμβέλεια ενός δορυφόρου GNSS σε ένα 24ώρο. Πηγή: [3].....	7
Εικόνα 4 - Η δομή του σήματος GPS (πριν τον εκμοντερνισμό του συστήματος). Πηγή: Leica Geosystems.....	9
Εικόνα 5 - Η διαμόρφωση των φορέων L1 και L2 του σήματος GPS. Πηγή: Wikimedia Commons.....	10
Εικόνα 6 - Η απόσταση υπολογισμένη από μετρήσεις φάσης.....	14
Εικόνα 7 - Η υπηρεσία SAR. Δεξιά η διαφοροποίηση του GALILEO, σε σχέση με άλλα συστήματα που αναπτύσσουν παρόμοιες υπηρεσίες. Πηγή: [3].....	17
Εικόνα 8 - Κεραία με choke ring. Πηγή: NovAtel.....	24
Εικόνα 9- Οι εξαρτήσεις της Αληθούς Τιμής.....	27
Εικόνα 10 - Εσωλειτουργικός όγκος από τη γεωμετρία των δορυφόρων. Πηγή: [3].....	29
Εικόνα 11 - Η επίδραση της χαμηλής γωνίας ανύψωσης. Οι δορυφόροι SAT1 και SAT4 διασχίζουν μεγαλύτερη απόσταση εντός ατμόσφαιρας.....	29
Εικόνα 12 - Μέτρα ακριβείας για μετρήσεις GNSS. Πηγή: <a href="https://blog.oplopanax.ca/2012/11/calculating-gps-accuracy/">https://blog.oplopanax.ca/2012/11/calculating-gps-accuracy/</a> .....	30
Εικόνα 13 - Σύνοψη αναμενόμενων ακριβειών σε τεχνικές εντοπισμού. Πηγή: [14].....	32
Εικόνα 14 - Απλοποιημένο διάγραμμα ροής ενός δέκτη GNSS σε λειτουργία RTK. Πηγή: [6].....	36
Εικόνα 15 - Σχηματικά σκαριφήματα των συσκευών Leica CS10 και GS15. Πηγή: <a href="http://www.surveyequipment.com/PDFs/Leica_Viva_GS10_GS15_User_Manual.pdf">http://www.surveyequipment.com/PDFs/Leica_Viva_GS10_GS15_User_Manual.pdf</a> .....	47
Εικόνα 16 - Κάτοψη του OEM729 Receiver Board της Novatel. Κεντρικά αριστερά η κεντρική πλακέτα, αριστερά οι διεπαφές με κεραία, δεξιά (μέσω pins) με άλλες συσκευές (πχ bluetooth, PC κλπ) Πηγή: <a href="https://docs.novatel.com/oem7/Content/PDFs/OEM7_Installation_Operation">https://docs.novatel.com/oem7/Content/PDFs/OEM7_Installation_Operation</a> .....	48
Εικόνα 17 - Μια απεικόνιση των όρων mid-range και low-cost από το Πανεπιστήμιο της Μινεσότα. Πηγή: [20].....	50
Εικόνα 18 - Ο δέκτης u-blox που χρησιμοποιήθηκε. Διακρίνεται το κεντρικό chipset του δέκτη ενσωματωμένο στη πλακέτα διεπαφής και οι διασυνδέσεις USB, RS232,UHF, κεραίας GNSS, και οι ενδείξεις LED για την κατάσταση λειτουργίας και λειτουργία RTK. (Πηγή: C94-M8P Application Board Setup Guide).....	54
Εικόνα 19 - Το C94-M8P evaluation kit. Πηγή: <a href="https://www.digikey.com">https://www.digikey.com</a> .....	56
Εικόνα 20 - Το βασικό GUI περιβάλλον του λογισμικού u-center.....	57
Εικόνα 21 - Η διαδικασία survey-in στο περιβάλλον του u-center. Αριστερά: Εν αναμονή της δέσμευσης ελαχίστου χρόνου (flag: 3D Fix. Δεξιά: Ο δέκτης έχει σταθεροποιήσει τη θέση που δίνει και είναι δυνατόν να την εκπέμψει. (flag: TIME).....	58
Εικόνα 22 - Υποστηριζόμενα εισαγόμενα (άνω μέρος εικόνας) και εξαγόμενα μηνύματα (κάτω μέρος εικόνας) του base ενός u-blox MP8 δέκτη. Πηγή: [22]σελ. 377.....	59
Εικόνα 23 - Ο rover σε λειτουργία RTK.....	62
Εικόνα 24 - Ο χώρος στάθμευσης στο νότιο τμήμα της Πανεπιστημιούπολης Ι του Π.Α.Δ.Α (πηγή υποβάθρου: Google Maps).....	74
Εικόνα 25 - Ο γεωδαιτικός δέκτης GPS Topcon HiPer PRO (πηγή: <a href="http://surveyingstation.com">http://surveyingstation.com</a> ).....	75
Εικόνα 26 - Ο ρομποτικός γεωδαιτικός σταθμός Leica TS30 (πηγή: <a href="https://www.precision-geosystems.com">https://www.precision-geosystems.com</a> ).....	76
Εικόνα 27 - Σχεδιαστική τομή των βάσεων u-blox.....	78
Εικόνα 28 - 3D σχεδίαση του πρωτότυπου της βάσης σε περιβάλλον SOLIDWORKS.....	78
Εικόνα 29 - Οι κατασκευασμένες βάσεις αλουμινίου.....	79
Εικόνα 30 - Η γεωμετρία των δορυφορικών σχηματισμών GNSS κατά τη διάρκεια των στατικών μετρήσεων και οι ενδεικτικοί δείκτες DOP, στο περιβάλλον της εφαρμογής GPS Plan.....	80
Εικόνα 31 - Στατικές παρατηρήσεις με τους γεωδαιτικούς δέκτες.....	81

Εικόνα 32 - Οι παρατηρούμενοι δορυφόροι τις εποχές των στατικών μετρήσεων στο περιβάλλον του Topcon Tools. ....	82
Εικόνα 33 - Το διάγραμμα των βάσεων που συμμετείχαν στη λύση, σε περιβάλλον Topcon Tools.. Εκτός οθόνης ο 098A. ....	82
Εικόνα 34 - Μέτρηση απόστασης μεταξύ T1 - T2 με χρήση γεωδαιτικού σταθμού. Οι παρατηρήσεις του γεωδαιτικού σταθμού από το T1 προς το T2 και από το T2 προς το T1, σε δύο θέσεις τηλεσκοπίου αντίστοιχα, απεικονίζονται στον παρακάτω Πίνακα. ....	84
Εικόνα 35 - Η διάταξη των μετρήσεων για το ISO test. ....	85
Εικόνα 36- Οι μετρήσεις μέσα από το map view του u-center ..... 86	86
Εικόνα 37 - Αλόσπασμα από το Table View του u-center για το σετ 1.5. Στην εποχή 552888, δίνει την τιμή 0 στον δείκτη carrier range status. ....	99
Πίνακας 1 - Οι συχνότητες των σημάτων GPS (πριν τον εκμοντερνισμό του συστήματος). ....	8
Πίνακας 2 - Χαρακτηριστικά των εκπεμπόμενων σημάτων GPS. ....	11
Πίνακας 3 - Ονομαστικές ακρίβειες προσδιορισμού θέσης των υπηρεσιών GALILEO. Πηγή: European GNSS Agency. ....	17
Πίνακας 4 - Συσχετισμοί μεταξύ μέτρων ακριβείας. (Πηγή: NovAtel Inc.) ..... 31	31
Πίνακας 5 - Προσεγγιστική διόρθωση σφαλμάτων μέσω τεχνικών DGNSΣ για μετρήσεις κώδικα. ....	34
Πίνακας 6 - Ομάδες μηνυμάτων RTK, σύμφωνα με το πρότυπο RTCM 3.0. Πηγή: [16]..... 39	39
Πίνακας 7 - Το ελλειψοειδές του WGS84..... 42	42
Πίνακας 8 - Οι 7 παράμετροι του ευθέως μετασχηματισμού ομοιότητας του επίσημου μοντέλου. .... 44	44
Πίνακας 9 - Υποστηριζόμενες μορφές διασύνδεσης u-blox σειράς M8..... 55	55
Πίνακας 10 - Βασικά χαρακτηριστικά u-blox σειράς M8 ..... 55	55
Πίνακας 11 - Η καταγραφή σε πραγματικό χρόνο των μηνυμάτων του πρωτοκόλλου UBX. Το carrier range status, εναλλάσσεται μεταξύ float και fix (τιμές 1 και 2)..... 62	62
Πίνακας 12 - Οι παρατηρήσεις του Απλοποιημένου Τεστ..... 65	65
Πίνακας 13 - Οι παρατηρήσεις του Πλήρους τεστ..... 67	67
Πίνακας 14 - Διάγραμμα ροής Εργασιών ελέγχου ISO 17123-8..... 72	72
Πίνακας 15 - Βασικά χαρακτηριστικά δέκτη GPS Topcon HiPer PRO..... 75	75
Πίνακας 16 - Βασικά χαρακτηριστικά γεωδαιτικού σταθμού Leica TS30 ..... 76	76
Πίνακας 17 - Οι βάσεις που συμμετείχαν στην επίλυση του δικτύου ελέγχου. .... 81	81
Πίνακας 18 - Η επίλυση του στατικού εντοπισμού στο WGS' 84 ..... 83	83
Πίνακας 19 - Η λύση του στατικού εντοπισμού μετασχηματισμένη στο ΕΓΣΑ '87..... 83	83
Πίνακας 20 - Οι τιμές αναφοράς για το ISO, όπως προέκυψαν από τις παρατηρήσεις του γεωδαιτικού σταθμού..... 84	84
Πίνακας 21 - Οι επιλεγμένες παράμετροι για τους υπολογισμούς..... 87	87
Πίνακας 22 - Απλοποιημένο Τεστ. Οι παρατηρήσεις ISO ..... 90	90
Πίνακας 23 - Οι διακυμάνσεις ανά συνιστώσα για το T1 και η σύγκριση με την στατική επίλυση του γεωδαιτικού δέκτη. .... 92	92
Πίνακας 24 - Οι διακυμάνσεις ανά συνιστώσα για το T2 και η σύγκριση με την στατική επίλυση του γεωδαιτικού δέκτη. .... 93	93
Πίνακας 25 - Οι μέσες τιμές των συνιστωσών του T1, για κάθε σειρά μετρήσεων..... 94	94
Πίνακας 26 - Οι μέσες τιμές των συνιστωσών του T2, για κάθε σειρά μετρήσεων..... 95	95
Πίνακας 27 - Απλοποιημένο Τεστ. Οι υπολογισμοί..... 96	96
Πίνακας 28 - Αποκλίσεις διανύσματος από την αληθινή τιμή (TS30)..... 97	97
Πίνακας 29 - Απλοποιημένο Τεστ. Έλεγχος σφαλμάτων. .... 97	97
Πίνακας 30 - Πλήρες Τεστ . Υπολογισμοί πειραματικών τυπικών αποκλίσεων για το u-blox C94-M8P..... 101	101
Πίνακας 31 - Πλήρες Τεστ – Έλεγχος Κατανομής X2 ..... 103	103
Πίνακας 32 - Πλήρες Τεστ - Έλεγχος Κατανομής F..... 105	105
Πίνακας 33 - Πλήρες Τεστ. Έλεγχος a-posteriori σφαλμάτων..... 106	106
Πίνακας 34 - Σύγκριση συνιστωσών διανύσματος αναφοράς ISO (T1-T2) από δύο μηνύματα καταγραφής διαφορετικής ακριβείας. .... 107	107

Μετρολογικός έλεγχος δεκτών GNSS χαμηλού κόστους για εφαρμογές RTK  
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

Πίνακας 35 - Συγκριτικά χαρακτηριστικά δεκτών GNSS..... 114

---

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 **Βιβλιογραφία - Πηγές**

---

- [1] T. H. Sumner, *Finding a Ship's Position at sea*, 3rd ed., Boston: Thomas Groom & Co, 1851.
- [2] D. P. Groves, *Principles of GNSS, Inertial, and Multisensor Integrated Navigation Systems*, Boston, London: Artech House, 2008.
- [3] J.-M. Zogg, *GPS Essentials of Satellite Navigation*, u-blox AG, 2009.
- [4] E. Kaplan and C. Hegarty, *Understanding GPS. Principles and Applications*, 2nd ed., Artech House, 2006.
- [5] Α. Φωτίου και Χ. Πικριδάς, *GPS και Γεωδαιτικές εφαρμογές*, Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις ΖΗΤΗ, 2006.
- [6] J. Uren and B. Price, *Surveying for engineers*, 5th ed., Palgrave Macmillan, 2010.
- [7] China Satellite Navigation Office, "Development of the BeiDou Navigation Satellite System (Version 3.0)", BeiDou Navigation Satellite System, 2018.
- [8] M. Hakansson, A. Jensen, M. Horemuz and G. Hedling, "Review of code and phase biases in multi-GNSS positioning", *GPS Solutions, The Journal of Global Navigation Satellite Systems*, 2016.
- [9] P. Misra and P. Enge, *Global Positioning System Signals, Measurements and Performance*, 2nd ed., Ganga-Jamuna Press, 2006.
- [10] S. Carcanague, "Low-cost GPS/GLONASS Precise Positioning Algorithm in Constrained Environment.", PhD Thesis, Universite de Toulouse, 2013.
- [11] ARINC Engineering Services, LLC , "Interface Specification IS-GPS-200. Navstar GPS Space Segment/Navigation User Interfaces.", Technical Report, Navstar Global Positioning System, 2006.

- [12] Μ. Γιαννίου, «Μεταβολές του Κέντρου Φάσης των Κεραιών GPS και επιδράσεις στην ακρίβεια των Μετρήσεων», *Τεχν. Χρον. Επιστ. Εκδ ΤΕΕ*, αρ. Ι, 2005.
- [13] Δ. Παραδείσης, Σημειώσεις Δορυφορικής Γεωδαισίας, Κέντρο Δορυφόρων Διονύσου, Τομέας Τοπογραφίας ΕΜΠ, 2000.
- [14] B. W. Parkinson and J. J. Spilker Jr., *Global Positioning System: Theory and Applications*, vol. II, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., 1996.
- [15] M. Pesyna, "Advanced Techniques for Centimeter-Accurate GNSS Positioning on Low-Cost Mobile Platforms.", Dissertation, The University of Texas at Austin, Austin, 2015.
- [16] RTCM, "RTCM STANDARD 10403.1, for DIFFERENTIAL GNSS (GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEMS) SERVICES – VERSION 3," Radio Technical Commission For Maritime Services, 2006.
- [17] Μ. Γιαννίου, «Προσδιορισμός συντεταγμένων στο ΕΓΣΑ87 μέσω του HEPOS», σε *3ο Πανελλήνιο Συνέδριο ATM*, Αθήνα, 2010.
- [18] Χ. Κωτσάκης, Κ. Κατσάμπαλος και Μ. Γιαννίου, «Μοντέλο Μετασχηματισμού Συντεταγμένων μεταξύ του συστήματος αναφοράς του HEPOS (HTRS07) και του Ελληνικού Γεωδαιτικού Συστήματος Αναφοράς (ΕΓΣΑ87),» ΤΑΤΜ ΑΠΘ, Κτηματολόγιο Α.Ε., 2008.
- [19] V. Schwieger, "Accurate High-Sensitivity GPS for Short Baselines", *FIG Working Week 2009*, 2009.
- [20] D. Gebre-Egziabher, "Evaluation of Low-Cost, Centimeter-Level Accuracy OEM GNSS Receivers. Research Project Report", Department of Aerospace Engineering and Mechanics, 2018.
- [21] Tianxia Liu and Bofeng Li., "Single-frequency BDS/GPS RTK With Low-cost Ublox", in *CPGPS 2017 Forum on Cooperative Positioning and Service*, Shanghai, China, 2017.
- [22] L. Biagi, F. C. Grec, A. Fermi and M. Negretti, "Relative antenna calibration for mass-market GNSS receivers: A case study.", Research Report Politecnico di Milano, Milan, 2018.



- [23] u-blox AG, "u-blox 8 / u-blox M8 Receiver Description. Including Protocol Specification v15-20.30,22-23.01", 2018.
- [24] ISO, "International Standard ISO 17123-8: 2015 – Optics and optical instruments – Field procedures for testing geodetic and surveying instruments – Part 8: GNSS field measurement systems in real-time kinematic (RTK)", 2015.
- [25] Α. Δερμάνης, Συνορθώσεις Παρατηρήσεων και Θεωρία Εκτίμησης, Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Ζήτη, 1999.
- [26] Topcon Positioning Systems Inc., "HiPer Pro Operation's Manual", June 2006. [Online].
- [27] Leica Geosystems AG, "TS30 Technical Data", 2009. [Online].
- [28] u-blox AG, "u-center 19.06 GNSS evaluation software for Windows. Release Note", 2019.
- [29] Π. Πουλίδης, «Μετρολογικός Έλεγχος Δεκτών GNSS κατά ISO για RTK μετρήσεις», ΣΑΤΜ ΕΜΠ, Διπλωματική Εργασία, 2014.
- [30] V. Schwieger and M. Lilje, "Innovative and cost effective spatial positioning", in *FIG Working week*, 6-10 May Abuja, Nigeria, 2013.

---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9 Παράρτημα

---

Στο Παράρτημα παρατίθενται ως παράδειγμα ανάλυσης δεδομένων, οι παρατηρήσεις για τα σετ 1.4 και 1.5 που πραγματοποιήθηκαν από τον δέκτη Rover u-blox και η επεξεργασία τους.

Rover Set 1.4  
All Observations

Index	UTC	ITOW	Lat	Lon	Alt (HAE)	Alt (MSL)	GDOP	PACC H	PACC V	PACC 3D	Fix type (GPS)	Carrier Range Status	Reference Carrier Range Status	TTFB	TimeStartup	Used SVs	relPosE	relPosN	relPosD
0	29:39.0	552597	38.0015591	23.6752637	99.046	65.908	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2	16.231	1514.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0896	2.2722	-0.1313
1	29:40.0	552598	38.0015591	23.6752637	99.042	65.905	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1515.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0886	2.2692	-0.1279
2	29:41.0	552599	38.0015591	23.6752637	99.038	65.901	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1516.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0893	2.2659	-0.1241
3	29:42.0	552600	38.0015591	23.6752637	99.047	65.91	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1517.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0895	2.273	-0.1325
4	29:43.0	552601	38.0015591	23.6752637	99.045	65.908	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1518.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0913	2.2717	-0.1311
5	29:44.0	552602	38.0015591	23.6752637	99.045	65.908	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1519.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.091	2.2724	-0.1307
6	29:45.0	552603	38.0015591	23.6752637	99.045	65.908	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1520.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0875	2.2703	-0.1308
7	29:46.0	552604	38.0015591	23.6752637	99.049	65.911	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1521.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0863	2.269	-0.1344
8	29:47.0	552605	38.0015591	23.6752637	99.046	65.909	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1522.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0879	2.2688	-0.1319
9	29:48.0	552606	38.0015591	23.6752637	99.051	65.914	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1523.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0888	2.273	-0.1371
10	29:49.0	552607	38.0015591	23.6752637	99.045	65.908	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1524.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0875	2.2734	-0.1311
11	29:50.0	552608	38.0015591	23.6752637	99.050	65.913	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1525.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0868	2.272	-0.1356
12	29:51.0	552609	38.0015591	23.6752637	99.045	65.908	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1526.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0853	2.2723	-0.1311
13	29:52.0	552610	38.0015591	23.6752637	99.046	65.909	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1527.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0887	2.2725	-0.1319
14	29:53.0	552611	38.0015591	23.6752637	99.046	65.909	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1528.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0878	2.2732	-0.1315
15	29:54.0	552612	38.0015591	23.6752637	99.048	65.91	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1529.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0883	2.2735	-0.1334
16	29:55.0	552613	38.0015591	23.6752637	99.048	65.911	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1530.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.087	2.2729	-0.1339
17	29:56.0	552614	38.0015591	23.6752637	99.047	65.91	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1531.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0878	2.2713	-0.1332
18	29:57.0	552615	38.0015591	23.6752637	99.050	65.913	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1532.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0874	2.2732	-0.1357
19	29:58.0	552616	38.0015591	23.6752637	99.051	65.914	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1533.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0879	2.2727	-0.137
20	29:59.0	552617	38.0015591	23.6752637	99.050	65.913	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1534.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0883	2.2722	-0.1361
21	30:00.0	552618	38.0015591	23.6752637	99.048	65.911	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1535.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0866	2.2728	-0.1342
22	30:01.0	552619	38.0015591	23.6752637	99.052	65.914	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1536.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0855	2.2745	-0.1373
23	30:02.0	552620	38.0015591	23.6752637	99.049	65.911	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1537.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0859	2.2737	-0.1344
24	30:03.0	552621	38.0015591	23.6752637	99.050	65.913	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1538.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.085	2.2729	-0.136
25	30:04.0	552622	38.0015591	23.6752637	99.051	65.914	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1539.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0852	2.2724	-0.1366
26	30:05.0	552623	38.0015591	23.6752637	99.049	65.912	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1540.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0859	2.274	-0.135
27	30:06.0	552624	38.0015591	23.6752637	99.048	65.911	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1541.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.085	2.2747	-0.1335
28	30:07.0	552625	38.0015591	23.6752637	99.049	65.912	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1542.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0865	2.2737	-0.1349
29	30:08.0	552626	38.0015591	23.6752637	99.052	65.915	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1543.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0857	2.2727	-0.1379
30	30:09.0	552627	38.0015591	23.6752637	99.054	65.917	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1544.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0856	2.2735	-0.1401
31	30:10.0	552628	38.0015591	23.6752637	99.057	65.919	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1545.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0843	2.2737	-0.1422
32	30:11.0	552629	38.0015591	23.6752637	99.057	65.92	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1546.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0851	2.2756	-0.1427
33	30:12.0	552630	38.0015591	23.6752637	99.053	65.916	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1547.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0863	2.273	-0.1389
34	30:13.0	552631	38.0015591	23.6752637	99.051	65.914	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1548.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0843	2.2734	-0.1365
35	30:14.0	552632	38.0015591	23.6752637	99.048	65.911	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1549.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0838	2.2751	-0.1338
36	30:15.0	552633	38.0015591	23.6752637	99.048	65.91	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1550.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0847	2.2742	-0.1333
37	30:16.0	552634	38.0015591	23.6752637	99.044	65.907	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1551.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0857	2.2743	-0.1295
38	30:17.0	552635	38.0015591	23.6752637	99.050	65.913	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1552.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0862	2.2754	-0.1357
39	30:18.0	552636	38.0015591	23.6752637	99.046	65.908	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1553.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0854	2.2749	-0.1313
40	30:19.0	552637	38.0015591	23.6752637	99.053	65.916	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1554.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0851	2.2748	-0.1384
41	30:20.0	552638	38.0015591	23.6752636	99.051	65.913	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1555.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0831	2.2748	-0.1363
42	30:21.0	552639	38.0015591	23.6752637	99.053	65.916	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1556.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0844	2.2739	-0.1385
43	30:22.0	552640	38.0015591	23.6752637	99.050	65.912	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1557.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0849	2.2767	-0.1354
44	30:23.0	552641	38.0015591	23.6752637	99.047	65.91	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1558.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.087	2.2753	-0.1324
45	30:24.0	552642	38.0015591	23.6752637	99.052	65.915	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1559.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0882	2.2729	-0.1381
46	30:25.0	552643	38.0015591	23.6752637	99.049	65.912	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1560.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0873	2.2739	-0.1349
47	30:26.0	552644	38.0015591	23.6752637	99.054	65.916	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1561.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0868	2.2743	-0.1393
48	30:27.0	552645	38.0015591	23.6752637	99.051	65.914	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1562.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0869	2.2738	-0.1366
49	30:28.0	552646	38.0015591	23.6752637	99.047	65.91	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1563.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0878	2.2731	-0.1329
50	30:29.0	552647	38.0015591	23.6752637	99.051	65.914	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2</						

Rover Set 1.4  
All Observations

Index	UTC	ITOW	Lat	Lon	Alt (HAE)	Alt (MSL)	GDOP	PACC H	PACC V	PACC 3D	Fix type (GPS)	Carrier Range Status	Reference Carrier Range Status	TTFB	TimeStartup	Used SVs	relPosE	relPosN	relPosD
59	30:38.0	552656	38.0015591	23.6752637	99.052	65.915	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1573.229 G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0852	2.2766	-0.1377	
60	30:39.0	552657	38.0015591	23.6752637	99.049	65.912	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1574.229 G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0883	2.2754	-0.1346	
61	30:40.0	552658	38.0015591	23.6752637	99.050	65.913	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1575.229 G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0877	2.2721	-0.1362	
62	30:41.0	552659	38.0015591	23.6752637	99.054	65.917	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1576.229 G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0873	2.2707	-0.1396	
63	30:42.0	552660	38.0015591	23.6752637	99.052	65.915	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1577.229 G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0872	2.2695	-0.1382	
64	30:43.0	552661	38.0015591	23.6752637	99.050	65.913	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1578.229 G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0877	2.2728	-0.1359	
65	30:44.0	552662	38.0015591	23.6752637	99.048	65.91	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1579.229 G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.087	2.2736	-0.1334	
66	30:45.0	552663	38.0015591	23.6752637	99.052	65.915	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1580.229 G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0898	2.2741	-0.1374	
67	30:46.0	552664	38.0015591	23.6752637	99.051	65.914	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1581.229 G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0879	2.2752	-0.1368	
68	30:47.0	552665	38.0015592	23.6752637	99.053	65.916	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1582.229 G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0893	2.2775	-0.1387	
69	30:48.0	552666	38.0015591	23.6752637	99.052	65.915	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1583.229 G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0887	2.2761	-0.138	
70	30:49.0	552667	38.0015591	23.6752637	99.050	65.913	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1584.229 G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0891	2.2725	-0.1354	
71	30:50.0	552668	38.0015591	23.6752637	99.047	65.909	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1585.229 G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0902	2.2722	-0.1323	
72	30:51.0	552669	38.0015591	23.6752637	99.047	65.91	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1586.229 G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0879	2.2725	-0.133	
73	30:52.0	552670	38.0015591	23.6752637	99.053	65.915	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1587.229 G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0853	2.271	-0.1383	
74	30:53.0	552671	38.0015591	23.6752637	99.047	65.91	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1588.229 G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0878	2.2724	-0.1329	
75	30:54.0	552672	38.0015591	23.6752637	99.051	65.914	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1589.229 G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0885	2.273	-0.1366	
76	30:55.0	552673	38.0015591	23.6752637	99.052	65.915	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1590.229 G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0872	2.2716	-0.1382	
77	30:56.0	552674	38.0015591	23.6752637	99.048	65.911	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1591.229 G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0865	2.2694	-0.1339	
78	30:57.0	552675	38.0015591	23.6752637	99.054	65.917	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1592.229 G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0858	2.2726	-0.1398	
79	30:58.0	552676	38.0015592	23.6752637	99.056	65.919	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1593.229 G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0862	2.2771	-0.142	
80	30:59.0	552677	38.0015592	23.6752637	99.056	65.918	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1594.229 G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.086	2.277	-0.1413	
81	31:00.0	552678	38.0015591	23.6752637	99.055	65.918	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1595.229 G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0847	2.2723	-0.1409	
82	31:01.0	552679	38.0015591	23.6752637	99.055	65.918	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1596.229 G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0849	2.2722	-0.1406	
83	31:02.0	552680	38.0015591	23.6752637	99.054	65.917	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1597.229 G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0859	2.272	-0.1399	
84	31:03.0	552681	38.0015592	23.6752637	99.051	65.914	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1598.229 G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0879	2.277	-0.137	
85	31:04.0	552682	38.0015592	23.6752637	99.059	65.922	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1599.229 G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0847	2.2789	-0.1447	
86	31:05.0	552683	38.0015592	23.6752637	99.059	65.922	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1600.229 G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.085	2.2788	-0.1446	
87	31:06.0	552684	38.0015591	23.6752637	99.061	65.924	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1601.229 G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0846	2.2766	-0.1465	
88	31:07.0	552685	38.001559	23.6752638	99.100	65.963	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1602.229 G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.1005	2.261	-0.1856	
89	31:08.0	552686	38.001556	23.6752651	99.050	65.913	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1603.229 G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.2151	1.9222	-0.1356	
90	31:09.0	552687	38.0015543	23.6752649	98.837	65.7	1.4	0.014	0.012	0.02	3D	2	2		1604.229 G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.1955	1.7337	0.0773	
91	31:10.0	552688	38.001554	23.675262	98.848	65.71	1.4	0.014	0.011	0.02	3D	2	2		1605.229 G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	59.9392	1.7041	0.0667	
92	31:11.0	552689	38.001554	23.6752617	98.824	65.687	1.4	0.014	0.011	0.02	3D	2	2		1606.229 G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	59.9163	1.7026	0.09	
93	31:12.0	552690	38.001554	23.6752617	98.820	65.683	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1607.229 G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	59.9157	1.701	0.0945	
94	31:13.0	552691	38.001554	23.6752617	98.823	65.686	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1608.229 G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	59.9142	1.7061	0.0916	
95	31:14.0	552692	38.001554	23.6752617	98.832	65.695	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1609.229 G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	59.9139	1.7072	0.0823	
96	31:15.0	552693	38.001554	23.6752618	98.825	65.688	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1610.229 G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	59.9232	1.7039	0.089	
97	31:16.0	552694	38.0015533	23.6752606	98.825	65.688	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1611.229 G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	59.816	1.6245	0.0893	
98	31:17.0	552695	38.0015512	23.6752579	98.831	65.694	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1612.229 G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	59.5804	1.3889	0.0833	
99	31:18.0	552696	38.0015497	23.6752561	98.826	65.689	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1613.229 G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	59.4176	1.2258	0.0884	
100	31:19.0	552697	38.0015492	23.6752554	98.858	65.721	1.4	0.014	0.016	0.02	3D	2	2		1614.229 G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	59.355	1.1745	0.0563	
101	31:20.0	552698	38.0015463	23.6752531	98.821	65.684	1.4	0.014	0.014	0.02	3D	2	2		1615.229 G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	59.1528	0.8536	0.0934	
102	31:21.0	552699	38.0015427	23.675249	98.820	65.682	1.4	0.014	0.011	0.02	3D	2	2		1616.229 G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	58.7935	0.4545	0.0947	
103	31:22.0	552700	38.0015406	23.6752459	98.814	65.677	1.5	0.014	0.011	0.02	3D	2	2		1617.229 G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	58.5254	0.2189	0.0999	
104	31:23.0	552701	38.0015405	23.6752458	98.800	65.663	1.5	0.014	0.011	0.02	3D	2	2		1618.229 G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	58.5165	0.2037	0.114	
105	31:24.0	552702	38.0015385	23.675244	98.810	65.673	1.5	0.014	0.011	0.02	3D	2	2		1619.229 G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	58.3581	-0.0114	0.1044	
106	31:25.0	552703	38.0015354	23.6752401	98.819	65.682	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1620.229 G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	58.0113	-0.3571	0.0955	
107	31:26.0	552704	38.0015315	23.6752353	98.813	65.676	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1621.229 G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	57.594	-0.7939	0.1011	
108	31:27.0	552705	38.0015274	23.6752302	98.817	65.68	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1622.229 G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	57.1476	-1.2462	0.0968	
109	31:28.0	552706	38.0015229	23.675225	98.805	65.668	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1623.229 G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	56.6894	-1.746	0.109	
110	31:29.0	552707	38.0015185	23.67522	98.822	65.685	1.5	0.014	0.01	0.									

Rover Set 1.4  
All Observations

Index	UTC	ITOW	Lat	Lon	Alt (HAE)	Alt (MSL)	GDOP	PACC H	PACC V	PACC 3D	Fix type (GPS)	Carrier Range Status	Reference Carrier Range Status	TTFB	TimeStartup	Used SVs	relPosE	relPosN	relPosD
118	31:37.0	552715	38.0014914	23.6751736	98.874	65.737	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1632.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	52.1715	-5.2474	0.0405
119	31:38.0	552716	38.0014911	23.6751712	98.874	65.737	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1633.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.963	-5.2778	0.0406
120	31:39.0	552717	38.0014909	23.6751716	98.888	65.75	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1634.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.9946	-5.2959	0.0268
121	31:40.0	552718	38.001491	23.6751715	98.904	65.767	1.5	0.014	0.011	0.02	3D	2	2		1635.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.9941	-5.2893	0.0103
122	31:41.0	552719	38.0014892	23.6751692	99.014	65.877	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1636.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.789	-5.4825	-0.0995
123	31:42.0	552720	38.0014893	23.6751639	99.128	65.991	1.5	0.014	0.011	0.02	3D	2	2		1637.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.322	-5.4808	-0.2134
124	31:43.0	552721	38.0014901	23.6751614	99.115	65.978	1.5	0.014	0.011	0.02	3D	2	2		1638.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.1039	-5.385	-0.2005
125	31:44.0	552722	38.0014901	23.6751613	99.080	65.943	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1639.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0921	-5.3843	-0.1661
126	31:45.0	552723	38.0014901	23.6751613	99.087	65.95	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1640.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.097	-5.3851	-0.1723
127	31:46.0	552724	38.0014902	23.6751613	99.069	65.932	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1641.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0967	-5.3761	-0.155
128	31:47.0	552725	38.0014902	23.6751613	99.066	65.929	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1642.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.096	-5.3785	-0.1515
129	31:48.0	552726	38.0014902	23.6751613	99.074	65.937	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1643.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.094	-5.3739	-0.1601
130	31:49.0	552727	38.0014902	23.6751613	99.076	65.939	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1644.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.09	-5.3711	-0.1619
131	31:50.0	552728	38.0014902	23.6751613	99.069	65.932	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1645.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.095	-5.3736	-0.1549
132	31:51.0	552729	38.0014902	23.6751613	99.066	65.929	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1646.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0945	-5.375	-0.1521
133	31:52.0	552730	38.0014902	23.6751613	99.067	65.93	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1647.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0928	-5.3768	-0.1526
134	31:53.0	552731	38.0014902	23.6751613	99.067	65.93	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1648.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0913	-5.3757	-0.1527
135	31:54.0	552732	38.0014902	23.6751613	99.067	65.93	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1649.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0927	-5.3736	-0.1526
136	31:55.0	552733	38.0014902	23.6751613	99.065	65.928	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1650.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.094	-5.3736	-0.1506
137	31:56.0	552734	38.0014902	23.6751613	99.068	65.931	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1651.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0929	-5.3736	-0.1532
138	31:57.0	552735	38.0014902	23.6751613	99.074	65.937	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1652.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0921	-5.3736	-0.1599
139	31:58.0	552736	38.0014902	23.6751613	99.071	65.934	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1653.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0907	-5.3736	-0.1567
140	31:59.0	552737	38.0014902	23.6751613	99.072	65.934	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1654.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0908	-5.3745	-0.1572
141	32:00.0	552738	38.0014902	23.6751613	99.072	65.935	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1655.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0924	-5.3741	-0.1576
142	32:01.0	552739	38.0014902	23.6751613	99.071	65.934	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1656.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.091	-5.3742	-0.1568
143	32:02.0	552740	38.0014902	23.6751613	99.075	65.938	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1657.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0918	-5.3734	-0.1604
144	32:03.0	552741	38.0014902	23.6751613	99.072	65.935	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1658.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0917	-5.3728	-0.1577
145	32:04.0	552742	38.0014902	23.6751613	99.070	65.932	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1659.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0941	-5.3736	-0.1552
146	32:05.0	552743	38.0014902	23.6751613	99.068	65.931	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1660.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0943	-5.3738	-0.1535
147	32:06.0	552744	38.0014902	23.6751613	99.066	65.929	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1661.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0956	-5.3733	-0.1512
148	32:07.0	552745	38.0014902	23.6751613	99.065	65.928	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1662.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0932	-5.375	-0.1502
149	32:08.0	552746	38.0014902	23.6751613	99.067	65.93	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1663.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0939	-5.3768	-0.1523
150	32:09.0	552747	38.0014902	23.6751613	99.069	65.932	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1664.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0945	-5.3739	-0.1544
151	32:10.0	552748	38.0014903	23.6751613	99.063	65.926	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1665.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0931	-5.3709	-0.1487
152	32:11.0	552749	38.0014903	23.6751613	99.069	65.932	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1666.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0921	-5.369	-0.1547
153	32:12.0	552750	38.0014902	23.6751613	99.068	65.931	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1667.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0926	-5.3727	-0.1537
154	32:13.0	552751	38.0014902	23.6751613	99.070	65.933	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1668.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0948	-5.3711	-0.1554
155	32:14.0	552752	38.0014902	23.6751613	99.064	65.927	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1669.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0958	-5.3733	-0.1498
156	32:15.0	552753	38.0014902	23.6751613	99.066	65.929	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1670.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0971	-5.3729	-0.1513
157	32:16.0	552754	38.0014902	23.6751613	99.068	65.931	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1671.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0945	-5.3737	-0.1534
158	32:17.0	552755	38.0014902	23.6751613	99.064	65.927	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1672.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0946	-5.3765	-0.1496
159	32:18.0	552756	38.0014902	23.6751613	99.066	65.929	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1673.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0927	-5.3748	-0.1514
160	32:19.0	552757	38.0014902	23.6751613	99.066	65.929	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1674.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0937	-5.3768	-0.1515
161	32:20.0	552758	38.0014902	23.6751613	99.067	65.93	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1675.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0924	-5.3766	-0.1526
162	32:21.0	552759	38.0014902	23.6751613	99.064	65.927	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1676.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0927	-5.3732	-0.1492
163	32:22.0	552760	38.0014902	23.6751613	99.064	65.927	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1677.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0937	-5.3732	-0.1497
164	32:23.0	552761	38.0014902	23.6751613	99.065	65.928	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1678.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0964	-5.3732	-0.1508
165	32:24.0	552762	38.0014902	23.6751613	99.066	65.929	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1679.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0953	-5.3761	-0.152
166	32:25.0	552763	38.0014902	23.6751613	99.068	65.931	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1680.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0953	-5.3752	-0.1534
167	32:26.0	552764	38.0014902	23.6751613	99.067	65.93	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1681.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0931	-5.3735	-0.1525
168	32:27.0	552765	38.0014902	23.6751613	99.067	65.93	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1682.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14			

Rover Set 1.4  
Network Measurements

Index	UTC	ITOW	Lat	Lon	Alt (HAE)	Alt (MSL)	GDOP	PACC H	PACC V	PACC 3D	Fix type (GPS)	Carrier Range Status	Reference Carrier Range Status	TTFB	TimeStartup	Used SVs	relPosE	relPosN	relPosD
T1	29:52.0	552610	38.0015591	23.6752637	99.046	65.909	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1527.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0887	2.2725	-0.1319
T1	29:53.0	552611	38.0015591	23.6752637	99.046	65.909	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1528.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0878	2.2732	-0.1315
T1	29:54.0	552612	38.0015591	23.6752637	99.048	65.91	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1529.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0883	2.2735	-0.1334
T1	29:55.0	552613	38.0015591	23.6752637	99.048	65.911	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1530.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.087	2.2729	-0.1339
T1	29:56.0	552614	38.0015591	23.6752637	99.047	65.91	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1531.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0878	2.2713	-0.1332
T1	29:57.0	552615	38.0015591	23.6752637	99.05	65.913	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1532.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0874	2.2732	-0.1357
T1	29:58.0	552616	38.0015591	23.6752637	99.051	65.914	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1533.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0879	2.2727	-0.137
T1	29:59.0	552617	38.0015591	23.6752637	99.05	65.913	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1534.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0883	2.2722	-0.1361
T1	30:00.0	552618	38.0015591	23.6752637	99.048	65.911	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1535.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0866	2.2728	-0.1342
T1	30:01.0	552619	38.0015591	23.6752637	99.052	65.914	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1536.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0855	2.2745	-0.1373
T1	30:02.0	552620	38.0015591	23.6752637	99.049	65.911	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1537.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0859	2.2737	-0.1344
T1	30:03.0	552621	38.0015591	23.6752637	99.05	65.913	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1538.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.085	2.2729	-0.136
T1	30:04.0	552622	38.0015591	23.6752637	99.051	65.914	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1539.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0852	2.2724	-0.1366
T1	30:05.0	552623	38.0015591	23.6752637	99.049	65.912	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1540.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0859	2.274	-0.135
T1	30:06.0	552624	38.0015591	23.6752637	99.048	65.911	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1541.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.085	2.2747	-0.1335
T1	30:07.0	552625	38.0015591	23.6752637	99.049	65.912	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1542.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0865	2.2737	-0.1349
T1	30:08.0	552626	38.0015591	23.6752637	99.052	65.915	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1543.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0857	2.2727	-0.1379
T1	30:09.0	552627	38.0015591	23.6752637	99.054	65.917	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1544.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0856	2.2735	-0.1401
T1	30:10.0	552628	38.0015591	23.6752637	99.057	65.919	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1545.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0843	2.2737	-0.1422
T1	30:11.0	552629	38.0015591	23.6752637	99.057	65.92	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1546.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0851	2.2756	-0.1427
T1	30:12.0	552630	38.0015591	23.6752637	99.053	65.916	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1547.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0863	2.273	-0.1389
T1	30:13.0	552631	38.0015591	23.6752637	99.051	65.914	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1548.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0843	2.2734	-0.1365
T1	30:14.0	552632	38.0015591	23.6752637	99.048	65.911	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1549.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0838	2.2751	-0.1338
T1	30:15.0	552633	38.0015591	23.6752637	99.048	65.91	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1550.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0847	2.2742	-0.1333
T1	30:16.0	552634	38.0015591	23.6752637	99.044	65.907	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1551.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0857	2.2743	-0.1295
T1	30:17.0	552635	38.0015591	23.6752637	99.05	65.913	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1552.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0862	2.2754	-0.1357
T1	30:18.0	552636	38.0015591	23.6752637	99.046	65.908	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1553.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0854	2.2749	-0.1313
T1	30:19.0	552637	38.0015591	23.6752637	99.053	65.916	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1554.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0851	2.2748	-0.1384
T1	30:20.0	552638	38.0015591	23.6752637	99.051	65.913	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1555.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0831	2.2748	-0.1363
T1	30:21.0	552639	38.0015591	23.6752637	99.053	65.916	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1556.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0844	2.2739	-0.1385
T1	30:22.0	552640	38.0015591	23.6752637	99.05	65.912	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1557.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0849	2.2767	-0.1354
T1	30:23.0	552641	38.0015591	23.6752637	99.047	65.91	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1558.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.087	2.2753	-0.1324
T1	30:24.0	552642	38.0015591	23.6752637	99.052	65.915	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1559.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0882	2.2729	-0.1381
T1	30:25.0	552643	38.0015591	23.6752637	99.049	65.912	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1560.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0873	2.2739	-0.1349
T1	30:26.0	552644	38.0015591	23.6752637	99.054	65.916	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1561.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0868	2.2743	-0.1393
T1	30:27.0	552645	38.0015591	23.6752637	99.051	65.914	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1562.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0869	2.2738	-0.1366
T1	30:28.0	552646	38.0015591	23.6752637	99.047	65.91	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1563.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0878	2.2731	-0.1329
T1	30:29.0	552647	38.0015591	23.6752637	99.051	65.914	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1564.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0895	2.2739	-0.137
T1	30:30.0	552648	38.0015591	23.6752637	99.051	65.914	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1565.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0895	2.2736	-0.1369
T1	30:31.0	552649	38.0015591	23.6752637	99.054	65.917	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1566.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0873	2.276	-0.1395
T1	30:32.0	552650	38.0015592	23.6752637	99.051	65.914	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1567.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0879	2.2774	-0.1372
T1	30:33.0	552651	38.0015591	23.6752637	99.05	65.912	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1568.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0875	2.2764	-0.1353
T1	30:34.0	552652	38.0015592	23.6752637	99.058	65.921	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1569.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0865	2.2792	-0.1438
T1	30:35.0	552653	38.0015591	23.6752637	99.054	65.916	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1570.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.089	2.2755	-0.1393
T1	30:36.0	552654	38.0015591	23.6752637	99.053	65.916	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1571.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0876	2.2753	-0.1391
T1	30:37.0	552655	38.0015591	23.6752637	99.052	65.915	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1572.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0875	2.2763	-0.1379
T1	30:38.0	552656	38.0015591	23.6752637	99.052	65.915	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1573.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0852	2.2766	-0.1377
T1	30:39.0	552657	38.0015591	23.6752637	99.049	65.912	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1574.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0883	2.2754	-0.1346
T1	30:40.0	552658	38.0015591	23.6752637	99.05	65.913	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1575.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0877	2.2721	-0.1362
T1	30:41.0	552659	38.0015591	23.6752637	99.054	65.917	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1576.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0873	2.2707	-0.1396
T1	30:42.0	552660	38.0015591	23.6752637	99.052	65.915	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1577.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R1			

Rover Set 1.4  
Network Measurements

Index	UTC	ITOW	Lat	Lon	Alt (HAE)	Alt (MSL)	GDOP	PACC H	PACC V	PACC 3D	Fix type (GPS)	Carrier Range Status	Reference Carrier Range Status	TTFB	TimeStartup	Used SVs	relPosE	relPosN	relPosD
T1	30:51.0	552669	38.0015591	23.6752637	99.047	65.91	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1586.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0879	2.2725	-0.133
T1	30:52.0	552670	38.0015591	23.6752637	99.053	65.915	1.4	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1587.229	G2 G6 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0853	2.271	-0.1383
T2	31:51.0	552729	38.0014902	23.6751613	99.066	65.929	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1646.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0945	-5.375	-0.1521
T2	31:52.0	552730	38.0014902	23.6751613	99.067	65.93	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1647.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0928	-5.3768	-0.1526
T2	31:53.0	552731	38.0014902	23.6751613	99.067	65.93	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1648.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0913	-5.3757	-0.1527
T2	31:54.0	552732	38.0014902	23.6751613	99.067	65.93	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1649.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0927	-5.3736	-0.1526
T2	31:55.0	552733	38.0014902	23.6751613	99.065	65.928	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1650.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.094	-5.3736	-0.1506
T2	31:56.0	552734	38.0014902	23.6751613	99.068	65.931	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1651.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0929	-5.3736	-0.1532
T2	31:57.0	552735	38.0014902	23.6751613	99.074	65.937	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1652.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0921	-5.3736	-0.1599
T2	31:58.0	552736	38.0014902	23.6751613	99.071	65.934	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1653.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0907	-5.3736	-0.1567
T2	31:59.0	552737	38.0014902	23.6751613	99.072	65.934	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1654.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0908	-5.3745	-0.1572
T2	32:00.0	552738	38.0014902	23.6751613	99.072	65.935	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1655.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0924	-5.3741	-0.1576
T2	32:01.0	552739	38.0014902	23.6751613	99.071	65.934	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1656.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.091	-5.3742	-0.1568
T2	32:02.0	552740	38.0014902	23.6751613	99.075	65.938	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1657.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0918	-5.3734	-0.1604
T2	32:03.0	552741	38.0014902	23.6751613	99.072	65.935	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1658.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0917	-5.3728	-0.1577
T2	32:04.0	552742	38.0014902	23.6751613	99.07	65.932	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1659.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0941	-5.3736	-0.1552
T2	32:05.0	552743	38.0014902	23.6751613	99.068	65.931	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1660.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0943	-5.3738	-0.1535
T2	32:06.0	552744	38.0014902	23.6751613	99.066	65.929	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1661.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0956	-5.3733	-0.1512
T2	32:07.0	552745	38.0014902	23.6751613	99.065	65.928	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1662.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0932	-5.375	-0.1502
T2	32:08.0	552746	38.0014902	23.6751613	99.067	65.93	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1663.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0939	-5.3768	-0.1523
T2	32:09.0	552747	38.0014902	23.6751613	99.069	65.932	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1664.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0945	-5.3739	-0.1544
T2	32:10.0	552748	38.0014903	23.6751613	99.063	65.926	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1665.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0931	-5.3709	-0.1487
T2	32:11.0	552749	38.0014903	23.6751613	99.069	65.932	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1666.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0921	-5.369	-0.1547
T2	32:12.0	552750	38.0014902	23.6751613	99.068	65.931	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1667.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0926	-5.3727	-0.1537
T2	32:13.0	552751	38.0014902	23.6751613	99.07	65.933	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1668.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0948	-5.3711	-0.1554
T2	32:14.0	552752	38.0014902	23.6751613	99.064	65.927	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1669.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0958	-5.3733	-0.1498
T2	32:15.0	552753	38.0014902	23.6751613	99.066	65.929	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1670.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0971	-5.3729	-0.1513
T2	32:16.0	552754	38.0014902	23.6751613	99.068	65.931	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1671.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0945	-5.3737	-0.1534
T2	32:17.0	552755	38.0014902	23.6751613	99.064	65.927	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1672.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0946	-5.3765	-0.1496
T2	32:18.0	552756	38.0014902	23.6751613	99.066	65.929	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1673.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0927	-5.3748	-0.1514
T2	32:19.0	552757	38.0014902	23.6751613	99.066	65.929	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1674.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0937	-5.3768	-0.1515
T2	32:20.0	552758	38.0014902	23.6751613	99.067	65.93	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1675.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0924	-5.3766	-0.1526
T2	32:21.0	552759	38.0014902	23.6751613	99.064	65.927	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1676.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0927	-5.3732	-0.1492
T2	32:22.0	552760	38.0014902	23.6751613	99.064	65.927	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1677.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0937	-5.3732	-0.1497
T2	32:23.0	552761	38.0014902	23.6751613	99.065	65.928	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1678.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0964	-5.3732	-0.1508
T2	32:24.0	552762	38.0014902	23.6751613	99.066	65.929	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1679.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0953	-5.3761	-0.152
T2	32:25.0	552763	38.0014902	23.6751613	99.068	65.931	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1680.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0953	-5.3752	-0.1534
T2	32:26.0	552764	38.0014902	23.6751613	99.067	65.93	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1681.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0931	-5.3735	-0.1525
T2	32:27.0	552765	38.0014902	23.6751613	99.067	65.93	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1682.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0928	-5.3739	-0.1525
T2	32:28.0	552766	38.0014902	23.6751613	99.061	65.923	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1683.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0934	-5.3747	-0.1462
T2	32:29.0	552767	38.0014902	23.6751613	99.064	65.927	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1684.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0946	-5.3753	-0.1498
T2	32:30.0	552768	38.0014902	23.6751613	99.069	65.932	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1685.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0956	-5.376	-0.1547
T2	32:31.0	552769	38.0014902	23.6751613	99.065	65.928	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1686.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0941	-5.3738	-0.151
T2	32:32.0	552770	38.0014902	23.6751613	99.064	65.927	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1687.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0949	-5.3746	-0.1502
T2	32:33.0	552771	38.0014902	23.6751613	99.07	65.933	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1688.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.094	-5.3743	-0.1554

ID	E	N	h (GGRS87)	iToW							
T1	471340.294	4205750.804	70.777	552610							
T1	471340.294	4205750.804	70.777	552611							
	<b>E</b>	<b>N</b>	<b>h (antenna)</b>	<b>h (point)</b>	<b>Vertical Offset</b>	<i>T1: 1.299 bottom of tribach</i>					
T1	471340.294	4205750.804	70.779	552612	<b>T1</b>	<b>471340.294</b>	<b>4205750.805</b>	<b>70.782</b>	<b>69.314</b>	1.468	<i>T1 u-blox antenna offset 0.169</i>
T1	471340.294	4205750.804	70.779	552613	<b>T2</b>	<b>471331.277</b>	<b>4205743.191</b>	<b>70.798</b>	<b>69.341</b>	1.457	<i>T2: 1.286 bottom of tribach</i>
T1	471340.294	4205750.804	70.778	552614				<b>0.017</b>	<b>0.028</b>		<i>T2 u-blox antenna offset 0.171</i>
T1	471340.294	4205750.804	70.781	552615							
T1	471340.294	4205750.804	70.782	552616							
T1	471340.294	4205750.804	70.781	552617							
T1	471340.294	4205750.804	70.779	552618							
T1	471340.294	4205750.804	70.783	552619							
T1	471340.294	4205750.804	70.780	552620							
T1	471340.294	4205750.804	70.781	552621							
T1	471340.294	4205750.804	70.782	552622							
T1	471340.294	4205750.804	70.780	552623							
T1	471340.294	4205750.804	70.779	552624							
T1	471340.294	4205750.804	70.780	552625							
T1	471340.294	4205750.804	70.783	552626							
T1	471340.294	4205750.804	70.785	552627							
T1	471340.294	4205750.804	70.788	552628							
T1	471340.294	4205750.804	70.788	552629							
T1	471340.294	4205750.804	70.784	552630							
T1	471340.294	4205750.804	70.782	552631							
T1	471340.294	4205750.804	70.779	552632							
T1	471340.294	4205750.804	70.779	552633							
T1	471340.294	4205750.804	70.775	552634							
T1	471340.294	4205750.804	70.781	552635							
T1	471340.294	4205750.804	70.777	552636							
T1	471340.294	4205750.804	70.784	552637							
T1	471340.286	4205750.804	70.782	552638							
T1	471340.294	4205750.804	70.784	552639							
T1	471340.294	4205750.804	70.781	552640							
T1	471340.294	4205750.804	70.778	552641							
T1	471340.294	4205750.804	70.783	552642							
T1	471340.294	4205750.804	70.780	552643							
T1	471340.294	4205750.804	70.785	552644							
T1	471340.294	4205750.804	70.782	552645							
T1	471340.294	4205750.804	70.778	552646							
T1	471340.294	4205750.804	70.782	552647							
T1	471340.294	4205750.804	70.782	552648							
T1	471340.294	4205750.804	70.785	552649							
T1	471340.294	4205750.815	70.782	552650							
T1	471340.294	4205750.804	70.781	552651							
T1	471340.294	4205750.815	70.789	552652							
T1	471340.294	4205750.804	70.785	552653							
T1	471340.294	4205750.804	70.784	552654							
T1	471340.294	4205750.804	70.783	552655							
T1	471340.294	4205750.804	70.783	552656							
T1	471340.294	4205750.804	70.780	552657							
T1	471340.294	4205750.804	70.781	552658							
T1	471340.294	4205750.804	70.785	552659							
T1	471340.294	4205750.804	70.783	552660							
T1	471340.294	4205750.804	70.781	552661							
T1	471340.294	4205750.804	70.779	552662							
T1	471340.294	4205750.804	70.783	552663							
T1	471340.294	4205750.804	70.782	552664							
T1	471340.294	4205750.815	70.784	552665							
T1	471340.294	4205750.804	70.783	552666							
T1	471340.294	4205750.804	70.781	552667							
T1	471340.294	4205750.804	70.778	552668							
T1	471340.294	4205750.804	70.778	552669							
T1	471340.294	4205750.804	70.784	552670							
T2	471331.277	4205743.190	70.797	552729							
T2	471331.277	4205743.190	70.798	552730							
T2	471331.277	4205743.190	70.798	552731							
T2	471331.277	4205743.190	70.798	552732							
T2	471331.277	4205743.190	70.796	552733							
T2	471331.277	4205743.190	70.799	552734							
T2	471331.277	4205743.190	70.805	552735							
T2	471331.277	4205743.190	70.802	552736							
T2	471331.277	4205743.190	70.803	552737							
T2	471331.277	4205743.190	70.803	552738							
T2	471331.277	4205743.190	70.802	552739							
T2	471331.277	4205743.190	70.806	552740							
T2	471331.277	4205743.190	70.803	552741							
T2	471331.277	4205743.190	70.801	552742							
T2	471331.277	4205743.190	70.799	552743							
T2	471331.277	4205743.190	70.797	552744							
T2	471331.277	4205743.190	70.796	552745							
T2	471331.277	4205743.190	70.798	552746							
T2	471331.277	4205743.190	70.800	552747							
T2	471331.277	4205743.201	70.794	552748							
T2	471331.277	4205743.201	70.800	552749							
T2	471331.277	4205743.190	70.799	552750							
T2	471331.277	4205743.190	70.801	552751							



Rover Set 1.4  
Transformation to GGRS87 (TM87)

ID	E	N	h (GGRS87)	iToW
T2	471331.277	4205743.190	70.795	552752
T2	471331.277	4205743.190	70.797	552753
T2	471331.277	4205743.190	70.799	552754
T2	471331.277	4205743.190	70.795	552755
T2	471331.277	4205743.190	70.797	552756
T2	471331.277	4205743.190	70.797	552757
T2	471331.277	4205743.190	70.798	552758
T2	471331.277	4205743.190	70.795	552759
T2	471331.277	4205743.190	70.795	552760
T2	471331.277	4205743.190	70.796	552761
T2	471331.277	4205743.190	70.797	552762
T2	471331.277	4205743.190	70.799	552763
T2	471331.277	4205743.190	70.798	552764
T2	471331.277	4205743.190	70.798	552765
T2	471331.277	4205743.190	70.792	552766
T2	471331.277	4205743.190	70.795	552767
T2	471331.277	4205743.190	70.800	552768
T2	471331.277	4205743.190	70.796	552769
T2	471331.277	4205743.190	70.795	552770
T2	471331.277	4205743.190	70.801	552771

Rover Set 1.4  
Statistics

Index	UTC	iTOW	Lat	Lon	Alt (HAE)	Alt (MSL)	GDOP	PACC H	PACC V	PACC 3D	Fix type (GPS)	Carrier Range Status	Reference Carrier Range Status	TTF	TimeStartup	Used SVs	relPosE	relPosN	relPosD	
Unit	time date s	s	°	°	m	m	m	m	m	m		s	s	s	s					
Count	198	198	198	198	198	198	197	197	197	198	198	197	197	1	197		197	197	197	197
Age	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	197	1		1	1	1	1
Current	32:56.0	552794	38.00149028	23.67516131	99.066	63.181	1.5	0.014	0.01	0.02	3D	2	2	16.231	1710.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	51.0973	-5.3733	-0.1538	
Minimum	29:39.0	552597	38.0014892	23.6751613	98.8	63.181	1.4	0.014	0.01	0.02		2	2	16.231	1514.229		51.09	-5.4825	-0.2134	
Maximum	32:56.0	552794	38.0015592	23.6752651	99.128	65.991	1.5	0.014	0.016	0.02		2	2	16.231	1710.229		60.2151	2.2792	0.114	
Average			38.00152769	23.67521882	99.023	65.872	1.5	0.014	0.01	0.02		2	2	16.231	1612.229		56.1714	-1.1926	-0.1084	
Deviation			0.00003288	0.00004882	0.084	0.21	0	0	0.001	0		0	0		57.013		4.2809	3.6528	0.0837	

Rover Set 1.5  
All Observations

Index	UTC	iTOW	Lat	Lon	Alt (HAE)	Alt (MSL)	GDOP	PACC H	PACC V	PACC 3D	Fix type (GPS)	Carrier Range Status	Reference Carrier Range Status	TTF	TimeStartup	Used SVs	relPosE	relPosN	relPosD
0	33:51.0	552849	38.0015593	23.6752637	99.043	65.906	1.5	0.014	0.017	0.02	3D	2	2	16.231	1766.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0898	2.2935	-0.1289
1	33:52.0	552850	38.0015593	23.6752637	99.050	65.913	1.5	0.014	0.018	0.02	3D	2	2		1767.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0895	2.2938	-0.1359
2	33:53.0	552851	38.0015593	23.6752637	99.046	65.909	1.5	0.014	0.019	0.02	3D	2	2		1768.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0894	2.2973	-0.132
3	33:54.0	552852	38.0015593	23.6752637	99.046	65.908	1.5	0.014	0.02	0.02	3D	2	2		1769.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0905	2.2987	-0.1314
4	33:55.0	552853	38.0015594	23.6752638	99.064	65.927	1.5	0.014	0.021	0.03	3D	2	2		1770.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0935	2.3025	-0.1498
5	33:56.0	552854	38.0015594	23.6752638	99.065	65.928	1.5	0.014	0.021	0.02	3D	2	2		1771.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0932	2.3008	-0.1508
6	33:57.0	552855	38.0015594	23.6752638	99.062	65.925	1.5	0.014	0.02	0.02	3D	2	2		1772.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0939	2.3019	-0.148
7	33:58.0	552856	38.0015594	23.6752638	99.062	65.925	1.5	0.014	0.02	0.02	3D	2	2		1773.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0968	2.304	-0.1478
8	33:59.0	552857	38.0015594	23.6752638	99.064	65.926	1.5	0.014	0.021	0.03	3D	2	2		1774.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0972	2.304	-0.1492
9	34:00.0	552858	38.0015594	23.6752638	99.067	65.93	1.5	0.015	0.021	0.03	3D	2	2		1775.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0945	2.306	-0.1532
10	34:01.0	552859	38.0015595	23.6752638	99.073	65.935	1.5	0.015	0.021	0.03	3D	2	2		1776.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0961	2.3148	-0.1583
11	34:02.0	552860	38.0015595	23.6752638	99.073	65.936	1.5	0.014	0.021	0.03	3D	2	2		1777.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0988	2.3155	-0.1587
12	34:03.0	552861	38.0015595	23.6752638	99.077	65.94	1.5	0.015	0.021	0.03	3D	2	2		1778.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.098	2.3181	-0.1628
13	34:04.0	552862	38.0015596	23.6752639	99.059	65.922	1.5	0.015	0.022	0.03	3D	2	2		1779.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.1029	2.3259	-0.1448
14	34:05.0	552863	38.0015596	23.6752639	99.058	65.921	1.8	0.014	0.022	0.03	3D	2	2		1780.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	60.1058	2.3236	-0.144
15	34:06.0	552864	38.0015596	23.6752639	99.064	65.926	1.8	0.015	0.022	0.03	3D	2	2		1781.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	60.1058	2.3247	-0.1493
16	34:07.0	552865	38.0015596	23.6752639	99.069	65.932	1.8	0.015	0.023	0.03	3D	2	2		1782.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	60.1051	2.3245	-0.1545
17	34:08.0	552866	38.0015596	23.6752639	99.074	65.937	1.8	0.016	0.026	0.03	3D	2	2		1783.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	60.1038	2.3235	-0.1598
18	34:09.0	552867	38.0015596	23.6752639	99.073	65.936	1.8	0.018	0.028	0.03	3D	2	2		1784.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	60.1036	2.3252	-0.1586
19	34:10.0	552868	38.0015596	23.6752639	99.077	65.939	1.8	0.018	0.029	0.03	3D	2	2		1785.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	60.1022	2.3244	-0.1624
20	34:11.0	552869	38.0015596	23.6752639	99.079	65.942	1.8	0.018	0.029	0.03	3D	2	2		1786.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	60.1031	2.328	-0.1651
21	34:12.0	552870	38.0015596	23.6752639	99.078	65.941	1.8	0.018	0.028	0.03	3D	2	2		1787.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	60.1017	2.3274	-0.1636
22	34:13.0	552871	38.0015596	23.6752638	99.074	65.937	1.8	0.017	0.027	0.03	3D	2	2		1788.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	60.0986	2.3294	-0.16
23	34:14.0	552872	38.0015596	23.6752638	99.070	65.933	1.8	0.017	0.027	0.03	3D	2	2		1789.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	60.0989	2.329	-0.1556
24	34:15.0	552873	38.0015596	23.6752638	99.070	65.933	1.8	0.018	0.028	0.03	3D	2	2		1790.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	60.0986	2.3276	-0.1557
25	34:16.0	552874	38.0015595	23.6752637	99.090	65.952	1.8	0.019	0.029	0.03	3D	2	2		1791.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	60.0885	2.3156	-0.1754
26	34:17.0	552875	38.0015595	23.6752637	99.083	65.946	1.8	0.018	0.028	0.03	3D	2	2		1792.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	60.0889	2.3128	-0.169
27	34:18.0	552876	38.0015595	23.6752637	99.081	65.944	1.8	0.017	0.026	0.03	3D	2	2		1793.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	60.0874	2.3113	-0.1667
28	34:19.0	552877	38.0015595	23.6752637	99.078	65.94	1.8	0.016	0.025	0.03	3D	2	2		1794.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	60.0879	2.314	-0.1633
29	34:20.0	552878	38.0015596	23.6752637	99.080	65.942	1.8	0.015	0.023	0.03	3D	2	2		1795.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	60.0902	2.3224	-0.1654
30	34:21.0	552879	38.0015595	23.6752637	99.084	65.947	1.8	0.015	0.021	0.03	3D	2	2		1796.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	60.0894	2.3197	-0.1695
31	34:22.0	552880	38.0015595	23.6752637	99.082	65.944	1.8	0.014	0.021	0.03	3D	2	2		1797.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	60.0918	2.3184	-0.1674
32	34:23.0	552881	38.0015595	23.6752637	99.085	65.948	1.8	0.014	0.021	0.03	3D	2	2		1798.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	60.0893	2.3187	-0.1706
33	34:24.0	552882	38.0015595	23.6752637	99.091	65.953	1.8	0.014	0.022	0.03	3D	2	2		1799.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	60.0869	2.3197	-0.1764
34	34:25.0	552883	38.0015595	23.6752637	99.088	65.951	1.8	0.014	0.021	0.03	3D	2	2		1800.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	60.0846	2.3178	-0.1739
35	34:26.0	552884	38.0015595	23.6752637	99.088	65.95	1.8	0.014	0.021	0.03	3D	2	2		1801.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	60.0848	2.3177	-0.1734
36	34:27.0	552885	38.0015596	23.6752637	99.087	65.949	1.8	0.015	0.022	0.03	3D	2	2		1802.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	60.0844	2.3215	-0.1723
37	34:28.0	552886	38.0015595	23.6752637	99.088	65.95	1.8	0.015	0.024	0.03	3D	2	2		1803.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	60.0864	2.3219	-0.1733
38	34:29.0	552887	38.0015595	23.6752637	99.092	65.955	1.8	0.016	0.025	0.03	3D	2	2		1804.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	60.0871	2.3216	-0.1777
39	34:30.0	552888	38.0015594	23.6752637	99.036	65.899	1.8	0.447	0.798	0.91	3D	0	0		1805.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0	0	0
40	34:31.0	552889	38.0015593	23.6752638	98.990	65.853	1.8	0.604	1.086	1.24	3D	0	0		1806.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0	0	0
41	34:32.0	552890	38.0015593	23.6752638	98.958	65.821	1.8	0.667	1.211	1.38	3D	0	0		1807.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0	0	0
42	34:33.0	552891	38.0015593	23.6752638	98.921	65.784	1.8	0.688	1.255	1.43	3D	0	0		1808.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0	0	0
43	34:34.0	552892	38.0015593	23.6752638	98.880	65.743	1.8	0.683	1.25	1.42	3D	0	0		1809.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0	0	0
44	34:35.0	552893	38.0015594	23.6752639	98.847	65.71	1.8	0.664	1.216	1.39	3D	0	0		1810.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0	0	0
45	34:36.0	552894	38.0015594	23.6752639	98.808	65.671	1.8	0.636	1.166	1.33	3D	0	0		1811.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0	0	0
46	34:37.0	552895	38.0015594	23.6752639	98.772	65.635	1.8	0.603	1.105	1.26	3D	0	0		1812.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0	0	0
47	34:38.0	552896	38.0015595	23.6752639	98.739	65.602	1.8	0.567	1.04	1.18	3D	0	0		1813.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0	0	0
48	34:39.0	552897	38.0015595	23.675264	98.700	65.563	1.8	0.53	0.972	1.11	3D	0	0		1814.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0	0	0
49	34:40.0	552898	38.0015595	23.675264	98.662	65.524	1.8	0.493	0.906	1.03	3D	0	0		1815.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0	0	0
50	34:41.0	552899	38.0015596	23.6752641	98.628	65.491	1.8	0.458	0.842	0.96	3D	0	0		1816.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0	0	0
51	34:42.0	552900	38.0015596	23.6752642	98.605	65.468	1.8	0.427	0.785	0.89	3D	0	0		1817.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0	0	0
52	34:43.0	552901	38.0																

Rover Set 1.5  
All Observations

Index	UTC	iTOW	Lat	Lon	Alt (HAE)	Alt (MSL)	GDOP	PACC H	PACC V	PACC 3D	Fix type (GPS)	Carrier Range Status	Reference Carrier Range Status	TTF	TimeStartup	Used SVs	relPosE	relPosN	relPosD
57	34:48.0	552906	38.0015597	23.6752646	98.457	65.32	1.8	0.515	0.946	1.08	3D	0	0		1823.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0	0	0
58	34:49.0	552907	38.0015597	23.6752646	98.434	65.297	1.8	0.528	0.969	1.1	3D	0	0		1824.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0	0	0
59	34:50.0	552908	38.0015597	23.6752647	98.406	65.269	1.8	0.541	0.992	1.13	3D	0	0		1825.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0	0	0
60	34:51.0	552909	38.0015598	23.6752647	98.386	65.249	1.8	0.553	1.014	1.15	3D	0	0		1826.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0	0	0
61	34:52.0	552910	38.0015598	23.6752648	98.361	65.224	1.8	0.565	1.035	1.18	3D	0	0		1827.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0	0	0
62	34:53.0	552911	38.0015598	23.6752648	98.329	65.192	1.8	0.576	1.056	1.2	3D	0	0		1828.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0	0	0
63	34:54.0	552912	38.0015598	23.6752649	98.304	65.167	1.8	0.587	1.076	1.23	3D	0	0		1829.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0	0	0
64	34:55.0	552913	38.0015599	23.675265	98.286	65.149	1.8	0.598	1.095	1.25	3D	0	0		1830.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0	0	0
65	34:56.0	552914	38.0015599	23.675265	98.263	65.126	1.8	0.608	1.113	1.27	3D	0	0		1831.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0	0	0
66	34:57.0	552915	38.0015599	23.6752651	98.246	65.109	1.8	0.619	1.13	1.29	3D	0	0		1832.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0	0	0
67	34:58.0	552916	38.0015599	23.6752652	98.237	65.099	1.8	0.629	1.147	1.31	3D	0	0		1833.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0	0	0
68	34:59.0	552917	38.0015599	23.6752653	98.214	65.077	1.8	0.638	1.163	1.33	3D	0	0		1834.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0	0	0
69	35:00.0	552918	38.0015599	23.6752653	98.199	65.062	1.8	0.648	1.179	1.34	3D	0	0		1835.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0	0	0
70	35:01.0	552919	38.0015599	23.6752653	98.187	65.049	1.8	0.657	1.194	1.36	3D	0	0		1836.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0	0	0
71	35:02.0	552920	38.00156	23.6752654	98.166	65.029	1.8	0.666	1.208	1.38	3D	0	0		1837.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0	0	0
72	35:03.0	552921	38.00156	23.6752654	98.145	65.007	1.8	0.675	1.223	1.4	3D	0	0		1838.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0	0	0
73	35:04.0	552922	38.00156	23.6752655	98.135	64.997	1.8	0.683	1.236	1.41	3D	0	0		1839.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0	0	0
74	35:05.0	552923	38.00156	23.6752656	98.117	64.98	1.8	0.691	1.249	1.43	3D	0	0		1840.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0	0	0
75	35:06.0	552924	38.00156	23.6752656	98.102	64.965	1.8	0.699	1.262	1.44	3D	0	0		1841.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0	0	0
76	35:07.0	552925	38.0015601	23.6752657	98.094	64.957	1.8	0.707	1.276	1.46	3D	0	0		1842.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0	0	0
77	35:08.0	552926	38.0015601	23.6752657	98.076	64.939	1.8	0.715	1.288	1.47	3D	0	0		1843.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0	0	0
78	35:09.0	552927	38.0015601	23.6752658	98.063	64.925	1.8	0.722	1.3	1.49	3D	0	0		1844.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0	0	0
79	35:10.0	552928	38.0015602	23.6752659	98.051	64.914	1.8	0.729	1.312	1.5	3D	0	0		1845.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0	0	0
80	35:11.0	552929	38.0015602	23.6752659	98.043	64.906	1.8	0.736	1.324	1.51	3D	0	0		1846.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0	0	0
81	35:12.0	552930	38.0015601	23.675266	98.038	64.901	1.8	0.743	1.334	1.53	3D	0	0		1847.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0	0	0
82	35:13.0	552931	38.0015602	23.6752662	98.025	64.888	1.8	0.75	1.346	1.54	3D	0	0		1848.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0	0	0
83	35:14.0	552932	38.0015603	23.6752663	98.014	64.877	1.8	0.757	1.357	1.55	3D	0	0		1849.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0	0	0
84	35:15.0	552933	38.0015603	23.6752663	97.987	64.85	1.8	0.765	1.368	1.57	3D	0	0		1850.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0	0	0
85	35:16.0	552934	38.0015597	23.6752666	98.067	64.93	1.8	0.772	1.381	1.58	3D	0	0		1851.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0	0	0
86	35:17.0	552935	38.0015565	23.6752652	97.819	64.682	1.8	0.78	1.393	1.6	3D	0	0		1852.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	0	0	0
87	35:18.0	552936	38.0015554	23.6752639	97.876	64.739	1.8	0.784	1.404	1.61	3D	0	0		1853.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	60.1041	1.8653	1.038
88	35:19.0	552937	38.0015555	23.6752628	97.999	64.862	1.8	0.791	1.412	1.62	3D	0	0		1854.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	60.0088	1.8737	0.9155
89	35:20.0	552938	38.0015523	23.6752611	97.925	64.788	1.8	0.434	0.614	0.75	3D	1	1		1855.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	59.8611	1.5205	0.9891
90	35:21.0	552939	38.0015484	23.6752577	97.846	64.709	1.8	0.427	0.542	0.69	3D	1	1		1856.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	59.5592	1.0878	1.068
91	35:22.0	552940	38.0015431	23.6752525	97.935	64.797	1.8	0.419	0.543	0.69	3D	1	1		1857.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	59.1068	0.4998	0.9797
92	35:23.0	552941	38.0015386	23.6752463	98.418	65.281	1.8	0.41	0.535	0.67	3D	1	1		1858.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	58.5604	-0.0014	0.4962
93	35:24.0	552942	38.001533	23.6752398	98.644	65.507	1.8	0.401	0.523	0.66	3D	1	1		1859.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	57.9901	-0.6248	0.2706
94	35:25.0	552943	38.0015265	23.6752347	98.657	65.52	1.8	0.391	0.511	0.64	3D	1	1		1860.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	57.5396	-1.352	0.2572
95	35:26.0	552944	38.0015204	23.6752293	98.499	65.361	1.8	0.381	0.498	0.63	3D	1	1		1861.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	57.0664	-2.0191	0.4158
96	35:27.0	552945	38.0015154	23.6752228	98.668	65.531	1.8	0.371	0.486	0.61	3D	1	1		1862.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	56.5	-2.5842	0.2464
97	35:28.0	552946	38.0015117	23.675215	99.092	65.955	1.8	0.361	0.473	0.6	3D	1	1		1863.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	55.8139	-2.9906	-0.1779
98	35:29.0	552947	38.0015079	23.6752071	99.732	66.595	1.8	0.352	0.46	0.58	3D	1	1		1864.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	55.1125	-3.4121	-0.8174
99	35:30.0	552948	38.0015044	23.675199	100.490	67.352	1.8	0.345	0.482	0.59	3D	1	1		1865.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	54.404	-3.7969	-1.5752
100	35:31.0	552949	38.0015009	23.6751914	100.536	67.399	1.8	0.337	0.475	0.58	3D	1	1		1866.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	53.7412	-4.1894	-1.622
101	35:32.0	552950	38.0014978	23.6751838	100.457	67.32	1.8	0.326	0.462	0.57	3D	1	1		1867.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	53.0713	-4.5325	-1.5428
102	35:33.0	552951	38.0014953	23.6751767	100.389	67.252	1.8	0.317	0.449	0.55	3D	1	1		1868.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	52.4452	-4.8074	-1.4747
103	35:34.0	552952	38.0014935	23.6751693	100.238	67.101	1.8	0.31	0.436	0.53	3D	1	1		1869.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.8005	-5.0118	-1.324
104	35:35.0	552953	38.001492	23.6751705	98.855	65.718	1.8	0.014	0.012	0.02	3D	2	2		1870.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.9053	-5.173	0.0592
105	35:36.0	552954	38.0014907	23.6751721	98.936	65.799	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1871.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	52.04	-5.3163	-0.0221
106	35:37.0	552955	38.0014899	23.675167	99.091	65.953	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1872.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.5925	-5.4121	-0.1762
107	35:38.0	552956	38.0014899	23.6751621	99.160	66.023	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1873.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.1639	-5.4086	-0.246
108	35:39.0	552957	38.0014902	23.6751613	99.093	65.955	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1874.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0908	-5.3744	-0.1782
109	35:40.0	552958	38.0014902	23.6751613	99.091	65.954	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1875.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0904	-5.3733	-0.1765
110	35:41.0	552959	38.0014903	23.6751613	99.085	65.948	1.8	0.014	0.01	0.02	3D								

Rover Set 1.5  
All Observations

Index	UTC	iTOW	Lat	Lon	Alt (HAE)	Alt (MSL)	GDOP	PACC H	PACC V	PACC 3D	Fix type (GPS)	Carrier Range Status	Reference Carrier Range Status	TTF	TimeStartup	Used SVs	relPosE	relPosN	relPosD
114	35:45.0	552963	38.0014903	23.6751612	99.075	65.938	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1880.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0889	-5.3658	-0.1609
115	35:46.0	552964	38.0014903	23.6751612	99.078	65.941	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1881.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0881	-5.3642	-0.1641
116	35:47.0	552965	38.0014903	23.6751613	99.062	65.925	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1882.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0896	-5.3694	-0.1476
117	35:48.0	552966	38.0014903	23.6751613	99.060	65.923	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1883.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0917	-5.3696	-0.1458
118	35:49.0	552967	38.0014903	23.6751613	99.065	65.928	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1884.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0908	-5.3704	-0.1504
119	35:50.0	552968	38.0014903	23.6751613	99.065	65.928	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1885.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0904	-5.3683	-0.151
120	35:51.0	552969	38.0014903	23.6751613	99.062	65.925	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1886.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0917	-5.364	-0.1477
121	35:52.0	552970	38.0014903	23.6751613	99.060	65.923	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1887.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0911	-5.3682	-0.1458
122	35:53.0	552971	38.0014903	23.6751613	99.060	65.923	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1888.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0924	-5.3678	-0.1452
123	35:54.0	552972	38.0014903	23.6751613	99.058	65.921	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1889.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0927	-5.3685	-0.144
124	35:55.0	552973	38.0014903	23.6751613	99.061	65.924	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1890.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0934	-5.3691	-0.1463
125	35:56.0	552974	38.0014903	23.6751613	99.060	65.923	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1891.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0941	-5.369	-0.1458
126	35:57.0	552975	38.0014903	23.6751613	99.058	65.921	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1892.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0934	-5.3701	-0.1438
127	35:58.0	552976	38.0014903	23.6751613	99.056	65.919	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1893.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0941	-5.3671	-0.1417
128	35:59.0	552977	38.0014903	23.6751613	99.060	65.923	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1894.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0925	-5.3691	-0.1454
129	36:00.0	552978	38.0014903	23.6751613	99.057	65.919	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1895.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.093	-5.3676	-0.1422
130	36:01.0	552979	38.0014903	23.6751613	99.062	65.925	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1896.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0915	-5.3705	-0.1478
131	36:02.0	552980	38.0014902	23.6751613	99.066	65.929	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1897.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0914	-5.3713	-0.1513
132	36:03.0	552981	38.0014902	23.6751613	99.060	65.923	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1898.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0902	-5.3738	-0.1458
133	36:04.0	552982	38.0014902	23.6751613	99.063	65.926	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1899.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0898	-5.3717	-0.149
134	36:05.0	552983	38.0014903	23.6751613	99.061	65.924	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1900.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0906	-5.3708	-0.1466
135	36:06.0	552984	38.0014902	23.6751612	99.063	65.925	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1901.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0888	-5.3723	-0.1482
136	36:07.0	552985	38.0014902	23.6751612	99.065	65.928	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1902.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0875	-5.3751	-0.151
137	36:08.0	552986	38.0014902	23.6751613	99.069	65.932	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1903.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0902	-5.3726	-0.1542
138	36:09.0	552987	38.0014903	23.6751613	99.064	65.926	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1904.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0912	-5.3699	-0.1492
139	36:10.0	552988	38.0014903	23.6751613	99.068	65.931	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1905.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0898	-5.3678	-0.1536
140	36:11.0	552989	38.0014903	23.6751612	99.067	65.93	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1906.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0894	-5.3671	-0.1524
141	36:12.0	552990	38.0014903	23.6751612	99.072	65.935	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1907.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0888	-5.3702	-0.1573
142	36:13.0	552991	38.0014902	23.6751613	99.070	65.933	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1908.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.091	-5.3738	-0.1554
143	36:14.0	552992	38.0014902	23.6751613	99.072	65.935	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1909.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0905	-5.3736	-0.158
144	36:15.0	552993	38.0014902	23.6751613	99.067	65.93	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1910.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0919	-5.3741	-0.1527
145	36:16.0	552994	38.0014902	23.6751613	99.068	65.931	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1911.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0916	-5.3744	-0.1541
146	36:17.0	552995	38.0014902	23.6751613	99.070	65.933	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1912.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0916	-5.3729	-0.1552
147	36:18.0	552996	38.0014902	23.6751613	99.069	65.932	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1913.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0923	-5.3737	-0.1542
148	36:19.0	552997	38.0014902	23.6751613	99.065	65.928	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1914.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0921	-5.3729	-0.1511
149	36:20.0	552998	38.0014902	23.6751613	99.062	65.925	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1915.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0917	-5.374	-0.1481
150	36:21.0	552999	38.0014902	23.6751613	99.062	65.925	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1916.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0919	-5.3721	-0.1481
151	36:22.0	553000	38.0014902	23.6751613	99.063	65.926	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1917.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0913	-5.3735	-0.1486
152	36:23.0	553001	38.0014902	23.6751613	99.066	65.929	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1918.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0919	-5.3756	-0.1513
153	36:24.0	553002	38.0014902	23.6751613	99.063	65.926	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1919.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0924	-5.373	-0.1489
154	36:25.0	553003	38.0014902	23.6751613	99.065	65.927	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1920.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0918	-5.3726	-0.1502
155	36:26.0	553004	38.0014902	23.6751613	99.063	65.926	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1921.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0909	-5.3753	-0.1492
156	36:27.0	553005	38.0014902	23.6751613	99.060	65.923	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1922.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0922	-5.373	-0.1459
157	36:28.0	553006	38.0014902	23.6751613	99.065	65.928	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1923.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0906	-5.374	-0.1506
158	36:29.0	553007	38.0014902	23.6751613	99.060	65.923	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1924.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0908	-5.3737	-0.1458
159	36:30.0	553008	38.0014902	23.6751613	99.060	65.923	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1925.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0912	-5.3727	-0.1457
160	36:31.0	553009	38.0014902	23.6751613	99.060	65.923	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1926.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0914	-5.3737	-0.1459
161	36:32.0	553010	38.0014902	23.6751613	99.057	65.92	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1927.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.093	-5.3731	-0.1426
162	36:33.0	553011	38.0014902	23.6751613	99.060	65.923	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1928.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.092	-5.3743	-0.1453
163	36:34.0	553012	38.0014902	23.6751613	99.060	65.923	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1929.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0922	-5.3767	-0.1456
164	36:35.0	553013	38.0014902	23.6751613	99.060	65.923	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1930.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0921	-5.3773	-0.1454
165	36:36.0	553014	38.0014902	23.6751613	99.061	65.924	1.8	0											

Rover Set 1.5  
All Observations

Index	UTC	iTOW	Lat	Lon	Alt (HAE)	Alt (MSL)	GDOP	PACC H	PACC V	PACC 3D	Fix type (GPS)	Carrier Range Status	Reference Carrier Range Status	TTF	TimeStartup	Used SVs	relPosE	relPosN	relPosD
171	36:42.0	553020	38.0014902	23.6751613	99.056	65.919	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1937.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0919	-5.3712	-0.1417
172	36:43.0	553021	38.0014902	23.6751613	99.056	65.919	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1938.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0933	-5.3712	-0.1414
173	36:44.0	553022	38.0014902	23.6751613	99.057	65.92	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1939.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0937	-5.3729	-0.1429
174	36:45.0	553023	38.0014902	23.6751613	99.055	65.918	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1940.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0912	-5.3742	-0.1405
175	36:46.0	553024	38.0014902	23.6751613	99.057	65.92	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1941.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0926	-5.3741	-0.1429
176	36:47.0	553025	38.0014902	23.6751613	99.056	65.919	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1942.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0927	-5.3723	-0.1413
177	36:48.0	553026	38.0014902	23.6751613	99.054	65.917	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1943.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0937	-5.3737	-0.1394
178	36:49.0	553027	38.0014902	23.6751613	99.060	65.923	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1944.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0925	-5.3733	-0.1456
179	36:50.0	553028	38.0014902	23.6751613	99.057	65.92	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1945.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0926	-5.3735	-0.1428

Rover Set 1.5  
Network Measurements

Index	UTC	iTOW	Lat	Lon	Alt (HAE)	Alt (MSL)	GDOP	PACC H	PACC V	PACC 3D	Fix type (GPS)	Carrier Range Status	Reference Carrier Range Status	TTF	TimeStartup	Used SVs	relPosE	relPosN	relPosD
T1	33:56.0	552854	38.0015594	23.6752638	99.065	65.928	1.5	0.014	0.021	0.02	3D	2	2		1771.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0932	2.3008	-0.1508
T1	33:57.0	552855	38.0015594	23.6752638	99.062	65.925	1.5	0.014	0.02	0.02	3D	2	2		1772.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0939	2.3019	-0.148
T1	33:58.0	552856	38.0015594	23.6752638	99.062	65.925	1.5	0.014	0.02	0.02	3D	2	2		1773.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0968	2.304	-0.1478
T1	33:59.0	552857	38.0015594	23.6752638	99.064	65.926	1.5	0.014	0.021	0.03	3D	2	2		1774.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0972	2.304	-0.1492
T1	34:00.0	552858	38.0015594	23.6752638	99.067	65.93	1.5	0.015	0.021	0.03	3D	2	2		1775.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0945	2.306	-0.1532
T1	34:01.0	552859	38.0015595	23.6752638	99.073	65.935	1.5	0.015	0.021	0.03	3D	2	2		1776.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0961	2.3148	-0.1583
T1	34:02.0	552860	38.0015595	23.6752638	99.073	65.936	1.5	0.014	0.021	0.03	3D	2	2		1777.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.0988	2.3155	-0.1587
T1	34:03.0	552861	38.0015595	23.6752638	99.077	65.94	1.5	0.015	0.021	0.03	3D	2	2		1778.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.098	2.3181	-0.1628
T1	34:04.0	552862	38.0015596	23.6752639	99.059	65.922	1.5	0.015	0.022	0.03	3D	2	2		1779.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R23 R24	60.1029	2.3259	-0.1448
T1	34:05.0	552863	38.0015596	23.6752639	99.058	65.921	1.8	0.014	0.022	0.03	3D	2	2		1780.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	60.1058	2.3236	-0.144
T1	34:06.0	552864	38.0015596	23.6752639	99.064	65.926	1.8	0.015	0.022	0.03	3D	2	2		1781.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	60.1058	2.3247	-0.1493
T1	34:07.0	552865	38.0015596	23.6752639	99.069	65.932	1.8	0.015	0.023	0.03	3D	2	2		1782.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	60.1051	2.3245	-0.1545
T1	34:08.0	552866	38.0015596	23.6752639	99.074	65.937	1.8	0.016	0.026	0.03	3D	2	2		1783.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	60.1038	2.3235	-0.1598
T1	34:09.0	552867	38.0015596	23.6752639	99.073	65.936	1.8	0.018	0.028	0.03	3D	2	2		1784.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	60.1036	2.3252	-0.1586
T1	34:10.0	552868	38.0015596	23.6752639	99.077	65.939	1.8	0.018	0.029	0.03	3D	2	2		1785.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	60.1022	2.3244	-0.1624
T1	34:11.0	552869	38.0015596	23.6752639	99.079	65.942	1.8	0.018	0.029	0.03	3D	2	2		1786.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	60.1031	2.328	-0.1651
T1	34:12.0	552870	38.0015596	23.6752639	99.078	65.941	1.8	0.018	0.028	0.03	3D	2	2		1787.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	60.1017	2.3274	-0.1636
T1	34:13.0	552871	38.0015596	23.6752638	99.074	65.937	1.8	0.017	0.027	0.03	3D	2	2		1788.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	60.0986	2.3294	-0.16
T1	34:14.0	552872	38.0015596	23.6752638	99.07	65.933	1.8	0.017	0.027	0.03	3D	2	2		1789.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	60.0989	2.329	-0.1556
T1	34:15.0	552873	38.0015596	23.6752638	99.07	65.933	1.8	0.018	0.028	0.03	3D	2	2		1790.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	60.0986	2.3276	-0.1557
T1	34:16.0	552874	38.0015595	23.6752637	99.09	65.952	1.8	0.019	0.029	0.03	3D	2	2		1791.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	60.0885	2.3156	-0.1754
T1	34:17.0	552875	38.0015595	23.6752637	99.083	65.946	1.8	0.018	0.028	0.03	3D	2	2		1792.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	60.0889	2.3128	-0.169
T1	34:18.0	552876	38.0015595	23.6752637	99.081	65.944	1.8	0.017	0.026	0.03	3D	2	2		1793.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	60.0874	2.3113	-0.1667
T1	34:19.0	552877	38.0015595	23.6752637	99.078	65.94	1.8	0.016	0.025	0.03	3D	2	2		1794.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	60.0879	2.314	-0.1633
T1	34:20.0	552878	38.0015596	23.6752637	99.08	65.942	1.8	0.015	0.023	0.03	3D	2	2		1795.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	60.0902	2.3224	-0.1654
T1	34:21.0	552879	38.0015595	23.6752637	99.084	65.947	1.8	0.015	0.021	0.03	3D	2	2		1796.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	60.0898	2.3197	-0.1695
T1	34:22.0	552880	38.0015595	23.6752637	99.082	65.944	1.8	0.014	0.021	0.03	3D	2	2		1797.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	60.0914	2.3184	-0.1674
T1	34:23.0	552881	38.0015595	23.6752637	99.085	65.948	1.8	0.014	0.021	0.03	3D	2	2		1798.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	60.0893	2.3187	-0.1706
T1	34:24.0	552882	38.0015595	23.6752637	99.091	65.953	1.8	0.014	0.022	0.03	3D	2	2		1799.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	60.0869	2.3197	-0.1764
T1	34:25.0	552883	38.0015595	23.6752637	99.088	65.951	1.8	0.014	0.021	0.03	3D	2	2		1800.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	60.0846	2.3178	-0.1739
T1	34:26.0	552884	38.0015595	23.6752637	99.088	65.95	1.8	0.014	0.021	0.03	3D	2	2		1801.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	60.0848	2.3177	-0.1734
T1	34:27.0	552885	38.0015596	23.6752637	99.087	65.949	1.8	0.015	0.022	0.03	3D	2	2		1802.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	60.0844	2.3215	-0.1723
T1	34:28.0	552886	38.0015595	23.6752637	99.088	65.95	1.8	0.015	0.024	0.03	3D	2	2		1803.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	60.0864	2.319	-0.1733
T1	34:29.0	552887	38.0015595	23.6752637	99.092	65.955	1.8	0.016	0.025	0.03	3D	2	2		1804.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	60.0871	2.316	-0.1777
T2	35:50.0	552968	38.0014903	23.6751613	99.065	65.928	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1885.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0904	-5.3683	-0.151
T2	35:51.0	552969	38.0014903	23.6751613	99.062	65.925	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1886.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0917	-5.364	-0.1477
T2	35:52.0	552970	38.0014903	23.6751613	99.06	65.923	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1887.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0911	-5.3682	-0.1458
T2	35:53.0	552971	38.0014903	23.6751613	99.06	65.923	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1888.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0924	-5.3678	-0.1452
T2	35:54.0	552972	38.0014903	23.6751613	99.058	65.921	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1889.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0927	-5.3685	-0.144
T2	35:55.0	552973	38.0014903	23.6751613	99.061	65.924	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1890.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0934	-5.3691	-0.1463
T2	35:56.0	552974	38.0014903	23.6751613	99.06	65.923	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1891.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0941	-5.369	-0.1458
T2	35:57.0	552975	38.0014903	23.6751613	99.058	65.921	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1892.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0934	-5.3701	-0.1438
T2	35:58.0	552976	38.0014903	23.6751613	99.056	65.919	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1893.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0941	-5.3671	-0.1417
T2	35:59.0	552977	38.0014903	23.6751613	99.06	65.923	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1894.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0925	-5.3691	-0.1454
T2	36:00.0	552978	38.0014903	23.6751613	99.057	65.919	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1895.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.093	-5.3676	-0.1422
T2	36:01.0	552979	38.0014903	23.6751613	99.062	65.925	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1896.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0915	-5.3705	-0.1478
T2	36:02.0	552980	38.0014902	23.6751613	99.066	65.929	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1897.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0914	-5.3713	-0.1513
T2	36:03.0	552981	38.0014902	23.6751613	99.06	65.923	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1898.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0902	-5.3738	-0.1458
T2	36:04.0	552982	38.0014902	23.6751613	99.063	65.926	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1899.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0898	-5.3717	-0.149
T2	36:05.0	552983	38.0014903	23.6751613	99.061	65.924	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1900.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0906	-5.3708	-0.1466
T2	36:06.0	552984	38.0014902	23.6751612	99.063	65.925	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1901.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0888	-5.3723	-0.1482
T2	36:07.0	552985	38.0014902	23.6751612	99.065	65.928	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1902.229				

Rover Set 1.5  
Network Measurements

Index	UTC	iTOW	Lat	Lon	Alt (HAE)	Alt (MSL)	GDOP	PACC H	PACC V	PACC 3D	Fix type (GPS)	Carrier Range Status	Reference Carrier Range Status	TFFF	TimeStartup	Used SVs	relPosE	relPosN	relPosD
T2	36:13.0	552991	38.0014902	23.6751613	99.07	65.933	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1908.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.091	-5.3738	-0.1554
T2	36:14.0	552992	38.0014902	23.6751613	99.072	65.935	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1909.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0905	-5.3736	-0.158
T2	36:15.0	552993	38.0014902	23.6751613	99.067	65.93	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1910.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0919	-5.3741	-0.1527
T2	36:16.0	552994	38.0014902	23.6751613	99.068	65.931	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1911.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0916	-5.3744	-0.1541
T2	36:17.0	552995	38.0014902	23.6751613	99.07	65.933	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1912.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0916	-5.3729	-0.1552
T2	36:18.0	552996	38.0014902	23.6751613	99.069	65.932	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1913.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0923	-5.3737	-0.1542
T2	36:19.0	552997	38.0014902	23.6751613	99.065	65.928	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1914.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0921	-5.3729	-0.1511
T2	36:20.0	552998	38.0014902	23.6751613	99.062	65.925	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1915.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0917	-5.374	-0.1481
T2	36:21.0	552999	38.0014902	23.6751613	99.062	65.925	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1916.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0919	-5.3721	-0.1481
T2	36:22.0	553000	38.0014902	23.6751613	99.063	65.926	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1917.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0913	-5.3735	-0.1486
T2	36:23.0	553001	38.0014902	23.6751613	99.066	65.929	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1918.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0919	-5.3756	-0.1513
T2	36:24.0	553002	38.0014902	23.6751613	99.063	65.926	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1919.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0924	-5.373	-0.1489
T2	36:25.0	553003	38.0014902	23.6751613	99.065	65.927	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1920.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0918	-5.3726	-0.1502
T2	36:26.0	553004	38.0014902	23.6751613	99.063	65.926	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1921.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0909	-5.3753	-0.1492
T2	36:27.0	553005	38.0014902	23.6751613	99.06	65.923	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1922.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0922	-5.373	-0.1459
T2	36:28.0	553006	38.0014902	23.6751613	99.065	65.928	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1923.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0906	-5.374	-0.1506
T2	36:29.0	553007	38.0014902	23.6751613	99.06	65.923	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1924.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0908	-5.3737	-0.1458
T2	36:30.0	553008	38.0014902	23.6751613	99.06	65.923	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1925.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0912	-5.3727	-0.1457
T2	36:31.0	553009	38.0014902	23.6751613	99.06	65.923	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1926.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0914	-5.3737	-0.1459
T2	36:32.0	553010	38.0014902	23.6751613	99.057	65.92	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1927.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.093	-5.3731	-0.1426
T2	36:33.0	553011	38.0014902	23.6751613	99.06	65.923	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1928.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.092	-5.3743	-0.1453
T2	36:34.0	553012	38.0014902	23.6751613	99.06	65.923	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1929.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0922	-5.3767	-0.1456
T2	36:35.0	553013	38.0014902	23.6751613	99.06	65.923	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1930.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0921	-5.3773	-0.1454
T2	36:36.0	553014	38.0014902	23.6751613	99.061	65.924	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1931.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0936	-5.3761	-0.1466
T2	36:37.0	553015	38.0014902	23.6751613	99.057	65.92	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1932.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0934	-5.3757	-0.1425
T2	36:38.0	553016	38.0014902	23.6751613	99.055	65.918	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1933.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0923	-5.3748	-0.1409
T2	36:39.0	553017	38.0014902	23.6751613	99.054	65.917	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1934.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0918	-5.3732	-0.1397
T2	36:40.0	553018	38.0014902	23.6751613	99.055	65.918	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1935.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0936	-5.3717	-0.1409
T2	36:41.0	553019	38.0014902	23.6751613	99.055	65.918	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1936.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0917	-5.3727	-0.1405
T2	36:42.0	553020	38.0014902	23.6751613	99.056	65.919	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1937.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0919	-5.3712	-0.1417
T2	36:43.0	553021	38.0014902	23.6751613	99.056	65.919	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1938.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0933	-5.3712	-0.1414
T2	36:44.0	553022	38.0014902	23.6751613	99.057	65.92	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1939.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0937	-5.3729	-0.1429
T2	36:45.0	553023	38.0014902	23.6751613	99.055	65.918	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1940.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0912	-5.3742	-0.1405
T2	36:46.0	553024	38.0014902	23.6751613	99.057	65.92	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1941.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0926	-5.3741	-0.1429
T2	36:47.0	553025	38.0014902	23.6751613	99.056	65.919	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1942.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0927	-5.3723	-0.1413
T2	36:48.0	553026	38.0014902	23.6751613	99.054	65.917	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1943.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0937	-5.3737	-0.1394
T2	36:49.0	553027	38.0014902	23.6751613	99.06	65.923	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1944.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0925	-5.3733	-0.1456
T2	36:50.0	553028	38.0014902	23.6751613	99.057	65.92	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2		1945.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0926	-5.3735	-0.1428



Rover Set 1.5  
Transformation to GRS7 (TM87)

ID	E	N	h (GRS87)	iToW						
T1	471340.303	4205750.837	70.796	552854						
T1	471340.303	4205750.837	70.793	552855						
T1	471340.303	4205750.837	70.793	552856	<b>E</b>	<b>N</b>	<b>h (antenna)</b>	<b>h (point)</b>	<b>Vertical Offset</b>	<b>T1: 1.299 bottom of tribach</b>
T1	471340.303	4205750.837	70.795	552857	<b>471340.302</b>	<b>4205750.851</b>	<b>70.801</b>	<b>69.333</b>	1.468	<b>T1 u-blox antenna offset 0.169</b>
T1	471340.303	4205750.837	70.798	552858	<b>T2</b>	<b>471331.276</b>	<b>4205743.193</b>	<b>70.791</b>	<b>69.334</b>	1.457 <b>T2: 1.286 bottom of tribach</b>
T1	471340.303	4205750.837	70.798	552858			<b>-0.011</b>	<b>0.000</b>		<b>T2 u-blox antenna offset 0.171</b>
T1	471340.303	4205750.848	70.804	552859						
T1	471340.303	4205750.848	70.804	552860						
T1	471340.303	4205750.848	70.808	552861						
T1	471340.312	4205750.859	70.790	552862						
T1	471340.312	4205750.859	70.789	552863						
T1	471340.312	4205750.859	70.795	552864						
T1	471340.312	4205750.859	70.800	552865						
T1	471340.312	4205750.859	70.805	552866						
T1	471340.312	4205750.859	70.804	552867						
T1	471340.312	4205750.859	70.808	552868						
T1	471340.312	4205750.859	70.810	552869						
T1	471340.312	4205750.859	70.809	552870						
T1	471340.303	4205750.859	70.805	552871						
T1	471340.303	4205750.859	70.801	552872						
T1	471340.303	4205750.859	70.801	552873						
T1	471340.295	4205750.848	70.821	552874						
T1	471340.295	4205750.848	70.814	552875						
T1	471340.295	4205750.848	70.812	552876						
T1	471340.295	4205750.848	70.809	552877						
T1	471340.295	4205750.859	70.811	552878						
T1	471340.295	4205750.848	70.815	552879						
T1	471340.295	4205750.848	70.813	552880						
T1	471340.295	4205750.848	70.816	552881						
T1	471340.295	4205750.848	70.822	552882						
T1	471340.295	4205750.848	70.819	552883						
T1	471340.295	4205750.848	70.819	552884						
T1	471340.295	4205750.859	70.818	552885						
T1	471340.295	4205750.848	70.819	552886						
T1	471340.295	4205750.848	70.823	552887						
T2	471331.277	4205743.201	70.796	552968						
T2	471331.277	4205743.201	70.793	552969						
T2	471331.277	4205743.201	70.791	552970						
T2	471331.277	4205743.201	70.791	552971						
T2	471331.277	4205743.201	70.789	552972						
T2	471331.277	4205743.201	70.792	552973						
T2	471331.277	4205743.201	70.791	552974						
T2	471331.277	4205743.201	70.789	552975						
T2	471331.277	4205743.201	70.787	552976						
T2	471331.277	4205743.201	70.791	552977						
T2	471331.277	4205743.201	70.788	552978						
T2	471331.277	4205743.201	70.793	552979						
T2	471331.277	4205743.190	70.797	552980						
T2	471331.277	4205743.190	70.791	552981						
T2	471331.277	4205743.190	70.794	552982						
T2	471331.277	4205743.201	70.792	552983						
T2	471331.269	4205743.190	70.794	552984						
T2	471331.269	4205743.190	70.796	552985						
T2	471331.277	4205743.190	70.800	552986						
T2	471331.277	4205743.201	70.795	552987						
T2	471331.277	4205743.201	70.799	552988						
T2	471331.269	4205743.201	70.798	552989						
T2	471331.269	4205743.201	70.803	552990						
T2	471331.277	4205743.190	70.801	552991						
T2	471331.277	4205743.190	70.803	552992						
T2	471331.277	4205743.190	70.798	552993						
T2	471331.277	4205743.190	70.799	552994						
T2	471331.277	4205743.190	70.801	552995						
T2	471331.277	4205743.190	70.800	552996						
T2	471331.277	4205743.190	70.796	552997						
T2	471331.277	4205743.190	70.793	552998						
T2	471331.277	4205743.190	70.793	552999						
T2	471331.277	4205743.190	70.794	553000						
T2	471331.277	4205743.190	70.797	553001						
T2	471331.277	4205743.190	70.794	553002						
T2	471331.277	4205743.190	70.796	553003						
T2	471331.277	4205743.190	70.794	553004						
T2	471331.277	4205743.190	70.791	553005						
T2	471331.277	4205743.190	70.796	553006						
T2	471331.277	4205743.190	70.791	553007						
T2	471331.277	4205743.190	70.791	553008						
T2	471331.277	4205743.190	70.791	553009						
T2	471331.277	4205743.190	70.788	553010						
T2	471331.277	4205743.190	70.791	553011						
T2	471331.277	4205743.190	70.791	553012						
T2	471331.277	4205743.190	70.791	553013						
T2	471331.277	4205743.190	70.792	553014						
T2	471331.277	4205743.190	70.788	553015						
T2	471331.277	4205743.190	70.786	553016						
T2	471331.277	4205743.190	70.785	553017						

Rover Set 1.5  
Transformation to GGRS7 (TM87)

ID	E	N	h (GGRS87)	iToW
T2	471331.277	4205743.190	70.786	553018
T2	471331.277	4205743.190	70.786	553019
T2	471331.277	4205743.190	70.787	553020
T2	471331.277	4205743.190	70.787	553021
T2	471331.277	4205743.190	70.788	553022
T2	471331.277	4205743.190	70.786	553023
T2	471331.277	4205743.190	70.788	553024
T2	471331.277	4205743.190	70.787	553025
T2	471331.277	4205743.190	70.785	553026
T2	471331.277	4205743.190	70.791	553027
T2	471331.277	4205743.190	70.788	553028

Rover Set 1.5  
Statistics

Index	UTC	iTOW	Lat	Lon	Alt (HAE)	Alt (MSL)	GDOP	PACC H	PACC V	PACC 3D	Fix type (GPS)	Carrier Range Status	Reference Carrier Range Status	TTF	TimeStartup	Used SVs	relPosE	relPosN	relPosD	
Unit	time date s	s	°	°	m	m	m	m	m	m		s	s		s					
Count	183	183	183	183	183	183	183	183	183	183	183	183	182	1	183		183	182	182	182
Age	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	182	0		0	1	1	1
Current	09:36:53.0	553031	38.0014902	23.6751613	99.049	65.912	1.8	0.014	0.01	0.02	3D	2	2	16.231	1948.229	G2 G12 G14 G24 G25 G29 G31 G32 R13 R14 R15 R17 R24	51.0918	-5.3716	-0.1323	
Minimum	09:33:51.0	552849	38.0014899	23.6751612	97.819	64.682	1.5	0.014	0.01	0.02		0	0	16.231	1766.229		0	-5.4121	-1.622	
Maximum	09:36:53.0	553031	38.0015603	23.6752666	100.536	67.399	1.8	0.791	1.412	1.62		2	2	16.231	1948.229		60.1058	2.3294	1.068	
Average			38.00152632	23.67521631	98.883	65.745	1.7	0.211	0.36	0.42		1	1	16.231	1857.229		40.076	-1.9615	-0.1069	
Deviation			0.00003363	0.00005001	0.46	0.46	0.1	0.278	0.503	0.573		1	1		52.972		24.3162	3.2424	0.3187	