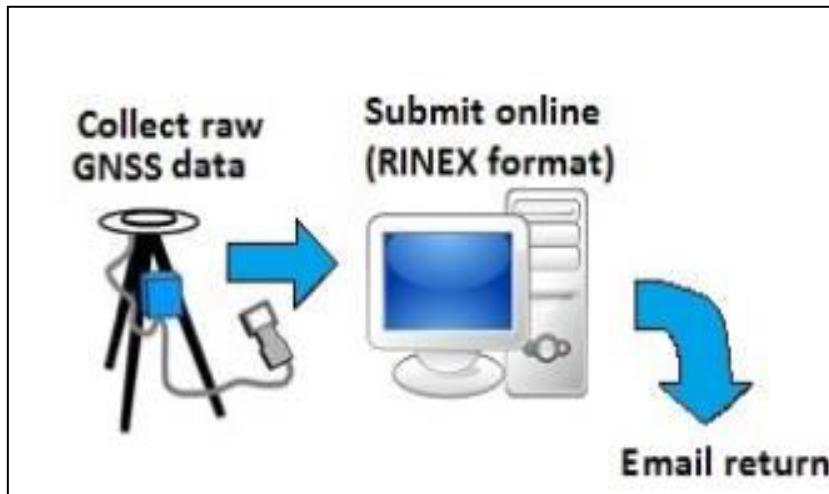




**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ – ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΝΙΚΗΣ ΓΕΩΔΑΙΣΙΑΣ**



ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΔΙΕΘΝΩΝ ΚΕΝΤΡΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ GNSS ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΑΚΡΙΒΗ ΑΠΟΛΥΤΟΥ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΘΕΣΗΣ (PPP)

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ : ΚΑΔΗ ΜΑΡΙΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ: ΤΣΑΚΙΡΗ ΜΑΡΙΑ, ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΡΙΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2016

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η τεχνική εντοπισμού PPP (Precise Point Positioning – Ακριβής Εντοπισμός Θέσης) έχει γίνει ιδιαίτερα δημοφιλής τα τελευταία χρόνια στην επιστημονική κοινότητα, λόγω των πλεονεκτημάτων που παρουσιάζει: προσδιορισμός θέσης με χρήση ενός δέκτη GNSS, μείωση απαιτήσεων σε υπολογιστικό χρόνο και χώρο και υψηλή ακρίβεια θέσης για μεγάλο εύρος εφαρμογών. Ως αποτέλεσμα, αρκετά πανεπιστήμια και ερευνητικά κέντρα προχώρησαν στην ανάπτυξη λογισμικών για την επεξεργασία δορυφορικών δεδομένων με την τεχνική PPP, αλλά και στην δημιουργία διαδικτυακών υπηρεσιών επίλυσης δεδομένων με την ίδια τεχνική που διατίθενται ελεύθερα στο ευρύ κοινό.

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως στόχο την ανάδειξη των διαδικτυακών αυτών Διεθνών Κέντρων Επεξεργασίας (ΔΚΕ), ώστε να φανεί η συμβολή και η χρησιμότητά τους, καθώς επίσης και τη σύγκριση των Κέντρων αυτών κάνοντας χρήση κινηματικών δεδομένων GNSS, ώστε να αναδειχθούν τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που μπορεί να προκύπτουν μέσα από τη σύγκριση αυτή.

Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν τα ΔΚΕ που επιτρέπουν επίλυση κινηματικών δεδομένων, τα οποία είναι το CSRS-PPP του Καναδά, το APPS-NASA του εργαστηρίου Jet Propulsion της Καλιφόρνια, το GAPS του Πανεπιστημίου New Brunswick του Καναδά και το magicGNSS της Αεροδιαστημικής και Αμυντικής Βιομηχανίας Ευρωπαϊκής Ένωσης. Αρχικά δίνεται η περιγραφή τους ώστε να παρουσιαστούν οι λειτουργίες και η χρηστικότητά τους. Στη συνέχεια ακολούθησε η εφαρμογή τους χρησιμοποιώντας πραγματικά αρχεία δεδομένων GNSS που συλλέχτηκαν από διαφορετικές κινηματικές πλατφόρμες (αυτοκίνητο, αεροπλάνο, πλοίο), ώστε μέσω της επεξεργασίας των αρχείων αυτών να πραγματοποιηθεί άμεση σύγκριση συντεταγμένων για τα ίδια αρχεία. Ακόμη, υπολογίστηκαν τα RMS σφάλματα κάθε λύσης και των διαφορών των λύσεων μεταξύ των υπηρεσιών, για να φανεί πόσο κοντά είναι τα ΔΚΕ μεταξύ τους και ποια λύση βρίσκεται περισσότερο κοντά στην πραγματική τιμή.

Στην επεξεργασία αυτή χρησιμοποιήθηκαν όλα τα Κέντρα εκτός από το magicGNSS, το οποίο δεν έδωσε αποτελέσματα για κανένα από τα αρχεία για λόγους μεγέθους αλλά και παλαιότητας των αρχείων, αφού δημιουργήθηκε το 2009. Τα αποτελέσματα της επεξεργασίας αλλά και της σύγκρισης οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι πιο εύχρηστη υπηρεσία και με καλύτερα αποτελέσματα είναι η CSRS-PPP και γι' αυτό επιλέχθηκε και ως αναφορά, αφού είναι η μόνη που πραγματοποίησε επεξεργασία για όλα τα αρχεία ανεξαιρέτως του μεγέθους και της παλαιότητας των αρχείων. Η APPS-NASA δίνει αποτελέσματα με λίγο καλύτερη ακρίβεια, ωστόσο δεν περιλαμβάνει γραφικές απεικονίσεις και δεν ανταποκρίθηκε ως προς όλα τα αρχεία που υποβλήθηκαν. Η CSRS-PPP περιέχει γραφήματα και καλύτερη τεχνική έκθεση, βιοηθώντας τον αναγνώστη. Η υπηρεσία GAPS δίνει αποτελέσματα με μεγάλες αποκλίσεις, παρόλη την ευκολία και την περιεκτικότητα των αρχείων που στέλνει στο χρήστη.

ABSTRACT

Precise Point Positioning (PPP) has become a very popular processing technique in recent years in the scientific community, because of its many advantages namely: positioning using one GNSS receiver, reducing demands on computing time and space and high positioning accuracy for a wide range of applications. As a result, several universities and research centers have developed software to process satellite data using PPP and have also established internet data services freely available to the public.

This study aims to highlight the online International Processing Centers (IPC), to show the contribution and their utility in kinematic positioning applications, and provide a comparison of the obtained results using real kinematic GNSS data.

For this work the online services CSRS-PPP of Canada, APPS-NASA from Jet Propulsion Laboratory in California, GAPS from University of New Brunswick in Canada and magicGNSS from GMV, Aerospace and Defense European community trademark, were used to process data. The real GNSS data files were collected from different kinematic platforms (car, plane, ship) and were sent to each of the above centers.

All centers except magicGNSS sent results for the submitted data files. magicGNSS did not respond and it is probably due to size and date of the input files. The results of the processing and comparison led to the conclusion that the most convenient service, and with better results is the Canadian CSRS-PPP. This service is the only one that performed the processing of all submitted files. Also, CSRS-PPP sends results files with useful graphs and a thorough technical report for the user. APPS-NASA gave results with slightly better accuracy, but does not include graphical representations and failed to respond to all the files submitted. The GAPS service gives results with large variations, but it is noted that the technical reports that are sent to the user are very detailed.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα καθηγήτρια κ. Τσακίρη Μαρία για την ανάθεση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, για τις συμβουλές και την υπομονή της. Την ευχαριστώ για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή της, γιατί χωρίς αυτή δεν θα μπορούσα να ανταπεξέλθω στις απαιτήσεις της συγκεκριμένης μελέτης.

Ευχαριστώ πολύ τους φίλους και την οικογένειά μου για τη στήριξη και συμπαράσταση που μου προσέφεραν σε όλη τη διάρκεια της φοίτησής μου στη Σ.Α.Τ.Μ.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω μέσα από την καρδιά μου τους ανθρώπους που ήταν και είναι δίπλα μου σε όλα τα δύσκολά και εύκολα, ευχάριστα και δυσάρεστα στη ζωή μου, τους γονείς μου, Νίκο και Έφη, την αδερφή μου, Βίκυ και τον άνθρωπό μου, Κώστα. Ένα μεγάλο ευχαριστώ για την υπομονή, την κατανόηση, την αγάπη τους, καθώς και την ψυχολογική υποστήριξη και ενθάρρυνσή τους τόσο κατά την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας, όσο και κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	I
ABSTRACT	II
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	III
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	IV
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ	VII
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ	VII
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ	VIII
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1. Γενικά.....	1
1.2. Σκοπός της διπλωματικής εργασίας.....	2
1.3. Δομή της διπλωματικής εργασίας.....	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΠΟΛΥΤΟΥ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΘΕΣΗΣ ΜΕ GPS	5
2.1. ΑΠΟΛΥΤΟΣ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΘΕΣΗΣ (CLASSICAL GPS POINT POSITIONING)	5
2.1.1. Γενικά.....	5
2.1.2. Ακρίβεια.....	7
2.1.3. Βελτίωση της ακρίβειας προσδιορισμού θέσης σημείου.....	8
2.2. ΑΚΡΙΒΗΣ ΑΠΟΛΥΤΟΣ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΘΕΣΗΣ [PRECISE (ABSOLUTE) POINT POSITIONING, PPP]	9
2.2.1. Γενικά.....	9
2.2.2. Η διαδικασία του Ακριβού Εντοπισμού Θέσης.....	10
2.2.2.1 Εξισώσεις Παρατήρησης.....	11
2.2.2.2 Μοντέλο Συνόρθωσης.....	12
2.2.2.3 Διαδικασία συνόρθωσης.....	14
2.2.3. Μοντέλα Διορθώσεων για τον Ακριβή Εντοπισμό Θέσης (PPP).....	15
2.2.4. Παραδείγματα PPP.....	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΔΙΕΘΝΗ ΚΕΝΤΡΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ GPS	20

3.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	20
3.2. CSRS-PPP (Canadian Spatial Reference System – Precise Point Positioning).....	21
3.2.1. Γενικά.....	21
3.2.2. Η βάση δεδομένων του Καναδικού Χωρικού Συστήματος Αναφοράς.....	22
3.2.3. Διαδικασία.....	22
3.2.4. Αναμενόμενη ακρίβεια.....	25
3.2.5. Έκθεση αποτελεσμάτων.....	26
3.2.6. Λογισμικά χρήσης του CSRS-PPP.....	27
3.2.7. Πλεονεκτήματα του CSRS-PPP.....	27
3.2.8. Μειονεκτήματα του CSRS-PPP.....	27
3.3. APPS-NASA (Automatic Precise Positioning Service-National Aeronautics and Space Administration).....	28
3.3.1. Γενικά.....	28
3.3.2. Διαδικασία.....	29
3.3.3. Τα υποβαλλόμενα αρχεία RINEX.....	31
3.3.4. Αναμενόμενη ακρίβεια.....	31
3.3.5. Το Παγκόσμιο Διαφορικό Σύστημα GPS (Global Differential GPS System, GDGPS).....	32
3.3.6. Έκθεση αποτελεσμάτων.....	33
3.3.7. Η υπηρεσία APPS με δεδομένα πίεσης.....	33
3.3.8. Πλεονεκτήματα της υπηρεσίας APPS.....	34
3.3.9. Μειονεκτήματα της υπηρεσίας APPS.....	35
3.4. GAPS – GPS Analysis and Positioning Service.....	35
3.4.1. Γενικά.....	35
3.4.2. Διαδικασία.....	36
3.4.3. Τα υποβαλλόμενα αρχεία RINEX.....	37
3.4.4. Αναμενόμενη Ακρίβεια.....	38
3.4.5. Έκθεση αποτελεσμάτων.....	38
3.4.6. Πλεονεκτήματα της υπηρεσίας GAPS.....	39
3.4.7. Μειονεκτήματα της υπηρεσίας GAPS.....	39
3.5. Η υπηρεσία magicGNSS.....	39
3.5.1. Γενικά.....	39
3.5.2. Διαδικασία.....	40
3.5.3. Αναμενόμενη Ακρίβεια.....	41
3.5.4. Έκθεση αποτελεσμάτων.....	42
3.5.5. Πλεονεκτήματα της υπηρεσίας magicGNSS.....	42

3.5.6. Μειονεκτήματα της υπηρεσίας magicGNSS.....	43
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....	44
4.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	44
4.2. ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....	44
4.2.1. Γενικά.....	44
4.2.2. Κατηγορίες Δεδομένων.....	44
4.2.3. Οργανισμοί και πληροφορίες που προσφέρουν.....	45
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	49
5.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	49
5.2. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	49
5.2.1. Γενικά.....	49
5.2.2. Μετασχηματισμοί συντεταγμένων.....	49
5.2.3. Διαγράμματα διαφορών μεταξύ των κέντρων επεξεργασίας.....	50
5.2.4. Διαγράμματα τυπικών σφαλμάτων των κέντρων επεξεργασίας για κάθε αρχείο.....	55
5.2.5. Υπολογισμός RMS κάθε λύσης καθώς και των διαφορών των λύσεων των κέντρων επεξεργασίας για κάθε αρχείο.....	62
5.2.6. Η συμβολή του παράγοντα DOP στις επιλύσεις των κέντρων επεξεργασίας.....	65
5.2.7. Γραφήματα.....	67
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	70
6.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	70
6.2. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	70
6.3. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	73
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	75
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.....	A1
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....	A1
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β.....	B1

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1: Συνοπτικά αποτελέσματα της μέσης τυπικής απόκλισης (σ) χονδροειδούς σφάλματος κινηματικού PPP για τις τρείς κινηματικές τροχιές. Οι τιμές αναφέρονται σε μ.....	18
Πίνακας 3.1: Τρόποι συμπίεσης PPP συμβατοί με την υπηρεσία GSRS-PPP.....	24
Πίνακας 3.2: Πίνακας αναμενόμενης ακρίβειας εντοπισμού της APPS με σταθερό, κινούμενο και εναέριο δέκτη μονής και διπλής συχνότητας.....	32
Πίνακας 4.1: Συνοπτική παρουσίαση των πραγματικών αρχείων δεδομένων και των χαρακτηριστικών στοιχείων τους.....	45
Πίνακας 4.2: Δείκτες συλλογής δεδομένων GPS για τα αρχεία CAR126K και RoverElliniko.....	46
Πίνακας 4.3: Δείκτες συλλογής δεδομένων GPS για τα αρχεία blsa356_19, masw356_19, pin1356_19, rnch356_19.....	46
Πίνακας 4.4: Δείκτες συλλογής δεδομένων GPS για το αρχείο Rinex_Ublox_29042015.....	47
Πίνακας 5.1: Συγκεντρωτικός πίνακας που περιλαμβάνει το σφάλμα RMS κάθε λύσης (X, Y, Z) για όλα τα αρχεία δεδομένων.....	63
Πίνακας 5.2: Συγκεντρωτικός πίνακας που περιλαμβάνει το σφάλμα RMS των διαφορών των λύσεων (ΔX , ΔY , ΔZ) μεταξύ των κέντρων επεξεργασίας.....	63
Πίνακας 5.3: Συγκεντρωτικός πίνακας που περιλαμβάνει το σφάλμα RMS των διαφορών των λύσεων (ΔX , ΔY , ΔZ) μεταξύ των υπηρεσιών CSRS-PPP, GAPS και των υπαρχόντων αρχείων θέσης για τα αρχεία CAR126K και Rinex_Ublox_29042015.....	64

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.1: Η αρχή του προσδιορισμού θέσης σημείου GPS.....	5
Εικόνα 3.1: Μορφή της ιστοσελίδας της εφαρμογής PPP μετά την εισαγωγή στην βάση δεδομένων του CSRS.....	23
Εικόνα 3.2: Μορφή ιστοσελίδας υποβολής αρχείων GPS με χρήση κινηματικού εντοπισμού.....	30
Εικόνα 3.3: Ειδική φόρμα συμπλήρωσης για την υποβολή των αρχείων δεδομένων GPS με χρήση της Βασικής Λειτουργίας της υπηρεσίας GAPS.....	37

Εικόνα 3.4: Ακρίβεια εντοπισμού PPP της magicGNSS στην στατική λειτουργία, σε σχέση με την διάρκεια παρατήρησης.....	41
Εικόνα 3.5: Ακρίβεια που προσφέρει η magicGNSS από την λειτουργία σε πραγματικό χρόνο.....	42
Εικόνα 5.1: Σχηματική απεικόνιση των υπολοίπων ψευδοαπόστασης για το αρχείο Rinex_Ublox_29042015 προερχόμενη από την υπηρεσία CSRS-PPP.....	62
Εικόνα 5.2: Γραφική απεικόνιση των αριθμών των δορυφόρων (PRNs) που χρησιμοποιήθηκαν κατά την επίλυση για το αρχείο RoverElliniko που δίνονται από την υπηρεσία GAPS.....	68
Εικόνα 5.3: Γραφική παράσταση εκτίμησης της ζενίθιας τροποσφαιρικής καθυστέρησης που δίνεται από την υπηρεσία CSRS-PPP, για το αρχείο bIsa356_19.....	68
Εικόνα 5.4: Γραφική απεικόνιση των ασαφειών για το αρχείο masw356_19 προερχόμενη από την υπηρεσία CSRS-PPP.....	69
Εικόνα 5.5: Γραφική παράσταση απόκλισης του χρονομέτρου του δέκτη που δίνεται από την υπηρεσία CSRS-PPP, για το αρχείο Rinex_Ublox_29042015.....	69

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 2.1: Χονδροειδές σφάλμα κινηματικού PPP για την πτήση 185 (τροχιά αεροπ.).....	17
Διάγραμμα 2.2: Χονδροειδές σφάλμα κινηματικού PPP για την τροχιά με αυτοκίνητο.....	18
Διάγραμμα 2.3: Χονδροειδές σφάλμα κινηματικού PPP για την τροχιά με τα πόδια.....	18
Διάγραμμα 4.1: Γραφική απεικόνιση πορείας (latitude, longitude) του αρχείου δεδομένων RoverElliniko (αυτοκίνητο).....	47
Διάγραμμα 4.2: Γραφική απεικόνιση πορείας (latitude, longitude) του αρχείου δεδομένων rnch356_19 (αεροπλάνο).....	48
Διάγραμμα 4.3: Γραφική απεικόνιση πορείας (latitude, longitude) του αρχείου δεδομένων Rinex_Ublox_29042015 (πλοίο).....	48
Διάγραμμα 5.1: Διαφορές κατά ΔX, ΔY, ΔZ (σε m) μεταξύ των υπηρεσιών CSRS-PPP και APPS-NASA για το αρχείο RoverElliniko.....	51
Διάγραμμα 5.2: Διαφορές κατά ΔX, ΔY, ΔZ (σε m) μεταξύ των υπηρεσιών GAPS και APPS-NASA για το αρχείο RoverElliniko.....	51

Διάγραμμα 5.3: Διαφορές κατά ΔX, ΔY, ΔZ (σε m) μεταξύ των υπηρεσιών CSRS-PPP και GAPS για το αρχείο RoverElliniko.	52
Διάγραμμα 5.4: Διαφορές κατά ΔX, ΔY, ΔZ (σε m) μεταξύ των υπηρεσιών CSRS-PPP και APPS-NASA για το αρχείο rnch356_19.	52
Διάγραμμα 5.5: Διαφορές κατά ΔX, ΔY, ΔZ (σε m) μεταξύ των υπηρεσιών GAPS και APPS-NASA για το αρχείο rnch356_19.	53
Διάγραμμα 5.6: Διαφορές κατά ΔX, ΔY, ΔZ (σε m) μεταξύ των υπηρεσιών CSRS-PPP και GAPS για το αρχείο rnch356_19.	53
Διάγραμμα 5.7: Διαφορές κατά ΔX, ΔY, ΔZ (σε m) μεταξύ της υπηρεσίας CSRS-PPP και υπάρχοντος αρχείου θέσης για το αρχείο Rinex_Ublox_29042015.	54
Διάγραμμα 5.8: Τυπικά σφάλματα κατά X, Y και Z (σε m) για το αρχείο RoverElliniko ως προς το χρόνο, που προέκυψαν από την επεξεργασία της υπηρεσίας CSRS-PPP.	56
Διάγραμμα 5.9: Τυπικά σφάλματα κατά X, Y και Z (σε m) για το αρχείο RoverElliniko ως προς το χρόνο, που προέκυψαν από την επεξεργασία της υπηρεσίας APPS-NASA.	57
Διάγραμμα 5.10: Τυπικά σφάλματα κατά X, Y και Z (σε m) για το αρχείο RoverElliniko ως προς το χρόνο, που προέκυψαν από την επεξεργασία της υπηρεσίας GAPS.	57
Διάγραμμα 5.11: Τυπικά σφάλματα κατά X, Y και Z (σε m) για το αρχείο blsa356_19 ως προς τον χρόνο, που προέκυψαν από την επεξεργασία της υπηρεσίας CSRS-PPP.	58
Διάγραμμα 5.12: Τυπικά σφάλματα κατά X, Y και Z (σε m) για το αρχείο blsa356_19 ως προς τον χρόνο, που προέκυψαν από την επεξεργασία της υπηρεσίας APPS-NASA.	59
Διάγραμμα 5.13: Τυπικά σφάλματα κατά X, Y και Z (σε m) για το αρχείο blsa356_19 ως προς τον χρόνο, που προέκυψαν από την επεξεργασία της υπηρεσίας GAPS.	59
Διάγραμμα 5.14: Διαφορές στο πλάτος, το μήκος και το ύψος για το αρχείο blsa356_19 που δίνονται από την υπηρεσία CSRS-PPP.	60
Διάγραμμα 5.15: Τυπικά σφάλματα κατά X, Y και Z (σε m) για το αρχείο Rinex_Ublox_29042015, που προέκυψαν από την επεξεργασία της υπηρεσίας CSRS-PPP.	61
Διάγραμμα 5.16: Αποτελέσματα GDOP ως προς τον χρόνο από την υπηρεσία CSRS-PPP για το αρχείο rnch356_19.	66
Διάγραμμα 5.17: Αποτελέσματα GDOP ως προς τον χρόνο από την υπηρεσία CSRS-PPP για το αρχείο rnch356_19.	66
Διάγραμμα 5.18: Αποτελέσματα GDOP ως προς τον χρόνο από την υπηρεσία CSRS-PPP για το αρχείο Rinex_Ublox_29042015.	66

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά

Παραδοσιακά στις περισσότερες γεωδαιτικές εφαρμογές του GPS είναι γνωστό ότι πρέπει να ξεπεραστούν διάφορες δυσκολίες με κυριότερη ότι σε τέτοιου είδους εργασίες πρέπει να χρησιμοποιηθούν πολλαπλοί δέκτες με τους οποίους θα πραγματοποιηθούν δορυφορικές μετρήσεις ταυτόχρονα σε πολλά σημεία. Κάτι τέτοιο κρίνεται απαραίτητο εξ αιτίας της αναγκαιότητας εφαρμογής μεθόδων σχετικού εντοπισμού που παρέχουν αποτελεσματική αντιμετώπιση των περισσότερων σημαντικών σφαλμάτων που εμπεριέχονται στις μετρήσεις και συνεπώς οδηγούν στις υψηλότερες δυνατές ακρίβειες εντοπισμού των σημείων ενδιαφέροντος.

Στην πράξη, ένας ακόμη ανασταλτικός παράγοντας για την εφαρμογή τέτοιων σχετικών μεθόδων εντοπισμού είναι ότι εφόσον ολοκληρωθούν οι εργασίες πεδίου, για τις οποίες απαιτείται ακριβός εξοπλισμός και κατάλληλα εκπαιδευμένο προσωπικό που θα εκτελέσει όχι μόνο έναν σωστό προσχεδιασμό αλλά και τις μετρήσεις στο πεδίο, η επεξεργασία των δεδομένων είναι μια χρονοβόρα διαδικασία που πρέπει να γίνει με προσεκτικό και συστηματικό τρόπο από κατάλληλα καταρτισμένο προσωπικό στην χρήση των απαιτούμενων υψηλών προδιαγραφών λογισμικού προκειμένου να επιτευχθεί υψηλή ακρίβεια και αξιοπιστία των αποτελεσμάτων και τα οποία δεν είναι γενικά πολύ προσιτά σε άπειρους χρήστες ή εύκολα στη χρήση τους (http://portal.survey.ntua.gr/main/labs/hgeod/ddeli/GSE/current_issue_GSE.html).

Παρόλα αυτά, σήμερα με την ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας, μπορούν να αξιοποιηθούν διάφορες διαδικτυακές υπηρεσίες ανάλυσης δορυφορικών δεδομένων GPS, οι οποίες διατίθενται δωρεάν κυρίως από εθνικούς χαρτογραφικούς οργανισμούς και πανεπιστημιακούς ερευνητικούς φορείς. Αυτά τα Διεθνή Κέντρα Επεξεργασίας (ΔΚΕ) βασίζονται είτε σε μεθόδους σχετικού εντοπισμού (relative positioning), χρησιμοποιώντας επιπλέον διαθέσιμα δεδομένα από παραπλήσιους με τα σημεία ενδιαφέροντος μόνιμους σταθμούς αναφοράς, είτε σε μεθόδους υψηλής ακρίβειας απολύτου εντοπισμού σημείων (Precise Point Positioning, PPP) που παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον εξ αιτίας μιας σειράς πρακτικών πλεονεκτημάτων που προσφέρουν. Όλα τα Κέντρα Επεξεργασίας χρησιμοποιούν ως «συνδετικό κρίκο» για τις περισσότερες εφαρμογές ανάλυσης δεδομένων GNSS, αρχεία δεδομένων στη μορφή RINEX και εκφράζουν τα αποτελέσματα στο σύστημα αναφοράς ITRF, ενώ ορισμένες υπηρεσίες τα εκφράζουν και στο τοπικό σύστημα της χώρας από όπου προέρχονται. Επιπλέον, αξίζει να σημειωθεί ότι η ποιότητα και αξιοπιστία των αποτελεσμάτων που παρέχονται από τις αναλύσεις των εν λόγω Κέντρων ποικίλουν ανάλογα με την διάρκεια των μετρήσεων κάθε φορά, όπως θα δειχθεί και από τις αναλύσεις που θα ακολουθήσουν στις επόμενες ενότητες.

Η ανάπτυξη της τεχνικής PPP (Zumberge et al., 1997) έχει επιφέρει σημαντική πρόοδο σε ένα εκτενές εύρος εφαρμογών που απαιτούν υψηλή ακρίβεια θέσης και διαθεσιμότητα εντοπισμού σε ακραία και αντίξια περιβάλλοντα. Η υψηλή ακρίβεια, που παρέχει η συγκεκριμένη τεχνική, οφείλεται στη χρήση τόσο των μετρήσεων ψευδοαπόστασης όσο και των μετρήσεων φάσης στις δύο συχνότητες, L1 και L2 κάνοντας χρήση ενός μόνο δέκτη GNSS. Βασικό χαρακτηριστικό της τεχνικής αυτής είναι ότι χρησιμοποιεί τα ακριβή προϊόντα τροχιάς και χρονομέτρου που παράγονται μέσω της Διεθνούς Υπηρεσίας GPS (IGS).

Συγκεκριμένα, κατά την διαδικασία της μετεπεξεργασίας των μετρήσεων, από το γραμμικό συνδυασμό των διαθέσιμων παρατηρήσεων κώδικα και φάσης μπορεί να υπολογιστεί και να αφαιρεθεί η πρώτης τάξης επίδραση της ιονοσφαιρικής διάθλασης, καθώς επίσης και να γίνει ακριβής εκτίμηση των τιμών για τις ασάφειες φάσης. Παράλληλα εκτιμάται και η επίδραση της τροπόσφαιρας μαζί με άλλες παραμέτρους που υπολογίζονται από την συνόρθωση των μετρήσεων. Επιπλέον, για να επιτευχθεί η καλύτερη δυνατή ακρίβεια από την τεχνική PPP, σφάλματα στις μετρήσεις που αφορούν τις μεταβολές του κέντρου φάσης στην κεραία του δέκτη και στις κεραίες εκπομπής του σήματος στους δορυφόρους διορθώνονται με την χρήση κατάλληλων μοντέλων που έχει υιοθετήσει η Διεθνής Υπηρεσία IGS.

Με τον τρόπο αυτό, οι τεχνικές του Ακριβή Εντοπισμού Θέσης (PPP), παρέχουν υψηλές ακρίβειες της τάξης του εκατοστού, τόσο στον στατικό όσο και στον κινηματικό εντοπισμό, και το κυριότερο το επιτυγχάνουν χωρίς την εξάρτηση αυτού του υπολογισμού από κάποιο σταθμό αναφοράς. Οι δυνατότητες αυτές τις καθιστούν ιδιαίτερα ελκυστικές για την εφαρμογή τους κυρίως σε περιοχές που δεν υπάρχουν δίκτυα σταθμών αναφοράς ή σε απομακρυσμένες περιοχές όπου η πρόσβαση σε υποδομές επικοινωνίας είναι περιορισμένη.

1.2 Σκοπός της Διπλωματικής Εργασίας

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι η επεξεργασία κινηματικών δεδομένων GNSS που έχουν συλλεχθεί από διαφορετικές πλατφόρμες, με την βοήθεια των Διεθνών Κέντρων Επεξεργασίας που χρησιμοποιούν τεχνικές επίλυσης για δεδομένα από κινηματικό εντοπισμό θέσης και η σύγκριση των αποτελεσμάτων των κάθε υπηρεσιών μεταξύ τους, ώστε να φανεί ποια από τις υπηρεσίες παρέχει την καλύτερη ακρίβεια αλλά και τα πιο αξιόπιστα αποτελέσματα με βάση τις λειτουργίες και τα στοιχεία που παρέχει. Ουσιαστικά, σημαντικό ρόλο παίζει η ανάδειξη του κάθε Κέντρου ως προς τις δυνατότητες λειτουργίας του και τις μεθόδους που ακολουθεί στην επεξεργασία των δεδομένων, καθώς επίσης και η ευκολία χρήσης τους από οποιονδήποτε χρήστη.

Αρχικά επιχειρείται μια συνολική αναλυτική παρουσίαση των ΔΚΕ με αναφορά στη διαδικασία χρησιμοποίησής τους από τον οποιονδήποτε αναγνώστη της εργασίας και ενδιαφερόμενο. Παρέχονται πληροφορίες που αφορούν στη διαδικασία υποβολής των αρχείων

RINEX, τα αποδεκτά δεδομένα, τις ακρίβειες που επιτυχάνονται με την μέθοδο αυτή, την έκθεση επεξεργασίας που αποστέλλεται και άλλα.

Τέλος, προκειμένου να συγκριθούν τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των αρχείων παρατηρήσεων, ακολουθήθηκε για το κάθε αρχείο κινηματικού εντοπισμού μια σειρά διαδικασιών καθώς και απαραίτητοι μετασχηματισμοί συντεταγμένων. Οι διαδικασίες αυτές είναι η εύρεση των διαφορών των συντεταγμένων κάθε υπηρεσίας για το ίδιο αρχείο και η παρουσίασή τους σε διαγράμματα, ο υπολογισμός του RMS σφάλματος κάθε λύσης καθώς και ο υπολογισμός του RMS σφάλματος των διαφορών των λύσεων μεταξύ των υπηρεσιών.

1.3 Δομή της Διπλωματικής Εργασίας

Για την κάλυψη των παραπάνω στόχων, η παρούσα εργασία διαρθρώνεται σε έξι επιμέρους κεφάλαια. Στο παρόν κεφάλαιο, αναφέρονται ορισμένα εισαγωγικά στοιχεία. Συγκεκριμένα, παρουσιάζονται οι βασικοί στόχοι που τέθηκαν στην παρούσα μελέτη, καθώς και η δομή των κεφαλαίων που την απαρτίζουν.

Στο 2^ο κεφάλαιο γίνεται περιγραφή των μεθοδολογιών του απόλυτου εντοπισμού θέσης και ειδικότερα του ακριβούς απόλυτου εντοπισμού (PPP), καθώς επίσης γίνεται αναφορά σε ορισμένα ενδεικτικά παραδείγματα κινηματικού εντοπισμού με PPP.

Στο 3^ο κεφάλαιο περιγράφονται τα Διεθνή Κέντρα Επεξεργασίας (ΔΚΕ) δεδομένων GNSS που εφαρμόζουν κινηματικό εντοπισμό και αναλύονται οι διαδικασίες χρησιμοποίησης του κάθε Κέντρου ξεχωριστά.

Το κεφάλαιο 4 περιλαμβάνει την περιγραφή των κινηματικών δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν προκειμένου να πραγματοποιηθεί σύγκριση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από τις λύσεις κάθε ΔΚΕ.

Στο 5^ο κεφάλαιο πραγματοποιείται η ανάλυση των δεδομένων κινηματικού εντοπισμού με την χρήση των ΔΚΕ. Γίνεται σύγκριση των συντεταγμένων και των τυπικών αποκλίσεων που προσφέρουν οι υπηρεσίες ώστε να φανεί το επίπεδο ακρίβειας που δίνει η κάθε μια από αυτές, καθώς επίσης και το ποιο Κέντρο δίνει μεγαλύτερη ακρίβεια σε σχέση με τα πραγματικά αποτελέσματα.

Το 6^ο κεφάλαιο ολοκληρώνει την παρούσα εργασία με αναφορά στα συμπεράσματα που προέκυψαν και στην διατύπωση προτάσεων για μελλοντικές εφαρμογές της συγκεκριμένης μεθοδολογίας με τα ΔΚΕ που αναπτύχθηκε.

Τέλος, παρατίθενται οι βιβλιογραφικές αναφορές που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη και τα παραρτήματα Α και Β. Στο παράρτημα Α παρέχονται διαγράμματα πορείας των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν και των GDOP αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τα ΔΚΕ,

ενώ στο παράρτημα Β παρατίθενται διαγράμματα σύγκρισης συντεταγμένων και τυπικών σφαλμάτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

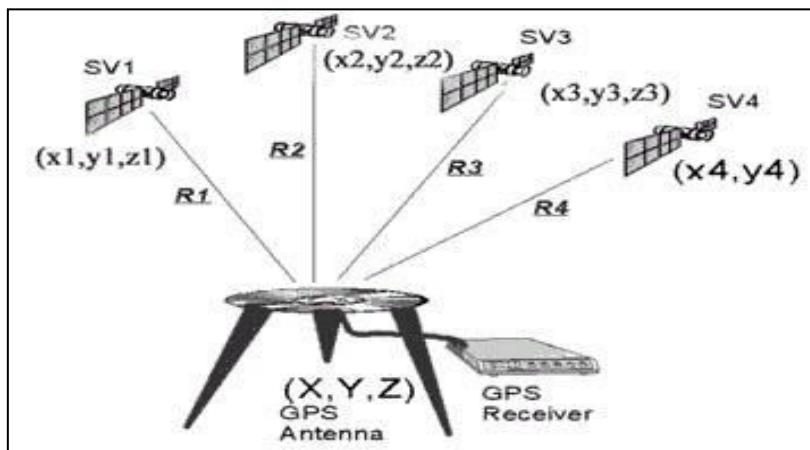
ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΠΟΛΥΤΟΥ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΘΕΣΗΣ ΜΕ GPS

2.1 ΑΠΟΛΥΤΟΣ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΘΕΣΗΣ (CLASSICAL GPS POINT POSITIONING)

2.1.1 Γενικά

Με τον όρο απόλυτος εντοπισμός θέσης ενός σημείου, εννοείται ο προσδιορισμός θέσης του σημείου στο οποίο είναι τοποθετημένος ένας δέκτης GPS χρησιμοποιώντας μόνο τις δικές του παρατηρήσεις.

Κατά την μέθοδο του απόλυτου προσδιορισμού θέσης σημείων, προσδιορίζονται οι συντεταγμένες σημείου (X , Y , Z) από παρατηρήσεις μόνο του αντίστοιχου δέκτη ως προς τουλάχιστον 4 δορυφόρους. Έτσι, οι παρατηρήσεις γίνονται με βάση την εκπεμπόμενη δορυφορική εφημερίδα και ως προς ένα ορισμένο γεωκεντρικό σύστημα αναφοράς (WGS84), έχοντας ως αποτέλεσμα το διάνυσμα που συνδέει τον παρατηρητή με το κέντρο μάζας της γης (εικόνα 2.1). Για να καθοριστεί η θέση του σημείου που βρίσκεται ο δέκτης οποιαδήποτε στιγμή, πρέπει να είναι γνωστή η θέση των δορυφόρων (συντεταγμένες) καθώς επίσης και ένας ελάχιστος αριθμός τεσσάρων αποστάσεων (ranges) του δέκτη προς τέσσερις δορυφόρους.



Εικόνα 2.1: Η αρχή του προσδιορισμού θέσης σημείου GPS.

Αν το εκάστοτε άγνωστο σημείο είναι σταθερό σε σχέση με την επιφάνεια της Γης, τότε η αντίστοιχη διαδικασία εντοπισμού αναφέρεται σαν *Στατικός Προσδιορισμός Θέσης* (Static Positioning). Αντίθετα, αν το προς προσδιορισμό σημείο κινείται σε σχέση με την επιφάνεια της

Γης (ή με άλλα λόγια, σε σχέση με το άμεσο περιβάλλον του), τότε η διαδικασία εντοπισμού αναφέρεται σαν *Κινηματικός Προσδιορισμός Θέσης* (Kinematic Positioning). Οι μέθοδοι στατικού ή κινηματικού προσδιορισμού θέσης μπορεί να χρησιμοποιηθούν και χρησιμοποιούνται τόσο για απόλυτους, όσο και για σχετικούς εντοπισμούς.

Στην πράξη, οι διαδικασίες στατικού προσδιορισμού με το GPS χρησιμοποιούνται κυρίως για γεωδαιτικές εφαρμογές αντίστοιχες των εργασιών κλασικού τριγωνισμού. Αντίστοιχα, οι διαδικασίες κινηματικού προσδιορισμού με το GPS έχουν εφαρμογή κυρίως στην πλοήγηση σκαφών, αεροσκαφών, αυτοκινήτων και γενικότερα για οποιεσδήποτε κινούμενες πλατφόρμες, κάτι που θα απασχολήσει στην συνέχεια την συγκεκριμένη εργασία. Πρόσφατα, με τις τελευταίες εξελίξεις τις τεχνολογίας των δεκτών GPS και την ανάπτυξη καταλλήλων μεθοδολογιών ανάλυσης των συλλεγόμενων μετρήσεων, οι διαδικασίες κινηματικού προσδιορισμού χρησιμοποιούνται ευρύτατα και για εργασίες τοπογραφικής φύσεως.

Ο απόλυτος προσδιορισμός θέσης μπορεί να γίνει είτε σε πραγματικό χρόνο, όπου αναφέρεται στην λύση “ναυσιπλοΐας” (navigation solution), από ταυτόχρονες παρατηρήσεις του δέκτη προς S δορυφόρους, είτε και εκ των υστέρων (post-processing) με παρατηρήσεις πολλών εποχών από διαφορετικούς δορυφόρους που οδηγούν σε μεγαλύτερη ακρίβεια θέσης και χρόνου. Κατά τον απόλυτο προσδιορισμό, αν υφίσταται η λεγόμενη “λύση ναυσιπλοΐας” όπου ο δέκτης βρίσκεται σε κίνηση (κινηματική εφαρμογή) και δίνει τη θέση του κάθε χρονική στιγμή, η ακρίβεια προσδιορισμού των συντεταγμένων του δέκτη είναι της τάξης των 10-50 m. Εάν ο δέκτης είναι ακίνητος (στατική εφαρμογή) η ακρίβεια βελτιώνεται σημαντικά και φτάνει τα μερικά μέτρα. Οι ακρίβειες, οι οποίες επιτυγχάνονται στον απόλυτο εντοπισμό θέσης μετά από αρκετή ώρα παρατηρήσεων με την χρήση ενός δέκτη ο οποίος μετράει σε κώδικα, είναι της τάξης των 25 μέτρων εάν οι μετρήσεις γίνονται στον C/A κώδικα, ενώ αν οι μετρήσεις γίνονται στον P κώδικα η ακρίβεια γίνεται 10 μέτρα περίπου (Φωτίου & Πικριδάς, 2012).

Για τον απόλυτο προσδιορισμό χρησιμοποιούνται συνήθως μόνο παρατηρήσεις ψευδοαποστάσεων (pseudo-ranges) από κώδικες και κυρίως από κώδικα C/A, δεδομένου των σφαλμάτων που εμπεριέχονται όπως αυτό που προέρχεται από την αδυναμία συγχρονισμού των χρονομέτρων δορυφόρων και δέκτη καθώς και το σφάλμα των ατμοσφαιρικών καθυστερήσεων του σήματος GPS. Για την εξάλειψη των συστηματικών σφαλμάτων των χρονομέτρων των δορυφόρων απαιτούνται οι ταυτόχρονες μετρήσεις απόστασης από τουλάχιστον τέσσερις δορυφόρους, ενώ για τον περιορισμό των σφαλμάτων των ατμοσφαιρικών καθυστερήσεων χρησιμοποιείται ο σχετικός εντοπισμός θέσης στις γεωδαιτικές εφαρμογές.

Όταν υπάρχει επιθυμία προσδιορισμού θέσης σε κάθε χρονική στιγμή με μικρή όμως ακρίβεια (μερικά μέτρα), πραγματοποιείται η λύση της ναυσιπλοΐας με μετρήσεις ψευδοαπόστασης. Η λύση αυτή γίνεται αυτόματα μέσα στον δέκτη όπου δίνονται ως αποτέλεσμα οι συντεταγμένες της θέσης του δέκτη οι οποίες αναφέρονται συνήθως στο WGS84. Έτσι οι άγνωστες παράμετροι είναι τέσσερις, τρείς για τις συντεταγμένες των δεκτών και μια για το σφάλμα των χρονομέτρων των δεκτών. Όταν λαμβάνονται περισσότερες ταυτόχρονες μετρήσεις

και ο αριθμός των δορυφόρων είναι μεγαλύτερος τότε, όπως γνωρίζουμε, η καλύτερη λύση δίνεται από μαθηματικές τεχνικές όπως η χρήση συνόρθωσης των ελαχίστων τετραγώνων.

2.1.2 Ακρίβεια

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη παράγραφο (2.1.1), κατά τον απόλυτο προσδιορισμό αν υφίσταται η λεγόμενη “λύση ναυσιπλοΐας” όπου ο δέκτης βρίσκεται σε κίνηση (κινηματική εφαρμογή) και δίνει τη θέση του κάθε χρονική στιγμή, η ακρίβεια προσδιορισμού των συντεταγμένων του δέκτη είναι της τάξης των 10-50 μέτρων. Εάν ο δέκτης είναι ακίνητος (στατική εφαρμογή) η ακρίβεια βελτιώνεται σημαντικά και φτάνει τα μερικά μέτρα. Οι ακρίβειες, οι οποίες επιτυγχάνονται στον απόλυτο εντοπισμό θέσης μετά από αρκετή ώρα παρατηρήσεων με την χρήση ενός δέκτη ο οποίος μετράει σε κώδικα, είναι της τάξης των 25 μέτρων εάν οι μετρήσεις γίνονται στον C/A κώδικα, ενώ αν οι μετρήσεις γίνονται στον P κώδικα η ακρίβεια γίνεται 10 μέτρα περίπου. Επιπρόσθετα οι ακρίβειες που σχετίζονται με τον απόλυτο εντοπισμό θέσης κυμαίνονται,

- 20-30 m όταν χρησιμοποιείται η λειτουργία του τυπικού απόλυτου εντοπισμού (SPS, standard positioning service) που αντιπροσωπεύει το επίπεδο ακρίβειας των περισσότερων εφαρμογών χρήσης ενός δέκτη GPS.
- 2-15 m όταν χρησιμοποιείται η λειτουργία του ακριβούς απόλυτου εντοπισμού (PPP, precise positioning service).

Η ακρίβεια του απόλυτου εντοπισμού θέσης σημείων είναι περιορισμένη ως αποτέλεσμα της ύπαρξης χονδροειδών σφαλμάτων (biases) και θορύβου. Αυτά τα σφάλματα οφείλονται σε φυσικούς παράγοντες όπως η επίδραση της ατμόσφαιρας στο σήμα του δορυφόρου, αλλά και σε παράγοντες που αναφέρονται στην τροχιά των δορυφόρων και στις συντεταγμένες των επίγειων σταθμών. Τα σφάλματα αυτά συνοπτικά είναι:

Σφάλματα εφημερίδας: (ephemeris errors) προκύπτουν από την διαφορά της πραγματικής θέσης των δορυφόρων με εκείνη που υπολογίζεται από τις εκπεμπόμενες εφημερίδες και σε αυτά μπορούν να προστεθούν και τα σφάλματα του χρονομέτρου των δορυφόρων. Τα σφάλματα αυτά συνήθως είναι της τάξεως των 3-4 m.

Σφάλματα λόγω ατμόσφαιρας: (ionospheric and tropospheric delays) προκύπτουν από την διαφορά της πραγματικής ταχύτητας διάδοσης των σημάτων με την ταχύτητα διάδοσης του φωτός. Η πηγή αυτών των σημάτων μπορεί να χωριστεί σε δύο συνιστώσες: την ιονοσφαιρική και τροποσφαιρική καθυστέρηση. Η ιονοσφαιρική καθυστέρηση οφείλεται στην διάθλαση που παρατηρείται στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας και είναι πολύ δύσκολο να προβλεφθεί. Προκαλεί σφάλματα μερικών μέτρων στην παρατηρούμενη βάση και μπορεί να διορθωθεί με την χρήση δεκτών δύο συχνοτήτων. Η τροποσφαιρική διάθλαση είναι περισσότερο προβλέψιμη και λαμβάνει χώρα στα τελευταία 40 km της ατμόσφαιρας. Εξαρτάται από την θερμοκρασία, την

πίεση και την υγρασία γι' αυτό και στο ξηρό τμήμα της τροπόσφαιρας η διάθλαση αυτή μπορεί εύκολα να μοντελοποιηθεί ενώ η επίδρασή της στις μετρήσεις είναι αμελητέα. Αντίθετα το υγρό κομμάτι της ατμόσφαιρας δημιουργεί σοβαρά προβλήματα δημιουργώντας σφάλματα της τάξεως του 1 m.

Πολλαπλής διαδρομής (multipath): προκαλούνται από την ανάκλαση των σημάτων των δορυφόρων σε άλλες επιφάνειες προτού καταλήξουν στον δέκτη και μπορεί να φτάσουν από 1 έως 2 m. Ελαχιστοποιούνται από την καλή επιλογή των σημείων στα οποία θα τοποθετηθούν οι δέκτες.

Σφάλμα δέκτη: πρόκειται για τυχαίο σφάλμα που οφείλεται στην ακρίβεια μέτρησης του δέκτη.

2.1.3 Βελτίωση της ακρίβειας προσδιορισμού θέσης σημείου

Με την κατάργηση των SA (εσκεμμένα σφάλματα) από το 2000 τα συστήματα GPS άρχισαν πια να χρησιμοποιούνται παντού και ο πιο σημαντικός παράγοντας που προκαλεί την ύπαρξη σφαλμάτων στο GPS είναι η ιονόσφαιρα. Καθώς ένα GPS σήμα περνά μέσω των φορτισμένων σωματιδίων της ιονόσφαιρας αυτό αναπηδά δεξιά-αριστερά με αποτέλεσμα να επιβραδύνεται η ταχύτητά του. Ειδικά την ημέρα όπου η θερμοκρασία είναι ψηλότερη το φαινόμενο αυτό είναι πιο έντονο. Κατόπιν, το GPS σήμα διέρχεται από την τροπόσφαιρα, όπου και εδώ μπορεί να επηρεαστεί η ταχύτητά του από τους υδρατμούς και τα καιρικά φαινόμενα που επικρατούν στο στρώμα αυτό. Καθώς διέρχεται το σήμα από τα δύο αυτά στρώματα μπορεί να προκληθεί σε αυτό ένα σφάλμα παρόμοιο με αυτό που προκαλείται από τα ρολόγια μικρής ακρίβειας.

Συγκρίνοντας τις καθυστερήσεις δύο φερόντων συχνοτήτων L1 και L2 στο GPS σήμα συμπεραίνεται το είδος του μέσου, μέσω του οποίου περνάει το σήμα (π.χ. ατμόσφαιρα) και έτσι γίνεται εφικτό να ακολουθήσουν οι απαιτούμενες διορθώσεις. Δυστυχώς όμως, αυτός ο τρόπος είναι δύσκολο να εφαρμοστεί διότι, αφ' ενός απαιτεί έναν πολύ πολύπλοκο δέκτη και αφ' ετέρου μόνο ο στρατός έχει πρόσβαση σε τέτοιου είδους σήματα με "δυικές συχνότητες". Οι κατασκευαστικές εταιρείες έχουν εργαστεί γύρω από αυτό το πρόβλημα με κάποιες στρατηγικές οι οποίες είναι απόλυτα μυστικές.

Περαιτέρω βελτίωση στον προσδιορισμό θέσης σημείου με τον απόλυτο εντοπισμό θα μπορούσε να επιτευχθεί μέσω της χρήσης προϊόντων ακριβείας (εφημερίδες και χρονόμετρα δορυφόρων). Αυτή η μέθοδος ονομάζεται Ακριβής Εντοπισμός Θέσης (Precise Point Positioning) και περιγράφεται λεπτομερώς στην παρακάτω ενότητα.

2.2 ΑΚΡΙΒΗΣ ΑΠΟΛΥΤΟΣ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΘΕΣΗΣ [PRECISE (ABSOLUTE) POINT POSITIONING, PPP]

2.2.1 Γενικά

Η διαθεσιμότητα προϊόντων ακριβείας, όπως τροχιακών δεδομένων και χρονομέτρων των δορυφόρων GPS, έχει επιτρέψει την ανάπτυξη μιας νέας τεχνικής εντοπισμού γνωστή και ως Precise Point Positioning (PPP), δηλαδή Ακριβής Εντοπισμός Θέσης Σημείου. Η τεχνική αυτή βασίζεται στην επεξεργασία μη-διαφορικών παρατηρήσεων ψευδοαπόστασης και φέρουσας φάσης από έναν δέκτη GPS και ουσιαστικά εξαλείφει τους περιορισμούς που εισήγαγε η διαφορική επεξεργασία αφού πλέον δεν είναι απαραίτητη η ύπαρξη σταθμού βάσης. Συνεπώς, οι τεχνικές PPP προσφέρουν μια απλούστερη εναλλακτική του διαφορικού GPS και σχεδόν ίδιας ακρίβειας (Zumberge et al., 1997; Kouba & Heroux, 2001).

Αν και η εξέλιξη της μεθόδου του ακριβή εντοπισμού θέσης σημείων χρονολογείται από το 1976, η μέθοδος αυτή μελετήθηκε σοβαρά από τα τέλη της δεκαετίας του 1990. Κατά την διάρκεια των τελευταίων δυο δεκαετιών, η μέθοδος PPP έχει ερευνηθεί εκτενώς και πολλά πακέτα λογισμικού έχουν αναπτυχθεί στηριζόμενα στην μέθοδο αυτή. Έχει αποδειχθεί ότι ο προσδιορισμός της θέσης ενός σημείου ενδιαφέροντος με ακρίβεια της τάξης του εκατοστού είναι εφικτός στην μετά-επεξεργασία, στον στατικό εντοπισμό και ενδεχομένως επίσης για κινηματικές εφαρμογές (Zumberge et al, 1997, Gao & Kongzhe, 2004, Choy, 2009).

Συνήθως, χρησιμοποιείται ένας μόνο δέκτης GNSS δύο συχνοτήτων, έτσι ώστε από τον γραμμικό συνδυασμό των διαθέσιμων μετρήσεων κώδικα και φάσης να μπορεί να υπολογιστεί και να αφαιρεθεί η πρώτης τάξης επίδραση της ιονοσφαιρικής διάθλασης, καθώς επίσης και να γίνει ακριβής εκτίμηση των τιμών για τις ασάφειες φάσης. Παράλληλα εκτιμάται και η επίδραση της τροπόσφαιρας μαζί με άλλες παραμέτρους που υπολογίζονται από την συνόρθωση των μετρήσεων.

Η ακρίβεια της μεθόδου είναι ανεξάρτητη του μήκους βάσης και του σταθμού αναφοράς και αγγίζει τα 5-10 cm (Kouba & Heroux, 2001). Για να επιτευχθεί η καλύτερη δυνατή ακρίβεια από την τεχνική PPP, σφάλματα στις μετρήσεις που αφορούν τις μεταβολές του κέντρου φάσης στην κεραία του δέκτη και στις κεραίες εκπομπής του σήματος στους δορυφόρους διορθώνονται με την χρήση κατάλληλων μοντέλων που έχει υιοθετήσει η Διεθνής Υπηρεσία IGS.

Η μέθοδος PPP έχει σημαντικά πλεονεκτήματα συγκριτικά με τις διαφορικές τεχνικές απολύτου εντοπισμού θέσης. Απαιτεί μόνο ένα δέκτη GNSS και δεν χρειάζεται να υπάρχει κάποιος σταθμός αναφοράς κοντά στο χρήστη. Ακόμη, οι εκτιμήσεις της θέσης του χρήστη εκφράζονται σε ένα παγκόσμιο πλαίσιο αναφοράς και έχουν πολύ μεγαλύτερη ακρίβεια, ενώ τέλος μειώνει το κόστος των εργασιών και απλοποιεί τις εργασίες πεδίου. Μειονεκτήματα της μεθόδου αυτής μπορούν να θεωρηθούν η ανάγκη για μεγάλα χρονικά διαστήματα συνεχών

μετρήσεων καθώς και οι απαιτήσεις για μεταφορά επιπλέον δεδομένων δορυφορικών εφημερίδων και μοντέλων συνόρθωσης προς τον δέκτη. Τα μειονεκτήματα όμως αυτά αντισταθμίζονται από την υψηλότατη ακρίβεια προσδιορισμού θέσης που παρέχει η μέθοδος αυτή προς τον χρήστη, η οποία μπορεί πολλές φορές να εκφραστεί και σε εκατοστά του μέτρου, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω.

Όσον αφορά τις προκλήσεις, η μέθοδος PPP αντιμετωπίζει αρκετές, προκειμένου να επιτευχθούν οι πλήρεις δυνατότητές της σε διάφορες εφαρμογές. Μεταξύ των προκλήσεων αυτών είναι και οι μεγάλοι χρόνοι παρατήρησης.

2.2.2 Η διαδικασία του Ακριβού Εντοπισμού Θέσης

Καθημερινά, διάφορες on-line υπηρεσίες ανάλυσης δορυφορικών δεδομένων εντοπισμού (PPP) (Κέντρα Ανάλυσης της Διεθνούς Υπηρεσίας GNSS) παρέχουν υψηλής ακρίβειας και αξιοπιστίας δεδομένα τροχιάς δορυφόρου, καθώς και τις διορθωτικές παραμέτρους των χρονομέτρων τους ανάλογα με την απαιτούμενη κάθε φορά ακρίβεια.

Για παράδειγμα, το Καναδικό Σύστημα Ελέγχου (Canadian Active Control System, CACS) μαζί με τα ακριβή προϊόντα τροχιάς GPS παρέχει στους χρήστες GPS αποτελεσματική πρόσβαση σε σύγχρονα γεωδαιτικά συστήματα αναφοράς (NAD83CSRS, ITRF, κ.λπ.) καθώς και την δυνατότητα προσδιορισμού της θέσης τους στο διεθνές γεωκεντρικό σύστημα αναφοράς ITRF (International Terrestrial Reference Frame) με την ακρίβεια εκατοστού και βελτιώνει την αποτελεσματικότητα και την ακρίβεια των εφαρμογών GPS (http://www.geod.nrcan.gc.ca/index_e/aboutus_e/programs_e/cacs_e.html).

Για τους χρήστες GPS που ενδιαφέρονται για προσδιορισμό θέσης με ακρίβεια στο επίπεδο του μέτρου μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας απλός απόλυτος εντοπισμός που συνδυάζει μετρήσεις ψευδοαποστάσεων με ακριβή προϊόντα τροχιάς και χρονομέτρων. Μια τέτοια προσέγγιση ακολουθείται από το Γεωδαιτικό Τμήμα Ερευνών του Καναδά (GSD), που χρησιμοποιεί δεδομένα που συλλέγονται κάθε 30sec από επιλεγμένους σταθμούς της IGS εξοπλισμένους με σταθερά ατομικά χρονόμετρα (Heroux & Kouba, 1995). Επίσης χρησιμοποιεί εκτιμήσεις της IGS για τα χρονόμετρα των δορυφόρων ανά διάστημα 15min. Αυτά τα προϊόντα ικανοποιούν τους χρήστες GPS για παρατηρήσεις με υψηλά ποσοστά δεδομένων είτε με στατικό είτε με κινηματικό εντοπισμό.

Για τους χρήστες που επιδιώκουν μεγάλη γεωδαιτική ακρίβεια απαιτείται η χρησιμοποίηση περίπλοκου λογισμικού επεξεργασίας όπως τα: GIPSY (Lichten et al., 1995), BERNSE (Rothacher & Mervart, 1996) και GAMIT (King & Bock, 1999). Οι χρήστες GPS επιτυγχάνουν τον ακριβή εντοπισμό θέσης με την χρήση των ακριβών προϊόντων τροχιάς της IGS και τον συνδυασμό των παρατηρήσεων φάσης GPS με τα δεδομένα από τους μόνιμους σταθμούς αναφοράς. Το λογισμικό BERNSE (BSW) PPP είναι πολύ γρήγορο και αποτελεσματικό στην παραγωγή ακρίβειας

συντεταγμένων σταθμού σε επίπεδο cm. Παρ'όλα αυτά, είναι αδύνατον να επιτευχθεί ποιότητα συντεταγμένων όπως λαμβάνεται από την ανάλυση του δικτύου.

Για τους χρήστες που ενδιαφέρονται για εναέριες εφαρμογές, το GrafNav είναι ένα κινηματικό εργαλείο επεξεργασίας τροχιάς για εναέριες εφαρμογές, το οποίο εξασφαλίζει στον PPP μια θέση για το μέλλον. Το λογισμικό είναι σε θέση να επεξεργάζεται κώδικα μονίς και διπλής συχνότητας και παρατηρήσεις φάσης, καθώς και ακριβή αρχεία τροχιάς και χρονομέτρου. Σύμφωνα με το Waypoint (2006), μπορεί να επιτευχθεί ακρίβεια της τάξης των 10-20 cm για τυπικές ατμοσφαιρικές έρευνες.

Πρόσφατα, έχουν προστεθεί στους διάφορους τύπους λογισμικών επεξεργασίας (GIPSY, BERNESE) αλγόριθμοι του Ακριβού Εντοπισμού Θέσης Σημείου (PPP) που χρησιμοποιούν μη διαφορικές παρατηρήσεις φάσης. Με την χρήση δεδομένων από ένα και μόνο σταθμό οι χρήστες έχουν την δυνατότητα να προσδιορίσουν τις συντεταγμένες θέσεων με ακρίβεια εκατοστού στο σύστημα αναφοράς που παρέχεται από τα προϊόντα τροχιάς της IGS. Θα πρέπει να επισημανθεί ότι το λογισμικό επεξεργασίας για τον Ακριβή Εντοπισμό Θέσης που χρησιμοποιείται διεθνώς από τα διάφορα κέντρα επεξεργασίας εξελίσσεται συνεχώς από την αρχική του έκδοση (Heroux et al, 1993) για να παρέχει αποτελέσματα όλο και υψηλότερης ακρίβειας.

Ο προσδιορισμός θέσης σημείου με την συγκεκριμένη διαδικασία εξαλείφει την ανάγκη για ταυτόχρονη απόκτηση δεδομένων από ένα σταθμό αναφοράς (base) ή ένα δίκτυο σταθμών και του σημείου που βρίσκεται ο χρήστης GPS, κάτι το οποίο συμβαίνει στον διαφορικό εντοπισμό. Επίσης ο PPP έχει πρωθήσει και αναδείξει τις διάφορες γεωδαιτικές υπηρεσίες που παρέχουν πλέον την δυνατότητα εντοπισμού θέσης με μια απλή υποβολή αιτήματος από τον χρήστη και αποστολή ενός έγκυρου αρχείου παρατήρησης GPS (π.χ. Zumberge, 1999).

2.2.2.1 Εξισώσεις Παρατήρησης

Οι γραμμικοί συνδυασμοί για την ιονόσφαιρα (ionospheric-free combinations) των GPS παρατηρήσεων διπλής συχνότητας ψευδοαπόστασης (P) και φέρουσας φάσης (Φ) στον Ακριβή Απόλυτο Εντοπισμό, σχετίζονται με την θέση του χρήστη και τις παραμέτρους χρονομέτρου, τροπόσφαιρας και ασάφειας σύμφωνα με τις ακόλουθες απλοποιημένες εξισώσεις παρατήρησης:

$$\ell P = \rho + c (dT - dt) + T_r + \varepsilon_P \quad (2.2)$$

$$\ell f = \rho + c (dT - dt) + T_r + N \lambda + \varepsilon_\phi \quad (2.3)$$

όπου:

ℓP (P3) : είναι ο γραμμικός συνδυασμός για την ιονόσφαιρα των $P1$ και $P2$ ψευδοαποστάσεων ($2.546P1 - 1.546P2$),

ℓ_f (L3) : είναι ο γραμμικός συνδυασμός για την ιονόσφαιρα των L1 και L2 φερόμενων φάσεων ($2.546\lambda_1\phi_1 - 1.546\lambda_2\phi_2$),

dT : είναι η απόκλιση του χρονομέτρου του δέκτη του σταθμού από τον χρόνο GPS,

dt : είναι η απόκλιση του χρονομέτρου του δορυφόρου από τον χρόνο GPS,

c : είναι η ταχύτητα του φωτός στο κενό,

T_r : είναι η καθυστέρηση διαδρομής του σήματος, λόγω της ουδέτερης ατμόσφαιρας (neutral-atmosphere) (κυρίως η τροπόσφαιρα)

N : είναι η μη-ακέραια ασάφεια φάσης του συνδυασμού φέρουσας φάσης της ιονόσφαιρας (ionospheric-free),

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda$: είναι τα σε συνδυασμό φέρουσας φάσης μήκη κύματος L1 L2 και L3 αντίστοιχα,

$\varepsilon_p, \varepsilon_\phi$: είναι οι σχετικές μετρημένες συνιστώσες θορύβου, συμπεριλαμβανομένης και της πολλαπλής διαδρομής.

Το σύμβολο ρ είναι η γεωμετρική απόσταση που υπολογίζεται με επανάληψη από την θέση του δορυφόρου (X_s, Y_s, Z_s) κατά την εποχή μετάδοσης t και την θέση του σταθμού (x, y, z) κατά την εποχή λήψης $T = t + \rho/c$, δηλαδή

$$\rho = \sqrt{(X_s-x)^2 + (Y_s-y)^2 + (Z_s-z)^2} \quad (2.4)$$

Εκφράζοντας την καθυστέρηση διαδρομής του σήματος της τροπόσφαιρας (T_r) ως ένα προϊόν καθυστέρησης της ζενίθιας διαδρομής του σήματος (zenith path delay, zpd) και συνάρτηση απεικόνισης (mapping function, M), η οποία σχετίζεται με την καθυστέρηση κεκλιμένης διαδρομής προς την καθυστέρηση ζενίθιας διαδρομής, προσφέρει στον εντοπισμό θέσης σημείου το παρακάτω μοντέλο μαθηματικών συναρτήσεων για παρατηρήσεις ψευδοαπόστασης και φάσης:

$$f_p = \rho + c dT + M zpd + \varepsilon_p - \ell_p = 0 \quad (2.5)$$

$$f_\phi = \rho + c dT + M zpd + N \lambda + \varepsilon_\phi - \ell_\phi = 0 \quad (2.6)$$

2.2.2.2 Μοντέλο Συνόρθωσης

Η γραμμικοποίηση των εξισώσεων παρατήρησης (2.5) και (2.6) γύρω από τις a-priori τιμές των παραμέτρων και τις παρατηρήσεις (X^0, ℓ) γίνεται, σε μορφή πίνακα:

$$A d + W - V = 0, \quad (2.7)$$

όπου Α είναι ο πίνακας σχεδιασμού, δ είναι το διάνυσμα των διορθώσεων των αγνώστων παραμέτρων X, W = f(X⁰, θ) είναι το διάνυσμα κλεισίματος και V είναι το διάνυσμα των υπολοίπων.

Οι μερικές παράγωγοι των εξισώσεων παρατήρησης συναρτήσει του X, οι οποίες στην περίπτωση του Ακριβή Εντοπισμού Θέσης (PPP) αποτελούνται από τέσσερις τύπους παραμέτρων: την θέση του σταθμού (x, y, z), το χρονόμετρο του δέκτη (dT), την καθυστέρηση του σήματος λόγω σφάλματος της τροπόσφαιρας (troposphere zenith path delay) (zpd) και την ασάφεια φέρουσας φάσης μη-ακέραιων κύκλων (N), διαμορφώνουν τον πίνακα σχεδιασμού Α ως εξής:

$$A = \begin{bmatrix} \frac{\partial f(X, \theta P)}{\partial X_x} & \frac{\partial f(X, \theta P)}{\partial X_y} & \frac{\partial f(X, \theta P)}{\partial X_z} & \frac{\partial f(X, \theta P)}{\partial X_dT} & \frac{\partial f(X, \theta P)}{\partial X_{zpd}} & \frac{\partial f(X, \theta P)}{\partial X_{Nj(j=1, nsat)}} \\ \frac{\partial f(X, \theta \Phi)}{\partial X_x} & \frac{\partial f(X, \theta \Phi)}{\partial X_y} & \frac{\partial f(X, \theta \Phi)}{\partial X_z} & \frac{\partial f(X, \theta \Phi)}{\partial X_dT} & \frac{\partial f(X, \theta \Phi)}{\partial X_{zpd}} & \frac{\partial f(X, \theta \Phi)}{\partial X_{Nj(j=1, nsat)}} \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

$$\text{με } \frac{\partial f}{\partial X_x} = \frac{x - X_s}{\rho}, \quad \frac{\partial f}{\partial X_y} = \frac{y - Y_s}{\rho}, \quad \frac{\partial f}{\partial X_z} = \frac{z - Z_s}{\rho}, \quad (2.9)$$

$$\frac{\partial f}{\partial X_dT} = C, \quad \frac{\partial f}{\partial X_{zpd}} = M, \quad \frac{\partial f}{\partial X_{Nj(j=1, nsat)}} = 0 \quad \text{ή} \quad 1 \quad (2.10)$$

$$X = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ dT \\ zpd \\ Nj (j = 1, nsat) \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

Η λύση των ελαχίστων τετραγώνων με a priori περιορισμούς (P_x^0) στις παραμέτρους και χρήση πίνακα βάρους W δίνεται από την σχέση:

$$\delta = -(P_x^0 + A^T P_\theta A)^{-1} A^T P_\theta W, \quad (2.12)$$

όπου P_θ είναι ο πίνακας παρατήρησης βάρους, έτσι ώστε η κατ' εκτίμηση παράμετροι είναι:

$$\hat{X} = X^0 + \delta \quad (2.13)$$

με τον πίνακα μεταβλητότητας συμεταβλητότητας:

$$C_{\hat{X}} = P_{\hat{X}}^{-1} = (P_x + A^T P A)^{-1} \quad (2.14)$$

2.2.2.3 Διαδικασία συνόρθωσης

Το αριθμητικό μοντέλο παρατήρησης για τον Ακριβή Εντοπισμό Θέσης (PPP) που χρησιμοποιεί η διαδικασία συνόρθωσης των μη διαφορικών παρατηρήσεων φάσεων και ψευδοαποστάσεων σύμφωνα με τους Kuba και Heroux (2001), περιλαμβάνει τέσσερις τύπους παραμέτρων: την Θέση του σταθμού (x, y, z), το χρονόμετρο του δέκτη (dT), την καθυστέρηση του σήματος λόγω τροπόσφαιρας (troposphere zenith path delay) (zpd) και τις ασάφειες φέρουσας φάσης μη-ακέραιων (non-integer) κύκλων (N).

Η Θέση του σταθμού μπορεί να είναι σταθερή ή να μεταβάλλεται με την πάροδο του χρόνου, ανάλογα με τη δυναμική του χρήστη. Αυτές οι δυναμικές θα μπορούσαν να κυμαίνονται από δεκάδες μέτρα ανά δευτερόλεπτο στην περίπτωση ενός εδαφικού οχήματος μέχρι μερικά χιλιόμετρα ανά δευτερόλεπτο για έναν Δορυφόρο που περιστρέφεται σε Χαμηλή Τροχιά γύρω από την Γη (Low Earth Orbiter) (LEO).

Το χρονόμετρο του δέκτη μπορεί να παρουσιάζει σφάλματα ανάλογα με την ποιότητα του ταλαντωτή του, π.χ. περίπου 0,1 ns/sec (ισοδύναμη με αρκετά cm/sec) στην περίπτωση ενός εσωτερικού χρονομέτρου χαλαζία με σταθερότητα συχνότητας περίπου 10^{-10} .

Η καθυστέρηση του σήματος λόγω τροπόσφαιρας (zpd) θα ποικίλει σε χρόνο κατά ένα σχετικά μικρό ποσό, της τάξης των λίγων εκατοστών/ώρα.

Τέλος, οι ασάφειες φέρουσας φάσης (N) θα παραμείνουν σταθερές για όσο διάστημα ο δορυφόρος δεν αναπροσανατολίζεται (π.χ., κατά τη διάρκεια μιας περιόδου όπου έγινε διακοπή του σήματος) και οι φάσεις είναι χωρίς απώλειες κύκλου, μια κατάσταση που όμως απαιτεί στενή παρακολούθηση.

Χρησιμοποιώντας το δείκτη i για την απεικόνιση μιας συγκεκριμένης χρονικής περιόδου φαίνεται, ότι χωρίς τις παρατηρήσεις μεταξύ των διαδοχικών χρονικών περιόδων, οι εκτιμήσεις της αρχικής παραμέτρου την περίοδο i είναι ίσες με εκείνες που επιτεύχθηκαν κατά την προηγούμενη περίοδο ($i-1$):

$$X_i^0 = \wedge X_{i-1} \quad (2.15)$$

Για να διαδώσει τις πληροφορίες από την χρονική περίοδο ($i-1$) στην περίοδο i , κατά τη διάρκεια ενός διαστήματος Δt , ο πίνακας μεταβλητότητας-συμεταβλητότητας $C_{\wedge X(i-1)}$ πρέπει να έχει ενημερωθεί για να συμπεριλάβει το θόρυβο της διαδικασίας που αντιπροσωπεύεται από τον πίνακα μεταβλητότητας-συμεταβλητότητας $C\varepsilon_{\Delta t}$:

$$P_{xi}^0 = [C_{\wedge X(i-1)} + C\varepsilon_{\Delta t}]^{-1} \quad (2.16)$$

όπου,

$$C\varepsilon_{\Delta t} = \begin{bmatrix} C\varepsilon(x)\Delta t & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & C\varepsilon(y)\Delta t & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & C\varepsilon(z)\Delta t & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & C\varepsilon(dt)\Delta t & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & C\varepsilon(zpd)\Delta t & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & C\varepsilon(N_j (j = 1, nsat))\Delta t \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

Ο θόρυβος της διαδικασίας μπορεί να ρυθμιστεί ανάλογα με τη δυναμική του χρήστη, την συμπεριφορά του χρονομέτρου του δέκτη και την ατμοσφαιρική δραστηριότητα. Σε όλες τις περιπτώσεις $C\varepsilon(N_j (j = 1, nsat))\Delta t$ ισούται με το 0, δεδομένου ότι οι ασάφειες φέρουσας φάσης παραμένουν σταθερές με την πάροδο του χρόνου.

Στον στατικό εντοπισμό η θέση του χρήστη είναι επίσης σταθερή και κατά συνέπεια, $C\varepsilon(x)_{\Delta t} = C\varepsilon(y)_{\Delta t} = C\varepsilon(z)_{\Delta t} = 0$.

2.2.3 Μοντέλα Διορθώσεων για τον Ακριβή Εντοπισμό Θέσης (PPP)

Οι προγραμματιστές του λογισμικού GPS γνωρίζουν γενικά καλά τις διορθώσεις που πρέπει να ισχύουν για παρατηρήσεις ψευδοαπόστασης ή φέρουσας φάσης για την εξάλειψη των αποτελεσμάτων, όπως ειδική και γενική σχετικότητα, καθυστέρηση Sagnac, δορυφορικές μετατοπίσεις χρονομέτρου, ατμοσφαιρικές καθυστερήσεις, κλπ (π.χ. ION, 1980; ICD-GPS-200). Όλα αυτά τα αποτελέσματα είναι αρκετά μεγάλα, υπερβαίνουν τα μερικά μέτρα και πρέπει να ληφθούν υπόψη ακόμη και για τον εντοπισμό ψευδοαπόστασης στο επίπεδο ακρίβειας του μέτρου.

Όταν όμως γίνεται προσπάθεια να συνδυαστούν οι θέσεις των δορυφόρων και των χρονομέτρων με ακρίβεια μερικών εκατοστών, με τις παρατηρήσεις φέρουσας φάσης χωρίς την επίδραση της ιονόσφαιρας (ionospheric-free carrier phase observations) (με επίλυση χιλιοστού), είναι σημαντικό να λαμβάνονται υπόψη ορισμένα σφάλματα που δεν δύναται να εξεταστούν στις παρατηρήσεις ψευδοαπόστασης ή ακόμη στον ακριβή διαφορικό εντοπισμό με τις παρατηρήσεις φάσης.

Τα σφάλματα αυτά απαιτούν διορθώσεις πολύ σημαντικές για τον Ακριβή Εντοπισμό Θέσης (PPP) και όλες τις ακριβή συνολικές αναλύσεις (σχετικές ή μη διαφορικές προσεγγίσεις). Οι Kuba & Heroux (2001) περιγράφουν αναλυτικά αυτά τα σφάλματα, τα οποία πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την ανάπτυξη λογισμικού για τον ακριβή απόλυτο εντοπισμό θέσης. Οι διορθώσεις έχουν ομαδοποιηθεί ως εξής:

- Επιδράσεις Δορυφόρου

σφάλματα λόγω μετατόπισης των κέντρων φάσης των κεραιών των δορυφόρων.

σφάλματα λόγω μετάδοσης των μετρήσεων.

- Επιδράσεις από τις μετακινήσεις των σταθμών μέτρησης

παλίρροιες του στερεού φλοιού της γης (solid earth tides).

περιστροφική παραμόρφωση λόγω πολικής κίνησης (polar tides).

ωκεάνιες παλίρροιες (ocean loading).

παράμετροι περιστροφής της γης (earth rotation parameters).

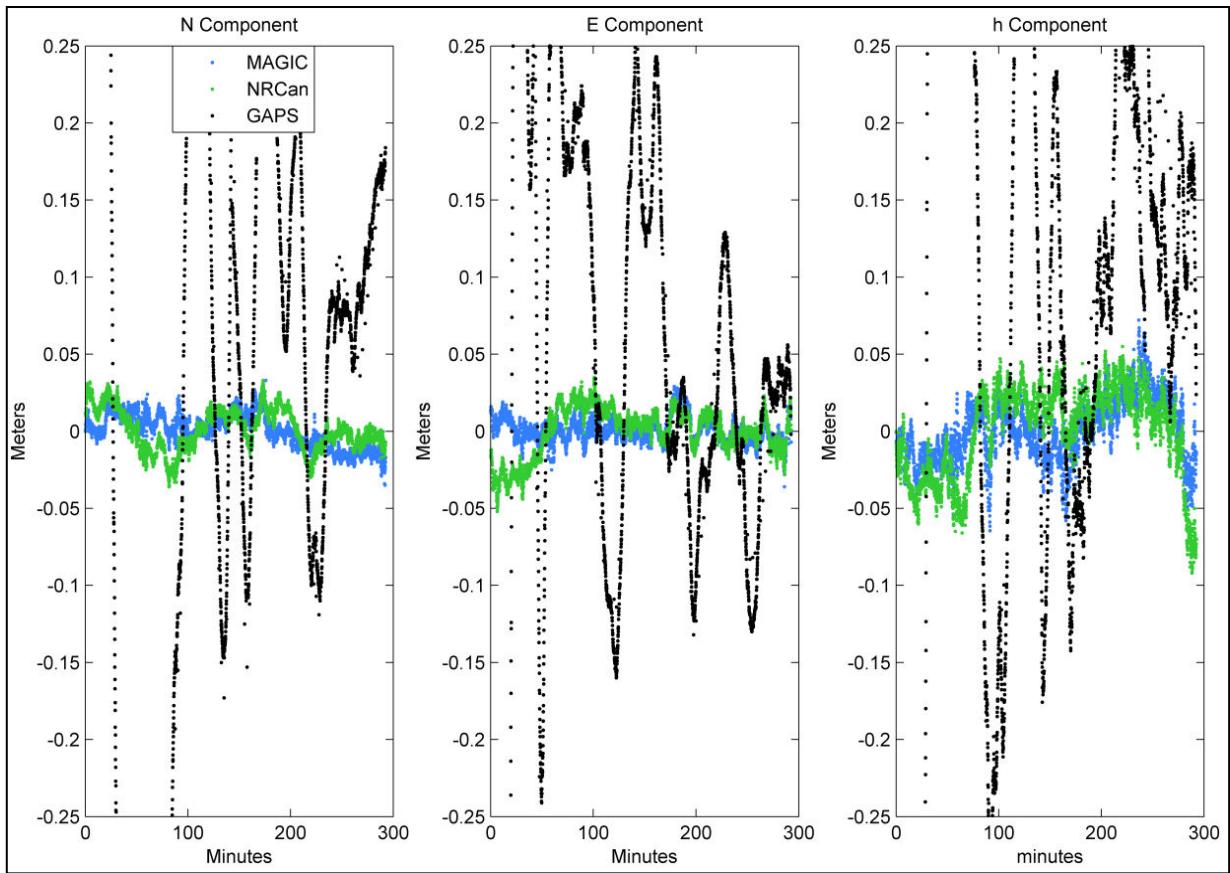
- Εκτιμήσεις συμβατότητας μεταξύ των προϊόντων της IGS και των κέντρων επεξεργασίας (π.χ. χρήση ίδιων μοντέλων, βαρών, ίδια έκδοση του συστήματος ITRF κ.τ.λ.).

Θα πρέπει να επισημανθεί ότι για διαφορικό εντοπισμό θέσης στο επίπεδο του εκατοστού και βάσεις μικρότερες από 100 km, όλες οι διορθώσεις που αναφέρθηκαν παραπάνω μπορούν να αγνοηθούν με ασφάλεια. Σημειώνεται επίσης, ότι μερικές από τις διορθώσεις απαιτούν την γνώση των θέσεων της Σελήνης ή του Ήλιου που μπορούν να ληφθούν από άμεσα διαθέσιμα πλανητικά αρχεία εφημερίδων, ή πιο εύκολα από απλές φόρμουλες, δεδομένου ότι μια σχετική ακρίβεια περίπου 1/1000 επαρκεί για διορθώσεις ακρίβειας σε επίπεδο του χιλιοστού.

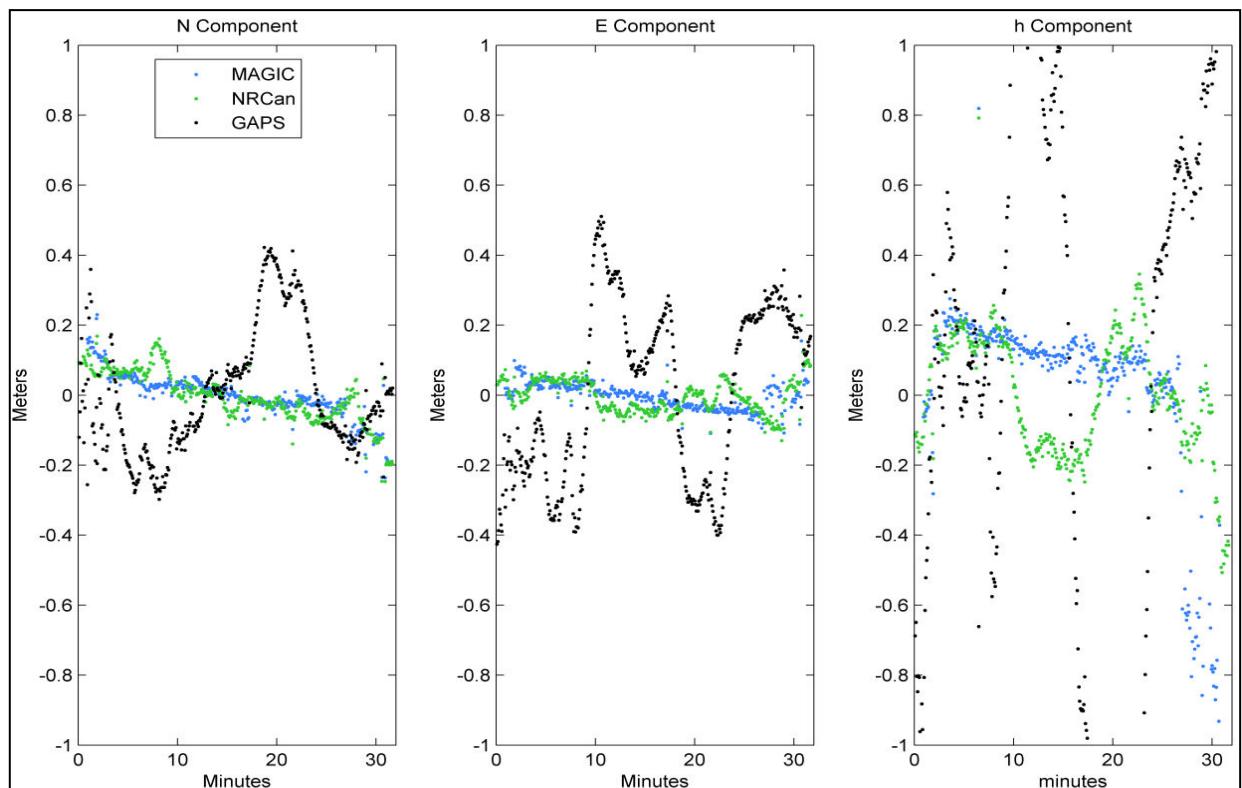
2.2.4 Παραδείγματα PPP

Στην ενότητα αυτή γίνεται αναφορά σε παραδείγματα χρήσης του Ακριβή Εντοπισμού Θέσης που προέκυψαν από κινηματικό εντοπισμό, βάση κειμένων και ερευνών προερχόμενων από την διεθνή βιβλιογραφία (Martin et al., 2011).

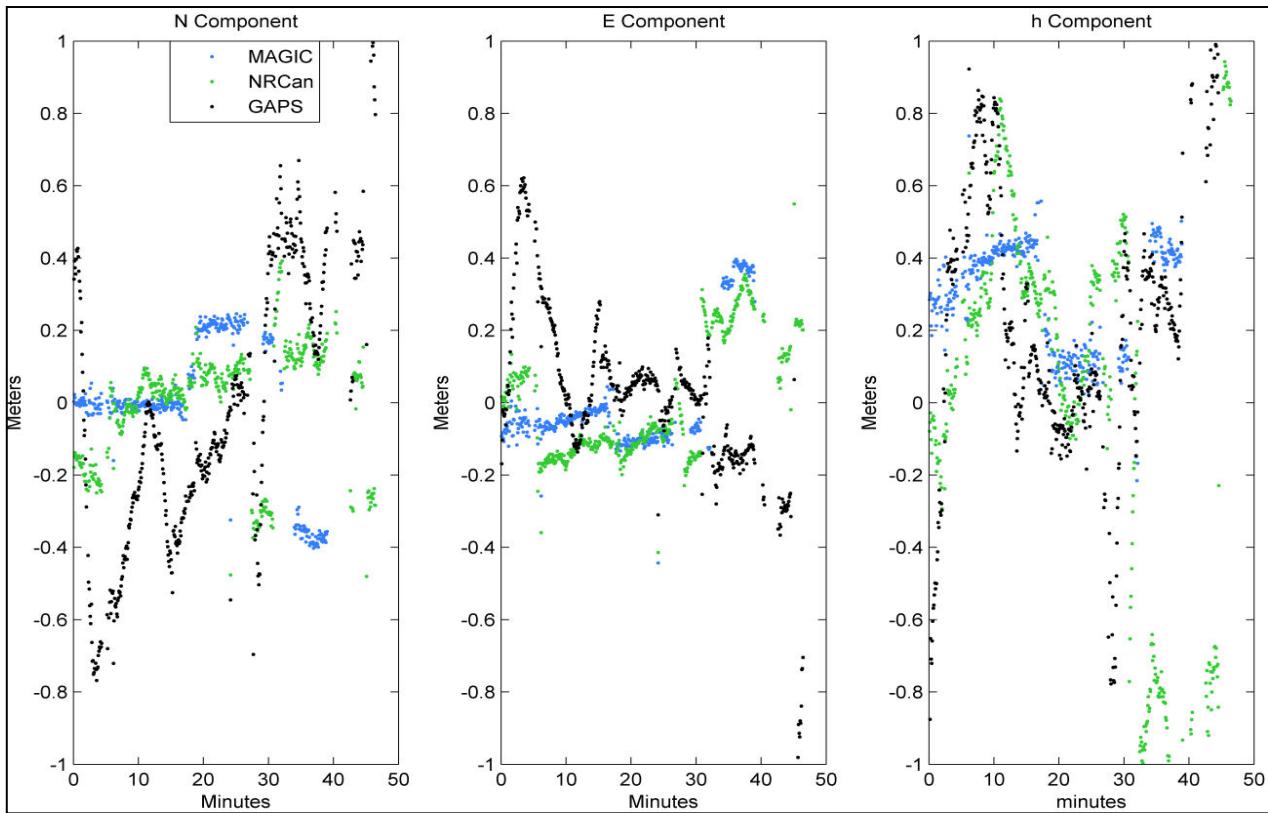
Το κύριο πρόβλημα στον εντοπισμό θέσης, είναι ότι ο όγκος των υπολοίπων των σφαλμάτων αυξάνει καθώς αυξάνεται η απόσταση του σταθμού αναφοράς με τον δέκτη rover. Με την χρήση του PPP, το πρόβλημα αυτό μπορεί να εξαλειφθεί, αφού χρησιμοποιεί μόνο έναν δέκτη διπλής συχνότητας GPS, χωρίς την ανάγκη σταθμών βάσης. Με αφορμή αυτό, οι Martin et al. (2011), έκαναν σειρές πειραμάτων βασιζόμενοι σε διάφορες κινηματικές πλατφόρμες (αεροπλάνο, αυτοκίνητο, πεζοπορία), ώστε να γίνει έλεγχος της ακρίβειας του Κινηματικού Ακριβή Εντοπισμού Θέσης (Kinematic PPP) αλλά και των λειτουργιών που προσφέρουν τα διάφορα πακέτα λογισμικού από Διεθνείς Υπηρεσίες του κόσμου, με σημαντικότερο στόχο την σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων των υπηρεσιών αυτών.



Διάγραμμα 2.1: Χονδροειδές σφάλμα κινηματικού PPP για την πτήση 185 (τροχιά αεροπλάνου).



Διάγραμμα 2.2: Χονδροειδές σφάλμα κινηματικού PPP για την τροχιά με αυτοκίνητο.



Διάγραμμα 2.3: Χονδροειδές σφάλμα κινηματικού PPP για την τροχιά με τα πόδια.

Software	Flight 185			Car trajectory			Walking trajectory		
	N	E	Up	N	E	Up	N	E	Up
GAPS	0.337	0.477	0.989	0.267	0.191	1.002	0.250	0.180	0.365
NRCan	0.015	0.013	0.029	0.085	0.095	0.174	0.106	0.079	0.255
MagicGNSS	0.008	0.011	0.021	0.082	0.089	0.331	0.105	0.044	0.156

Πίνακας 2.1: Συνοπτικά αποτελέσματα της μέσης τυπικής απόκλισης (σ) χονδροειδούς σφάλματος κινηματικού PPP για τις τρείς κινηματικές τροχιές. Οι τιμές αναφέρονται σε m.

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα χρησιμοποιήθηκαν τα online κέντρα επεξεργασία GAPS, CSRS-PPP και MagicGNSS, ανάλυση των οποίων θα γίνει στο επόμενο κεφάλαιο.

Οι συγγραφείς, με τα πειράματα και τα αποτελέσματα που έλαβαν, έδειξαν ότι ο κινηματικός PPP μπορεί να επιτύχει ένα επίπεδο ακρίβειας καλύτερο από 10 cm σε σχέση με τις μετρήσεις οριζοντιογραφίας και ένα επίπεδο ακρίβειας καλύτερο από 20 cm σε σχέση με τις υψομετρικές μετρήσεις σε οποιαδήποτε από τις προτεινόμενες δοκιμασίες. Η υπηρεσία MagicGNSS παράγει τα πιο ευνοϊκά αποτελέσματα και ακολουθείται από το λογισμικό NRCan της υπηρεσίας CSRS-PPP, με διαφορά μεταξύ τους της τάξης των 0,5 m. Η υπηρεσία GAPS παράγει μεγαλύτερες αποκλίσεις από τις προηγούμενες δύο, σε όλες τις εκτελούμενες δοκιμές. Προφανώς, υποθέτεται ότι τα πακέτα λογισμικού NRCan και MagicGNSS χρησιμοποιούν

διαφορετικές μεθόδους για να παράγουν τα αποτελέσματά τους, αλλά και πάλι η διαφορά του 0,5 m φαίνεται να είναι αρκετά μεγάλη. Τέλος, όπως έχει σημειωθεί στο παρελθόν από διάφορους συγγραφείς, σφάλματα πολλαπλών διαδρομών και διακοπές στο σήμα εντοπισμού επηρεάζουν σημαντικά την ακρίβεια του κινηματικού PPP.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΔΙΕΘΝΗ ΚΕΝΤΡΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ GNSS

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Δεδομένου ότι η παγκόσμια γεωδαιτική τεχνολογία GPS υψηλής ακρίβειας έχει εξελιχθεί, η επεξεργασία και το λογισμικό ανάλυσης έχουν γίνει περιπλοκότερα και γενικά περισσότερο αυτοματοποιημένα. Αυτή η ανάπτυξη βρίσκεται εφαρμογή στις διάφορες διαδικτυακές γεωδαιτικές υπηρεσίες επεξεργασίας δεδομένων GPS, οι οποίες άρχισαν να αναπτύσσονται από το 2001 και μετά. Τα διεθνή κέντρα επεξεργασίας δεδομένων GNSS διατίθενται δωρεάν, βασίζονται σε μεθόδους απόλυτου εντοπισμού θέσης σημείων, τυπικά απαιτούν ένα μόνο δέκτη συνήθως δύο συχνοτήτων τον οποίο μπορεί να χειρίζεται ένα μόνο άτομο στο πεδίο και παρέχουν υψηλές ακρίβειες της τάξης του εκατοστόμετρου.

Ο γενικός τρόπος λειτουργίας των υπηρεσιών αυτών διακρίνεται σε τρία στάδια, την αποστολή από τον χρήστη, μέσω διαδικτύου, των αρχείων παρατηρήσεων, την επεξεργασία τους από τις υπηρεσίες και την αποστολή στον χρήστη των αποτελεσμάτων που προέκυψαν.

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο πραγματοποιείται μια λεπτομερής περιγραφή της διαδικασίας χρήσης κάθε Διεθνούς Κέντρου Επεξεργασίας που προσφέρει αποτελέσματα κινηματικού εντοπισμού. Ειδικότερα για κάθε Κέντρο Ανάλυσης αναφέρονται κάποια γενικά θέματα, η διαδικασία υποβολής δεδομένων GNSS, η έκθεση αποτελεσμάτων, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά του. Στόχος είναι ο αναγνώστης να μπορεί εύκολα να ακολουθήσει τα βήματα που αναφέρονται και να επωφεληθεί από τις προσφερόμενες υπηρεσίες. Πλέον δεν απαιτείται από τους χρήστες GPS να αποκτούν τα δεδομένα παρατήρησης από έναν βασικό σταθμό αναφοράς (base-station data) για τον προσδιορισμό της θέσης, γεγονός που σημαίνει μείωση του κόστους και αυξανόμενη αποδοτικότητα της μεθοδολογίας.

Τα Διεθνή Κέντρα Επεξεργασίας Δεδομένων GNSS που αναλύονται είναι τα εξής:

- **CSRS-PPP (Canadian Spatial Reference System – Precise Point Positioning)**
- **APPS-NASA (Automatic Precise Positioning Service)**
- **GAPS (GPS Analysis and Positioning Service)**
- **MagicGNSS**

Τα παραπάνω κέντρα χρησιμοποιούν τον Ακριβή (Απόλυτο) Εντοπισμό Θέσης (Precise Point Positioning) που απασχολεί και την παρούσα εργασία. Η συγκεκριμένη προσέγγιση ενσωματώνει τη χρήση των ακριβή προϊόντων τροχιάς και χρονομέτρων GPS που παράγονται μέσω της Διεθνούς Υπηρεσίας GPS (IGS). Εκτός, όμως αυτών των κέντρων, θα πρέπει να αναφερθεί ότι

υπάρχουν και άλλα κέντρα που χρησιμοποιούν τα δεδομένα των μόνιμων σταθμών αναφοράς της IGS και σε συνδυασμό με τα υποβαλλόμενα αρχεία δεδομένων πραγματοποιούν Σχετικό Εντοπισμό Θέσης και κυρίως την στατική λειτουργία. Οι υπηρεσίες αυτές είναι οι SCOUT-SOPAC (Scripps Coordinate Update Tool – Scripps Orbit and Permanent Array Center) και AUSPOS (Online GPS Processing Service). Συγκεκριμένα, για την υπηρεσία SCOUT-SOPAC τα αποτελέσματα που προέρχονται από αυτή προκύπτουν από συνόρθωση δικτύου.

Κατά την περιγραφή των Διεθνών Κέντρων Επεξεργασίας Δεδομένων GNSS κρίθηκε σκόπιμη η παραπομπή σε διάφορες ηλεκτρονικές διευθύνσεις (links) στο διαδίκτυο για την διευκόλυνση αναζήτησης των πηγών από τον αναγνώστη.

3.2 CSRS-PPP (Canadian Spatial Reference System – Precise Point Positioning)

3.2.1 Γενικά

Το Διεθνές Κέντρο Επεξεργασίας Δεδομένων GPS που προσφέρει το Γεωδαιτικό Τμήμα Ερευνών (Geodetic Survey Division, GSD) του Καναδά ονομάζεται CSRS-PPP (Καναδικό Χωρικό Σύστημα Αναφοράς – Υπηρεσία Ακριβού Εντοπισμού Θέσης) και είναι μια από τις πολλές υπηρεσίες του τμήματος αυτού.

Η συγκεκριμένη υπηρεσία παρέχει εκτιμήσεις απόλυτου εντοπισμού θέσης με μετά-επεξεργασία (post-processed) των δεδομένων από μετρήσεις GPS που οι χρήστες υποβάλλουν μέσω Internet. Επεξεργάζεται δεδομένα που έχουν συλλεχθεί είτε με την διαδικασία του κινηματικού (για κινούμενο δέκτη GPS) είτε του στατικού (για σταθερό δέκτη GPS) εντοπισμού, χρησιμοποιώντας υψηλής ακρίβειας τροχιακά δεδομένα και πληροφορίες χρονομέτρων GPS. Τα αποτελέσματα εκφράζονται στο σύστημα συντεταγμένων North American Datum 1983 (NAD83) ή στο Διεθνές Γήινο Πλαίσιο Αναφοράς ITRF. Από το 2011, η υπηρεσία έχει την δυνατότητα επεξεργασίας και δεδομένων GLONASS.

Σκοπός της υπηρεσίας είναι η παροχή της ακριβέστερης δυνατής επίλυσης, ανάλογα φυσικά και με την διαθεσιμότητα των δεδομένων, ελαχιστοποιώντας ταυτόχρονα την ανάγκη αλληλεπίδρασης με τον χρήστη. Σήμερα, ο πρωταρχικός ρόλος του Γεωδαιτικού Τμήματος Ερευνών (GSD) είναι να διατηρεί, να βελτιώνει συνεχώς και να διευκολύνει την αποδοτική πρόσβαση στο Καναδικό Χωρικό Σύστημα Αναφοράς (CSRS) <http://www.geod.nrcan.gc.ca/index_e/geodesy_e/reference06_e.html>.

3.2.2 Η βάση δεδομένων του Καναδικού Χωρικού Συστήματος Αναφοράς

Η πρόσβαση στην βάση δεδομένων του Καναδικού Χωρικού Συστήματος Αναφοράς, είναι ελεύθερη για τον χρήστη μέσω του διαδικτύου. Αφού ο χρήστης επισκεφθεί την ιστοσελίδα που αναφέρθηκε παραπάνω, για την άμεση πρόσβαση στην βάση δεδομένων του CSRS απαιτείται ένα **όνομα χρήστη (Username)** και ένας **κωδικός πρόσβασης (Password)**. Για την απόκτηση των παραπάνω από έναν νέο χρήστη της υπηρεσίας θα πρέπει να υποβληθεί μία αίτηση, μέσω του διαδικτύου (on-line), όπου ζητούνται διάφορα προσωπικά στοιχεία και εφόσον συμπληρωθεί, η υπηρεσία παρέχει την πρόσβαση σε όλα τα διαθέσιμα προϊόντα της βάσης δεδομένων.

Η βάση δεδομένων του CSRS επιτρέπει στους χρήστες την άμεση πρόσβαση σε προϊόντα του CSRS τα οποία είναι τα εξής:

- Διορθώσεις σε πραγματικό χρόνο (Real-Time Corrections)
- Ενεργό δίκτυο GPS (Active Network) (GPS Tracking)
- Παθητικά δίκτυα (Passive Networks) (Horizontal, Vertical, Gravity)
- Λογισμικό/αρχεία (Software/Data)
- Υπηρεσία Ακριβούς Εντοπισμού Θέσης με ένα δέκτη (CSRS Point Positioning Service, PPP)
- Πρότυπα (Standards)
- Επαφές (Provincial Contacts)

Στην εργασία αυτή το ενδιαφέρον επικεντρώνεται στην υπηρεσία του ακριβούς εντοπισμού θέσης με έναν δέκτη (CSRS-PPP).

3.2.3 Διαδικασία

Η υπηρεσία CSRS-PPP επιτρέπει στους χρήστες GPS στον Καναδά (αλλά και στο εξωτερικό) να ανακτήσουν πιο ακριβείς θέσεις χρησιμοποιώντας έναν και μόνο δέκτη GPS με την υποβολή των δεδομένων παρατήρησης, μέσω του διαδικτύου.

Από τον Ιούνιο του 2008, από τους χρήστες απαιτείται μόνο ο προκαθορισμός της διαδικασίας εντοπισμού που χρησιμοποιήθηκε, στατικός ή κινηματικός, του επιθυμητού συστήματος συντεταγμένων για την έκφραση των αποτελεσμάτων της λύσης, NAD83 (CSRS) ή ITRF και η ηλεκτρονική διεύθυνση για την αποστολή των αποτελεσμάτων.

Όπως προαναφέρθηκε, αρχικά ο χρήστης του CSRS θα πρέπει να εισαχθεί στην βάση δεδομένων της υπηρεσίας και στην συνέχεια να επιλέξει την εφαρμογή του CSRS-PPP. Μόλις πραγματοποιήσει αυτή την επιλογή θα ανοίξει μια νέα ιστοσελίδα με το περιεχόμενο και την μορφή που φαίνεται στην εικόνα 3.1.

Precise Point Positioning

► Help for CSRS PPP (Updated 2014-09-04)

Email for results (required)
mariakadi25@gmail.com

Processing mode
 Static Kinematic
 NAD83 ITRF

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

Vertical datum
 CGDV28(HT2_C) ▾
 CGDV28(HT2_0) **CGVD2013**

RINEX observation file (required) (.zip, .gzip, .gz, .Z, .??.o)
 Επιλογή αρχείου Δεν επιλέχθηκε κανένα αρχείο.

Submit to PPP

Εικόνα 3.1: Μορφή της ιστοσελίδας της εφαρμογής PPP μετά την εισαγωγή στην βάση δεδομένων του CSRS.

Αφού έχει ακολουθήσει την παραπάνω διαδικασία, ο χρήστης επιλέγει από τον υπολογιστή του το αρχείο RINEX που επιθυμεί να υποβάλει. Ουσιαστικά πρόκειται για την μοναδική εργασία από την πλευρά του χρήστη της υπηρεσίας που αφορά την υποβολή των δεδομένων παρατήρησης.

Η μόνη μορφοποίηση δεδομένων παρατηρήσεων που δέχεται η υπηρεσία είναι το συμβατικό RINEX και η παραλλαγή του, το Compact RINEX (συμπίεση Hatanaka). Οποιαδήποτε άλλη μορφοποίηση θα έχει ως αποτέλεσμα τον ανεπιτυχή τερματισμό της διαδικασίας.

Από την στιγμή που τόσο τα συμβατικά αρχεία RINEX, όσο και τα Compact RINEX είναι σε ASCII format, είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν τυπικοί αλγόριθμοι συμπίεσης για να μειωθεί περισσότερο το μέγεθός τους. Οι συμβατικές μέθοδοι συμπίεσης δεδομένων για την υπηρεσία PPP είναι οι gzip, zip και Unix compression (πίνακας 3.1). Αξίζει να σημειωθεί ότι αν και η λειτουργία zip υποστηρίζει την επισύναψη πολλών αρχείων, η PPP αποδέχεται μόνο zip αρχεία που περιέχουν ένα μόνο συμβατικό ή Compact αρχείο RINEX.

PPP compatible compression modes with CSRS-PPP	
Mode	File extension
gzip	.gz
zip	.z
unix compression	.Z

Πίνακας 3.1: Τρόποι συμπίεσης PPP συμβατοί με την υπηρεσία GSRS-PPP.

Η έναρξη της ανάκτησης του αρχείου RINEX από το CSRS καθώς και της ανάλυσής του πραγματοποιείται με την επιλογή “Submit to PPP” από τον χρήστη. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο χρήστης τοποθετεί τα αρχεία RINEX στον προσωπικό του ηλεκτρονικό υπολογιστή, σε οποιοδήποτε αποθηκευτικό χώρο. Το CSRS δεν ανακτά αρχεία RINEX μέσω της διαδικασίας με το ανώνυμο ftp (anonymous ftp).

Από την στιγμή που η υπηρεσία βασίζεται σε παγκόσμια προϊόντα τροχιών και χρονομέτρων GPS ακριβείας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επεξεργασία GPS παρατηρήσεων οπουδήποτε πάνω ή γύρω από την γη και για οποιαδήποτε στιγμή της ημέρας. Πληροφορίες σχετικά με τον τύπο κεραιών και το ύψος των δεκτών λαμβάνονται από την υπηρεσία από την επικεφαλίδα του αρχείου RINEX. Για την ελάχιστη διάρκεια των παρατηρήσεων δεν υπάρχει κάποιος περιορισμός, ωστόσο η ποιότητα των αποτελεσμάτων δεν θα είναι η βέλτιστη αν δεν επιτευχθεί η επίλυση των ασαφειών φέρουσας φάσης. Η μέγιστη διάρκεια των παρατηρήσεων που μπορούν να υποβληθούν στην υπηρεσία καθορίζεται από το μέγεθος του αρχείου που έχει προκύψει από τις παρατηρήσεις αυτές. Το ασυμπίεστο RINEX αρχείο δεν θα πρέπει να ξεπερνά τα 100MB, που μπορεί να συνεπάγεται μέχρι και 6 ημέρες συνεχόμενων παρατηρήσεων. Σε αντίθετη περίπτωση η διαδικασία προσδιορισμού θέσης θα τερματιστεί ανεπιτυχώς.

Η εφαρμογή του ακριβούς εντοπισμού θέσης με έναν δέκτη (PPP) αναφέρεται στην επεξεργασία των παρατηρήσεων GPS μόνο αν είναι διαθέσιμα οι υψηλής ακρίβειας τροχιές GPS και τα προϊόντα χρονομέτρων. Πάντως θα χρησιμοποιηθούν τα καλύτερα προϊόντα που είναι διαθέσιμα την χρονική στιγμή που τα στοιχεία GPS υποβάλλονται για επεξεργασία. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η ποιότητα στις εκτιμήσεις τροχιάς και διορθώσεων χρονομέτρων GPS και συνεπώς στις εξαγόμενες τελικές συντεταγμένες του PPP έχει βελτιωθεί από 10 cm και αρκετά νανοδευτερόλεπτα (nsec) το 1994, σε περίου 2 cm και 0,1 nsec αντίστοιχα την τελευταία δεκαετία.

3.2.4 Αναμενόμενη ακρίβεια

Η ακρίβεια της υπηρεσίας PPP βελτιώνεται με τη διάρκεια της περιόδου συλλογής των δεδομένων. Μια ελάχιστη περίοδος καλής ποιότητας δεδομένων GPS (no loss of lock) απαιτείται για να επιτευχθεί η σύγκλιση ή/και η επίλυση των ασαφειών που με την σειρά τους μπορεί να βελτιώσουν την ακρίβεια του συνόλου των δεδομένων. Η ελάχιστη περίοδος και η επιδιωκόμενη ακρίβεια θα εξαρτηθεί από τον τύπο του εξοπλισμού GPS και τις ατμοσφαιρικές συνθήκες. Η επέκταση της συλλογής των δεδομένων πέραν αυτού του ελαχίστου χρονικού διαστήματος θα πρέπει να βελτιώσει περαιτέρω την ακρίβεια, αλλά περισσότερο με δέκτες διπλής συχνότητας από ότι με δέκτες μιας συχνότητας. Η διάρκεια της συλλογής των δεδομένων πρέπει να αποφασιστεί σύμφωνα με την απαιτούμενη ακρίβεια. Οι χρήστες θα πρέπει να δοκιμάσουν τον εξοπλισμό τους σε ένα γνωστό σημείο αναφοράς. Για πολύ μικρής διάρκειας παρατηρήσεις, η θέση θα υπολογιστεί χρησιμοποιώντας μόνο παρατηρήσεις ψευδοαποστάσεων, ενώ για μεγαλύτερης διάρκειας δεδομένα είναι δυνατόν να επιλυθούν οι ασάφειες και έτσι να χρησιμοποιηθούν οι περισσότερο ακριβείς παρατηρήσεις φέρουσας φάσης για τον προσδιορισμό της θέσης.

Η υπηρεσία επεξεργάζεται δεδομένα GPS από δέκτες GPS συχνότητας L1 και δέκτες διπλής συχνότητας (L1,L2), που έχουν συλλεχθεί είτε με την διαδικασία του κινηματικού </index_e/products_e/services_e/kinematic_e.html> είτε του στατικού εντοπισμού </index_e/products_e/services_e/static_e.html>, χρησιμοποιώντας υψηλής ακρίβειας τροχιακά δεδομένα και πληροφορίες χρονομέτρων GPS. Σε αντίθεση με τον εντοπισμό θέσης, όπου χρησιμοποιούνται οι εκπεμπόμενες τροχιές των δορυφόρων GPS, αυτή η εφαρμογή μπορεί να βελτιώσει τα αποτελέσματα κατά 2 έως 100 φορές, ανάλογα με τον εξοπλισμό των χρηστών της υπηρεσίας και την διάρκεια της περιόδου των παρατηρήσεων. Αυτά τα προϊόντα που χρησιμοποιεί η υπηρεσία είναι χαρακτηριστικά 100 φορές καλύτερα από εκείνα που περιλαμβάνονται στο εκπεμπόμενο αρχείο ναυσιπλοΐας του GPS (GPS broadcast navigation message).

Η ανάκτηση των προϊόντων τροχιάς και χρονομέτρων γίνεται εφικτή με μεγάλη ακρίβεια μέσω της διεθνούς συνεργασίας πολλών φορέων και υπηρεσιών που συμμετέχουν στην IGS συμπεριλαμβανομένου και του NRCan.

Αξιόπιστη μέθοδος επαλήθευσης είναι η χρήση της μεθόδου για τον προσδιορισμό θέσεων γνωστών συντεταγμένων. Έχει αποδειχθεί, ότι η ακρίβεια των μεθόδων εντοπισμού PPP είναι απόλυτα εξαρτημένη από την διάρκεια των μετρήσεων. Όσο μεγαλώνει η διάρκεια των παρατηρήσεων τόσο πιο ακριβής είναι ο προσδιορισμός των γεωγραφικών συντεταγμένων (Bisnath & Gao, 2008).

Ο προσδιορισμός των ασαφειών φάσης, όπως προαναφέρθηκε, είναι ο βασικός παράγοντας που επηρεάζει την σύγκλιση των εκτιμώμενων τιμών καθώς η επίλυση των ασαφειών αυτών είναι το κλειδί για την πλήρη εκμετάλλευση της ακρίβειας που παρέχεται από τις φέρουσες φάσεις (Natural Resources Canada, 2004). Επιπλέον, σημαντικό ρόλο στην ακρίβεια των

αποτελεσμάτων των εντοπισμών PPP έχει η ικανότητα του συστήματος να αντισταθμίζει την καθυστέρηση λόγω της τροπόσφαιρας, την ανάλυση του κώδικα του δέκτη και τα χαρακτηριστικά απόρριψης πολλαπλών διαδρομών (multipath) της κεραίας του δέκτη.

3.2.5 Έκθεση αποτελεσμάτων

Με το πέρας της διαδικασίας επεξεργασίας των παρατηρήσεων αποστέλλεται στην ηλεκτρονική διεύθυνση του χρήστη ένα μήνυμα το οποίο περιλαμβάνει: δύο συνδέσμους από όπου ο χρήστης μπορεί να ανακτήσει, μέσα σε διάστημα 24 ωρών από την επεξεργασία (σε λιγότερο από 1 ώρα από την υποβολή του αρχείου RINEX), τα τελικά αρχεία που προέκυψαν από την διαδικασία υπολογισμού των συντεταγμένων και περιλαμβάνουν το σύνολο των αποτελεσμάτων (γραφικές παραστάσεις), τις υπολογισμένες συντεταγμένες καθώς και τις τυπικές αποκλίσεις τους, οι οποίες είναι το γεωγραφικό μήκος και πλάτος, το γεωμετρικό και το ορθομετρικό υψόμετρο, όταν έχει οριστεί και την έκδοση του λογισμικού που χρησιμοποιήθηκε κατά την επεξεργασία. Η υπηρεσία αποστέλλει τα αποτελέσματα στον χρήστη σε αρχεία, το όνομα των οποίων διαφέρει από το αρχείο RINEX μόνο στην προέκταση. Τα αρχεία αυτά περιλαμβάνουν και πληροφορίες όπως είναι διαγράμματα ορατότητας των δορυφόρων που απεικονίζουν τα υπόλοιπα μετρήσεων ψευδοαπόστασης, συγκλίσεις διορθώσεων της αρχικής θέσης του σταθμού, την συμπεριφορά χρονομέτρου του δέκτη, ασάφειες και υπόλοιπα μετρήσεων φάσης.

Πιο συγκεκριμένα, στα αποτελέσματα που αποστέλλει η υπηρεσία περιλαμβάνονται δύο ειδών αναφορές (συνοπτική και λεπτομερής) και γραφικές παραστάσεις με παράμετρο το χρόνο (χρονοσειρές). Η συνοπτική αναφορά παρουσιάζει τα αποτελέσματα και βασικά στατιστικά και είναι χρήσιμη για γρήγορη επιβεβαίωση/επικύρωση των αποτελεσμάτων. Η λεπτομερής αναφορά περιλαμβάνει τρία αρχεία κειμένου:

- .pos: που περιλαμβάνει συντεταγμένες και τυπικά σφάλματα εποχή προς εποχή
- .sum: που περιλαμβάνει αποτελέσματα μέσων τιμών
- .res: που περιλαμβάνει πληροφορίες για τους δορυφόρους που συμμετέχουν στην επεξεργασία

Τα γραφήματα συνοδεύουν τη λεπτομερή αναφορά και παρουσιάζουν χρονοσειρές εκτίμησης των παραμέτρων με τις αντίστοιχες τυπικές αποκλίσεις, εναπομένοντα σφάλματα των παρατηρήσεων και ασάφειες φάσης.

Πολύ σημαντικό ρόλο σε όλη την διαδικασία επεξεργασίας των αρχείων RINEX από το CSRS-PPP κατέχουν οι χρησιμοποιούμενες ακριβείς εφημερίδες δορυφόρων GPS και οι διορθώσεις των χρονομέτρων τους, καθώς και τα λογισμικά που χρησιμοποιεί η υπηρεσία.

3.2.6. Λογισμικά χρήσης του CSRS-PPP

Τα λογισμικά που είναι διαθέσιμα από το κέντρο CSRS-PPP – Precise Point Positioning Service (PPP) κατά την επεξεργασία των υποβαλλόμενων αρχείων RINEX ως προς τους χρήστες είναι τα εξής:

- GPS · H
- TRX
- INDIR
- NTv2
- PPP direct

Για όλα τα παραπάνω λογισμικά υπάρχει αναλυτική αναφορά λειτουργίας τους στην υπηρεσία, καθώς και οδηγίες χρήσης τους που μπορεί εύκολα να βρει ο χρήστης αν ανατρέξει στην [ιστοσελίδα <http://www.nrcan.gc.ca/earth-sciences/geomatics/geodetic-reference-systems/tools-applications/10925>](http://www.nrcan.gc.ca/earth-sciences/geomatics/geodetic-reference-systems/tools-applications/10925). Στην συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήθηκε, όπως θα αναφερθεί σε επόμενο κεφάλαιο, το λογισμικό TRX. Το TRX v1.0 επιτρέπει την μετατροπή μεταξύ των επιτευγμάτων του NAD83 (CSRS) και του ITRF καθώς και για τους μετασχηματισμούς μεταξύ των γεωγραφικών, καρτεσιανών και τοπικών προβολικών συστημάτων (UTM, MTM, στερεογραφικές και προσαρμοσμένες προβολές).

3.2.7 Πλεονεκτήματα του CSRS-PPP

- Δυνατότητα επεξεργασίας δεδομένων GPS και στις δύο συχνότητες (L1-L2) που προέρχονται τόσο από στατικό όσο και από κινηματικό εντοπισμό.
- Η εφαρμογή του PPP στην CSRS δεν απαιτεί την προσκόμιση στοιχείων από τον χρήστη όπως ο τύπος της κεραίας, το ύψος της από το σημείο του εδάφους, οι προσεγγιστικές συντεταγμένες, αφού όλες αυτές οι πληροφορίες λαμβάνονται απευθείας από το header του αρχείου RINEX.
- Παρέχει πληροφορία GDOP, κάτι που βοηθάει πολύ στην ανάδειξη της ακρίβειας των αποτελεσμάτων.
- Έχει την ικανότητα να αντισταθμίζει την καθυστέρηση λόγω της τροπόσφαιρας, την ανάλυση του κώδικα του δέκτη και τα χαρακτηριστικά απόρριψης πολλαπλών διαδρομών (multipath) της κεραίας του δέκτη.

3.2.8 Μειονεκτήματα του CSRS-PPP

- Ενδεχόμενα προβλήματα του CSRS-PPP με συγκεκριμένες υπηρεσίες internet και διαδικτυακούς τόπους που προσφέρουν υπηρεσίες ηλεκτρονικού ταχυδρομείου (π.χ. δυσκολία αποστολής της έκθεσης επεξεργασίας μέσω της υπηρεσίας yahoo).

- Μέσα σε περίπου 24 ώρες από την αποστολή της έκθεσης επεξεργασίας στον χρήστη, τα τελικά αποτελέσματα παύουν να υπάρχουν στον κεντρικό υπολογιστή της CSRS-PPP, γι' αυτό απαιτείται γρήγορη ανάκτηση και αποθήκευσή τους από τους χρήστες της υπηρεσίας.

3.3 APPS-NASA (Automatic Precise Positioning Service-National Aeronautics and Space Administration)

3.3.1 Γενικά

Το Εργαστήριο Jet Propulsion (JPL) του Ιδρύματος Τεχνολογίας της Καλιφόρνιας (California Institute of Technology) <<http://www.caltech.edu>> παρέχει την υπηρεσία APPS (Automatic Precise positioning Service), την Αυτόματη Υπηρεσία Ακριβή Εντοπισμού του Παγκόσμιου Διαφορικού Συστήματος GPS (GDGPS). Θα πρέπει να επισημανθεί ότι το Ίδρυμα Τεχνολογίας της Καλιφόρνιας συνεργάζεται με την Διαστημική Υπηρεσία των ΗΠΑ, τη NASA. Η υπηρεσία της APPS αντικαθιστά την υπηρεσία Auto-Gipsy (AG) και μπορεί να αναζητηθεί στην ηλεκτρονική διεύθυνση <<http://apps.gdgps.net/>>.

Η υπηρεσία APPS δέχεται αρχεία μετρήσεων GPS και εφαρμόζει τις πιο εξελιγμένες τεχνολογίες εντοπισμού θέσης του Εργαστηρίου Jet Propulsion της NASA για να εκτιμήσει την θέση του δέκτη GPS του χρήστη, είτε είναι στατικός είτε κινούμενος, είτε βρίσκεται στο έδαφος είτε στον αέρα. Η υπηρεσία χρησιμοποιεί προϊόντα τροχιών και χρονομέτρων GPS πραγματικού χρόνου (real time) από το σύστημα GDGPS του Εργαστηρίου Jet Propulsion, επομένως ο χρήστης δεν χρειάζεται να περιμένει, καθώς τα αποτελέσματα της εκτιμώμενης θέσης είναι διαθέσιμα σε λίγα μόνο δευτερόλεπτα. Επίσης χρησιμοποιεί ημερήσια και εβδομαδιαία ακριβή προϊόντα τροχιών και χρονομέτρων GPS και το λογισμικό GIPSY-OASIS.

Στόχος της υπηρεσίας είναι η βασική ανάλυση των δεδομένων GPS σε ένα αρχείο RINEX και όπως είναι φανερό από τα παραπάνω χρησιμοποιεί τον Ακριβή Εντοπισμό Θέσης (Precise Point Positioning). Για να χρησιμοποιηθεί η συγκεκριμένη υπηρεσία δεν είναι απαραίτητη η χρήση της υπηρεσίας GIPSY.

Η υπηρεσία APPS υποστηρίζει τόσο περιστασιακούς χρήστες, όσο και επαγγελματίες που διαχειρίζονται μεγάλο όγκο δεδομένων. Οι περιστασιακοί χρήστες έχουν τη δυνατότητα να ανεβάσουν τα αρχεία των μετρήσεών τους χειροκίνητα μέσα από την ιστοσελίδα της υπηρεσίας. Οι χρήστες που διαχειρίζονται μεγάλο όγκο δεδομένων έχουν πρόσβαση στον κεντρικό υπολογιστή της APPS, μέσω ασφαλούς σύνδεσης, στον οποίο ανεβάζουν τα αρχεία των παρατηρήσεών τους. Επίσης, είναι δυνατή η ηλεκτρονική αλληλογραφία με την υπηρεσία.

Όλη η επεξεργασία των δεδομένων πραγματοποιείται σε έναν υπολογιστή του JPL στο Ίδρυμα Τεχνολογίας της Καλιφόρνιας. Η APPS χρησιμοποιεί το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο για να ενημερώσει τους χρήστες της υπηρεσίας για την επεξεργασία των στοιχείων που υποβλήθηκαν και να αποστείλει την έκθεση επεξεργασίας με τα αποτελέσματα της ανάλυσης. Για την προσκόμιση των δεδομένων χρησιμοποιείται από την APPS το ανώνυμο ftp (anonymous ftp) και οι χρήστες μπορούν επίσης να χρησιμοποιήσουν το ανώνυμο ftp για να προσκόμιση των αποτελεσμάτων.

3.3.2 Διαδικασία

Η υπηρεσία APPS υποστηρίζει τις ακόλουθες επιλογές αποστολής των αρχείων μετρήσεων GPS:

- Μη αυτόματα, μέσω της συγκεκριμένης ιστοσελίδας της APPS για άμεση επεξεργασία.
- Στέλνοντας, ο κάθε χρήστης, e-mail στην APPS τον σύνδεσμο (URL) των αρχείων του (στο ανώνυμο ftp του κεντρικού υπολογιστή του κάθε χρήστη) και καθορίζοντας τον απαιτούμενο τύπο επεξεργασίας.
- Ανεβάζοντας τα αρχεία μετρήσεων του ο χρήστης σε μια ειδική περιοχή του ασφαλούς ftp του κεντρικού υπολογιστή της APPS και αυτά θα υποβληθούν αυτόματα σε επεξεργασία.

Όλες οι διαδικασίες πραγματοποιούνται πολύ εύκολα καθώς η ιστοσελίδα της υπηρεσίας παρέχει αναλυτικές οδηγίες για την κατανόηση και χρησιμοποίηση από τους χρήστες της.

Στη συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήθηκε η τρίτη διαδικασία για την επεξεργασία των αποτελεσμάτων, αφού είναι εκείνη κατάλληλη για κινηματικό εντοπισμό. Η εικόνα 3.3 που ακολουθεί δείχνει την μορφή της ιστοσελίδας αν ο χρήστης επιλέξει να αποστείλει τα δεδομένα του με αυτή την διαδικασία.

Instant Positioning

APPS Options	
Processing Mode	<input type="radio"/> Static <input checked="" type="radio"/> Kinematic
Measurement Type	<input type="radio"/> Single Frequency <input checked="" type="radio"/> Dual Frequency
Orbits/Clocks used	JPL Final: Data prior to 2015-10-03 JPL Rapid: Data from 2015-10-03 to 2015-10-13 JPL Ultra R/T: Data from 2015-10-13 to present
L1 Code	<input checked="" type="radio"/> CA Code <input type="radio"/> P Code
Model Pressure Data?	<input type="radio"/> Yes <input checked="" type="radio"/> No
Elevation Dependent Data Weighting	<input checked="" type="radio"/> Flat <input type="radio"/> Sin <input type="radio"/> Sqrt(sin)
Advanced Options	<input type="text" value="7.5"/> Elevation Angle Cutoff <input type="text" value="1"/> Solution Output Rate (seconds)

Επιλογή αρχείου
Δεν επιλέχθηκε κανένα αρχείο.

Reset
Upload

*A maximum of 10MB is allowed for upload.

Εικόνα 3.2: Μορφή ιστοσελίδας υποβολής αρχείων GPS με χρήση κινηματικού εντοπισμού.

Μια απλή εγγραφή με το όνομα του χρήστη και τον κωδικό πρόσβασης αρκεί για την επεξεργασία, ενώ το ανώτατο όριο δεδομένων είναι τα 10 MB. Τέλος, μέσα σε λίγα λεπτά αφού ολοκληρωθεί η επεξεργασία, αποστέλλεται στον χρήστη μέσω e-mail συμπιεσμένο αρχείο με τα αποτελέσματα από την υπηρεσία.

Εδώ αξίζει να σημειωθεί ότι, ενώ η χρήση της υπηρεσίας και των διαδικασιών της είναι απλή, δεν είναι τόσο εύχρηστη από την άποψη ότι δεν υπάρχει οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων (π.χ. διάγραμμα).

Στο σύνολο των διαδικασιών, η υπηρεσία APPS χρησιμοποιεί κάποιες πληροφορίες από την επικεφαλίδα του αρχείου RINEX που αποστέλλεται από τον χρήστη της υπηρεσίας. Συγκεκριμένα, λαμβάνονται υπόψη μόνο οι προσεγγιστικές συντεταγμένες. Αναφέρεται ότι για να επιτευχθεί εκτίμηση των τελικών συντεταγμένων με ακρίβεια 1 cm, οι προσεγγιστικές συντεταγμένες πρέπει να έχουν ακρίβεια περίπου 100 m. Ανεξάρτητα από την ύπαρξη προσεγγιστικών συντεταγμένων στην κεφαλίδα του αρχείου RINEX, οι τελικές συντεταγμένες που υπολογίζονται από την APPS αναφέρονται στο κέντρο φάσης της κεραίας του δέκτη. Η υπηρεσία αυτή δεν εξετάζει τα ύψη κεραιών και δεν τα λαμβάνει υπόψη της κατά την διαδικασία της ανάλυσης.

Η υπηρεσία APPS δεν διατηρεί κανένα αντίγραφο του συνόλου των υποβληθέντων αρχείων του κάθε χρήστη, ενώ παράλληλα κάτω από οποιεσδήποτε περιστάσεις δεν προσκομίζει

υποβληθέντα αρχεία σε άλλο χρήστη. Οι μόνες πληροφορίες μιας εργασίας επεξεργασίας, που συλλέγει η υπηρεσία για την τήρηση αρχείων της, είναι το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο χρηστών και οι τελικές συντεταγμένες που υπολογίστηκαν.

Από το 1998 έως σήμερα η υπηρεσία της APPS έχει αναβαθμιστεί αρκετές φορές. Ξεκινώντας από την AG (Auto-Gipsy) που ήταν αντίστοιχη υπηρεσία με την APPS αλλά εξαρτημένη από την υπηρεσία GIPSY και με λιγότερες δυνατότητες, στην έκδοση GOA 4.0 τον Μάρτιο του 2004. Η συγκεκριμένη έκδοση περιείχε διάφορα νέα χαρακτηριστικά γνωρίσματα που οδηγούσαν σε λύσεις καλύτερες από την προηγούμενη έκδοση της AG. Η σωστή εφαρμογή σε μερικές από αυτές τις βελτιώσεις απαιτούσε το header του αρχείου RINEX να περιέχει σωστές και γενικά αποδεκτές πληροφορίες για τον τύπο των δεκτών που χρησιμοποιούνται κατά τις παρατηρήσεις. Οι ανανεωμένες με τα χρόνια εκδόσεις έχουν να κάνουν ουσιαστικά με το λογισμικό που χρησιμοποιεί κάθε φορά η υπηρεσία. Επομένως τα λογισμικά που ακολούθησαν έκτοτε ήταν τα GIPSY-OASIS (GOA), GIPSY-OASIS II (GOA II) και σήμερα χρησιμοποιείται το GIPSY 6.3.

3.3.3 Τα υποβαλλόμενα αρχεία RINEX

Η υπηρεσία APPS υποστηρίζει αρχεία που βρίσκονται σε μορφή RINEX 2, RINEX 2.11 και GIPSY TDP. Το όνομα του αρχείου που υποβάλλεται από τον χρήστη είναι αυθαίρετο. Ο ρυθμός μέτρησης είναι έως ένα δευτερόλεπτο. Μετρήσεις της πίεσης μπορούν προαιρετικά να ανέβουν στην ιστοσελίδα της APPS, από την οποια καθυστέρηση του σήματος που θα προκύψει λόγω τροπόσφαιρας.

Τα αρχεία που υποβάλλονται μπορεί να είναι τυποποιημένα ασυμπίεστα RINEX αρχεία ή να είναι συμπιεσμένα Unix, GZipped, Zipped ή/και συμπιεσμένα μορφής Hatanaka αρχεία RINEX. Το λογισμικό της APPS προσδιορίζει τον τρόπο συμπίεσης του κάθε αρχείου, βασιζόμενο στην κατάληξη του ονόματος του αρχείου π.χ., *.Z για την συμπίεση Unix, *.YYd για τα συμπιεσμένα αρχεία μορφής Hatanaka, *.zip για τα συμπιεσμένα αρχεία ZIP και *.gz για τα συμπιεσμένα αρχεία gzip.

3.3.4 Αναμενόμενη ακρίβεια

Ο παρακάτω πίνακας (πίνακας 3.2) συνοψίζει την αναμενόμενη ακρίβεια εντοπισμού θέσης της υπηρεσίας APPS (cm, 3D RMS) για αρχεία δεδομένων που εκτείνονται κατά 1 Hz σε 24 ώρες.

User type	Latency	
	Near Real Time (1 minute - 24 hours)	> 1 day
Stationary (dual frequency)	< 5 cm	~1 cm
Mobile (dual frequency)	< 15 cm	< 5 cm
Airborne (dual frequency)	< 20 cm	< 10 cm
Stationary (single frequency*)	~20 cm	~10 cm
Mobile (single frequency*)	~50 cm	~25 cm
Airborne (single frequency*)	~50 cm	~25 cm

Πίνακας 3.2: Πίνακας αναμενόμενης ακρίβειας εντοπισμού της APPS με σταθερό, κινούμενο και εναέριο δέκτη μονής και διπλής συχνότητας.

Επισημαίνεται ότι, η ιονόσφαιρα είναι μία σημαντική πηγή σφαλμάτων στην διαδικασία εντοπισμού θέσης των χρηστών μονής συχνότητας. Στο μικρό γεωγραφικό πλάτος και κατά την διάρκεια των καταιγίδων της ιονόσφαιρας, το σφάλμα θέσης μπορεί να είναι χειρότερο από την τυπική περίπτωση που απεικονίζεται εδώ.

3.3.5 Το Παγκόσμιο Διαφορικό Σύστημα GPS (Global Differential GPS System, GDGPS)

Στο σημείο αυτό αξίζει να γίνει αναφορά στο Παγκόσμιο Διαφορικό Σύστημα GPS (GDGPS), καθώς είναι το σύστημα το οποίο τροφοδοτεί την υπηρεσία APPS με παραμέτρους ακριβείας (προϊόντα τροχιάς και χρονομέτρου) GPS, απαραίτητα για την επεξεργασία των αρχείων RINEX.

Το GDGPS είναι ένα ολοκληρωμένο, υψηλής ακρίβειας και εξαιρετικά ανθεκτικό σύστημα παρακολούθησης και ανάπτυξης του GPS σε πραγματικό χρόνο.

Χρησιμοποιώντας ένα μεγάλο επίγειο δίκτυο από δέκτες πραγματικού χρόνου αναφοράς, πρωτοποριακή αρχιτεκτονική του δικτύου και σε πραγματικό χρόνο λογισμικό επεξεργασίας δεδομένων, το GDGPS παρέχει ακρίβεια εντοπισμού θέσης στο επίπεδο του δεκατόμετρου (10 cm) και ακρίβεια υπό-νανοδευτερολέπτου στην μεταφορά του χρόνου οπουδήποτε στον κόσμο, στο έδαφος, στον αέρα και στο διάστημα, ανεξάρτητα από την τοπική υποδομή.

Για την υποστήριξη των πιο απαιτητικών εργασιών ανάπτυξης του GPS, των υπηρεσιών υποβοήθησης GPS (Assisted GPS, A-GPS), της εκτιμώμενης κατάστασης και παρακολούθησης του περιβάλλοντος – σε παγκόσμιο επίπεδο, ομοιόμορφα, με ακρίβεια και αξιοπιστία, είναι διαθέσιμα μια πλήρης σειρά από πληροφορίες κατάστασης του GPS σε πραγματικό χρόνο, τα περιβαλλοντικά δεδομένα και τα δευτερεύοντα προϊόντα. Περισσότερες πληροφορίες για το

Παγκόσμιο Διαφορικό Σύστημα GPS μπορεί να βρει κανέίς μέσω της υπηρεσίας APPS-NASA στην ιστοσελίδα <<http://www.gdgps.net/>>.

3.3.6 Έκθεση αποτελεσμάτων

Αφότου ο χρήστης υποβάλλει τα δεδομένα του προς επεξεργασία, πρέπει να αναμένει απαντήσεις μέσα σε σχετικά μικρό χρονικό διάστημα. Ειδικότερα η APPS θα αποστείλει άμεσα μία απάντηση, εάν υπάρχει κάποιο πρόβλημα με τα αρχεία.

Μόλις ολοκληρωθεί η επεξεργασία, αποστέλλεται στον χρήστη μέσω e-mail ένα συμπιεσμένο αρχείο που περιλαμβάνει τη συνοπτική έκθεση των αποτελεσμάτων για το συγκεκριμένο αρχείο δεδομένων και κάποια άλλα συνολικά αποτελέσματα. Συγκεκριμένα, περιλαμβάνονται τέσσερα αρχεία κειμένου (.sum, .pfs, .rgnml, .tdp), καθένα από τα οποία περιέχουν τις εξής πληροφορίες:

- Τον χρόνο και τις συντεταγμένες X, Y, Z με τα τυπικά τους σφάλματα, καθώς και τις γεωγραφικές συντεταγμένες (μήκος, πλάτος, ύψος) με τα τυπικά τους σφάλματα.
- Ένα αρχείο GIPSY TDP που περιλαμβάνει τον χρόνο και τις συντεταγμένες στη μορφή του GIPSY TDP.
- Ένα αρχείο καταγραφής που περιλαμβάνει μηνύματα GIPSY τρέχοντος χρόνου και στατιστικά στοιχεία.
- Την περίληψη των αποτελεσμάτων επεξεργασίας και την επεξήγηση πεδίων.

Επισημαίνεται ότι όλες οι συντεταγμένες που περιέχονται στην έκθεση αποτελεσμάτων είναι εκφρασμένες στο παγκόσμιο σύστημα αναφοράς ITRF2008.

3.3.7 Η υπηρεσία APPS με δεδομένα πίεσης

Στο σημείο αυτό και εφόσον στην συγκεκριμένη εργασία το ενδιαφέρον εστιάζεται στον κινηματικό εντοπισμό, κρίνεται σκόπιμη η αναφορά σε αυτή την λειτουργία που προσφέρει η παρούσα υπηρεσία.

Τα δεδομένα πίεσης είναι ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό που σχεδιάστηκε για την ενίσχυση της ακρίβειας των εκτιμήσεων θέσης, ειδικότερα στην Κινηματική λειτουργία. Έχουν ισχύ στην βελτίωση της ακρίβειας εντοπισμού θέσης για τα αεροπλάνα επειδή βιοθούν στην μη συσχέτιση των εκτιμήσεων της κατακόρυφης θέσης και της καθυστέρησης του σήματος λόγω τροπόσφαιρας.

Η APPS προσφέρει στον χρήστη μια επιλογή για να ανεβάσει τις μετρήσεις πίεσης, οι οποίες μετατρέπονται εσωτερικώς σε υδροστατική καθυστέρηση τιμής δευτερολέπτου και χρησιμοποιούνται στην μοντελοποίηση της τροποσφαιρικής καθυστέρησης. Εάν ο χρήστης επιλέξει να μην ανεβάσει τις μετρήσεις της πίεσης, η υπηρεσία θα μοντελοποιήσει την υδροστατική καθυστέρηση με βάση το ύψος του δέκτη, χρησιμοποιώντας την εξίσωση:

$$1.013 * 2.27 * \exp(-0.000116 * h) \text{ (m)} ,$$

όπου h είναι το γεωμετρικό υψόμετρο σε μέτρα. Οποιαδήποτε σφάλματα εμφανίζονται σε αυτό το μοντέλο, απορροφούνται πλήρως συνήθως από την εκτιμώμενη καθυστέρηση του σήματος λόγω τροπόσφαιρας και τα χονδροειδή σφάλματα των συνολικών καθυστερήσεων εκτιμώνται ως τυχαίες κινούμενες διαδικασίες για κάθε εποχή μέτρησης.

Για τον εντοπισμό θέσης από αεροπλάνο/ελικόπτερο, που είναι πολύ πιο ευαίσθητος σε σφάλματα στην μοντελοποιημένη υδροστατική καθυστέρηση, η APPS εξάγει αυτομάτως δεδομένα πίεσης που έχουν ληφθεί από πεδία του καιρού σε σχεδόν πραγματικό χρόνο από το Εθνικό Κέντρο για την Περιβαλλοντική Πρόβλεψη (National Center for Environmental Prediction, NCEP). Επί του παρόντος αυτά τα πεδία καλύπτουν το ηπειρωτικό κομμάτι των ΗΠΑ, την Αλάσκα και την Χαβάη. Η παραγόμενη πίεση έχει συνήθως καλύτερη ακρίβεια από 10 mbar (περίπου ισοδύναμη με 2 cm καθυστέρηση του σήματος λόγω τροπόσφαιρας).

Αξίζει να σημειωθεί ότι εάν οι μετρήσεις της πίεσης παραχθούν από τον χρήστη, θα υποβληθούν σε επεξεργασία μόνο τα αρχεία RINEX που έχουν καταγραφεί κατά την διάρκεια των δεδομένων της πίεσης.

3.3.8 Πλεονεκτήματα της υπηρεσίας APPS

- Άμεση ικανοποίηση στο διαδίκτυο διότι δεν υπάρχει απαραίτητη εγγραφή για την βασική υπηρεσία.
- Πολλαπλές λειτουργίες εισόδου όπως, μέσω του διαδικτύου, μέσω e-mail και μέσω της άμεσης περιστασιακής υποστήριξης κατάθεσης SFTP καθώς και δυνατή αυτοματοποιημένη χρήση.
- Τις περισσότερες φορές η αποστολή της έκθεσης επεξεργασίας πραγματοποιείται στιγμιαία, αποτέλεσμα της πλήρους αυτοματοποιημένης διαδικασίας.
- Δεν υπάρχει καθυστέρηση του σήματος μετάδοσης GPS (χρησιμοποιώντας τα ακριβή προϊόντα τροχιάς και χρονομέτρου του GDGPS).
- Δεν υπάρχει καθυστέρηση για τα δεδομένα μονής συχνότητας (χρησιμοποιώντας TEC χάρτες σε πραγματικό χρόνο του GDGPS).
- Βελτιωμένη ακρίβεια με πιο ακριβές μοντέλο καθυστέρησης του σήματος λόγω τροπόσφαιρας: μετρήσεις της πίεσης από τους χρήστες εισόδου, αντικειμενική ανάλυση πεδίων πίεσης του NCEP, αυτόματος εντοπισμός δεδομένων από αεροπλάνο/ελικόπτερο και βελτιστοποίηση της διαδικασίας και Κινηματική επεξεργασία που περιλαμβάνει το φίλτραρισμα και την εξάλειψη εξομάλυνσης αντικειμένων σύγκλισης.

3.3.9 Μειονεκτήματα της υπηρεσίας APPS

- Η τοποθέτηση του αρχείου παρατήρησης RINEX σε μία περιοχή που είναι προσεγγίσιμη από την APPS, μέσω της διαδικασίας με το ανώνυμο ftp είναι αρκετά σύνθετη, αφού απαιτείται επιπρόσθετα άρση των περιορισμών ασφαλείας για εισβολείς, που έχουν τεθεί στον κεντρικό υπολογιστή (server), όπου θα τοποθετηθεί το αρχείο RINEX.
- Η επεξεργασία των αρχείων RINEX στην APPS πραγματοποιείται μόνο αν έχουν παρέλθει μία με δύο εβδομάδες από την ημέρα των παρατηρήσεων στις οποίες αντιστοιχούν, καθώς δεν χρησιμοποιούνται γενικώς τα “rapid” προϊόντα.
- Η υπηρεσία της APPS έχει τύχει να είναι εκτός λειτουργίας για μια ολόκληρη εβδομάδα, πιθανόν λόγω συντήρησης του συστήματος, χωρίς προηγούμενη ενημέρωση των χρηστών.
- Η δοκιμαστική λειτουργία παρέχει τα αποτελέσματα μόνο στατικού εντοπισμού διπλής συχνότητας, χωρίς την δυνατότητα αλλαγής αυτών των χαρακτηριστικών και έχει περιορισμό μεγέθους αρχείου έως 5 MB και 10 MB για μη εγγεγραμμένους και για εγγεγραμμένους χρήστες αντίστοιχα.
- Στην έκθεση των αποτελεσμάτων δεν περιέχονται γραφικές απεικονίσεις.

3.4 GAPS – GPS Analysis and Positioning Service

3.4.1 Γενικά

Η υπηρεσία Ανάλυσης και Εντοπισμού GPS, GAPS (GPS Analysis and Positioning Service), που μπορεί κανείς να βρει στην ιστοσελίδα <<http://gaps.gge.unb.ca>>, ξεκίνησε να αναπτύσσεται το 2007 από το Πανεπιστήμιο του New Brunswick στον Καναδά με στόχο να παρέχει στους χρήστες ένα δωρεάν online εργαλείο PPP, ικανό στο να προσδιορίζει θέσεις και άλλες παραμέτρους που χρήζουν ενδιαφέροντος.

Παρά το γεγονός ότι χρησιμοποιείται κυρίως για τον εντοπισμό θέσεων, το κέντρο επεξεργασίας GAPS επιτρέπει στον χρήστη να εκτιμά καθυστερήσεις της ιονόσφαιρας και της ουδέτερης ατμόσφαιρας, χονδροειδή σφάλματα του χρονομέτρου του δέκτη και τον κώδικα πολλαπλών διαδρομών. Σε όλες τις περιπτώσεις, η υπηρεσία αναπτύχθηκε ώστε να είναι κατάλληλη για εφαρμογές μετά-επεξεργασίας και πραγματικού χρόνου.

Σήμερα, γίνεται αρκετή δουλειά για την βελτίωση σφαλμάτων διαμόρφωσης και την προετοιμασία της υπηρεσίας GAPS για τον εντοπισμό θέσεων πολλαπλού σχηματισμού GNSS στο μέλλον.

3.4.2 Διαδικασία

Στην ιστοσελίδα της υπηρεσίας GAPS, υπάρχουν δύο τρόποι με τους οποίους ο χρήστης μπορεί να υποβάλει τα αρχείων δεδομένων του, μέσω της Βασικής Λειτουργίας (Basic Mode) και μέσω της Λειτουργίας για Προχωρημένους (Advanced Mode). Και στις δύο λειτουργίες ο χρήστης καλείται να υποβάλλει τα αρχεία του μέσα σε μία ειδική φόρμα της υπηρεσίας.

Αρχικά, στην πρώτη λειτουργία ο χρήστης επιλέγει το αρχείο RINEX που επιθυμεί να επεξεργαστεί και στην συνέχεια καλείται να συμπληρώσει κάποιες επιπλέον επιλογές. Αυτές είναι οι a-priori συντεταγμένες, η μέθοδος εντοπισμού (στατικός ή κινηματικός), η γωνία αποκοπής σε μοίρες και το e-mail στο οποίο θα αποσταλούν τα αποτελέσματα. Η λειτουργία αυτή ουσιαστικά επιτρέπει την γρήγορη και εύκολη υποβολή των αρχείων παρατήρησης για τους χρήστες που χρησιμοποιούν συχνά τις προεπιλεγμένες ρυθμίσεις της GAPS, όπως για παράδειγμα χρησιμοποιεί τα τελικά ακριβή προϊόντα της IGS, τις βασικές συχνότητες και κώδικες L1, L2, P1, P2, το μοντέλο του UNB (UNB3) για τον προσδιορισμό της ουδέτερης ατμοσφαιρικής καθυστέρησης και πολλά άλλα τα οποία παρέχει αναλυτικά η υπηρεσία στον χρήστη.

Η δεύτερη λειτουργία είναι πιο διεξοδική, καθώς έχει περισσότερες επιλογές για τον χρήστη ώστε να χρησιμοποιήσει ότι εκείνος επιθυμεί για την επεξεργασία. Κάποια παραδείγματα αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο και κάποια άλλα ακόμη είναι η διάρκεια των παρατηρήσεων, η ατμοσφαιρική καθυστέρηση (ο χρήστης μπορεί να επιλέξει αν θα προσδιοριστεί ή όχι και με ποιό μοντέλο), η μετατόπιση αν υπάρχει κ.λπ..

Στην συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήθηκε η Βασική Λειτουργία διότι όταν πραγματοποιήθηκε η επεξεργασία των αρχείων δεδομένων δεν υπήρχε η δεύτερη λειτουργία, καθώς η τελευταία αναβάθμιση της υπηρεσίας πραγματοποιήθηκε την 1^η Σεπτεμβρίου του 2015. Στην εικόνα 3.4 δίνεται η ειδική φόρμα συμπλήρωσης που αφορά την Βασική Λειτουργία επεξεργασίας.

GAPS Basic User Submission

Select Input Observation File: *	<input type="button" value="Επιλογή αρχείου"/> RoverElliniko.14o
X (m) / Latitude (dd.mmssssss)	<input type="text" value="0"/>
Y (m) / Longitude (dd.mmssssss)	<input type="text" value="0"/>
Z (m) / Height (m)	<input type="text" value="0"/>
Positioning	<input type="radio"/> Static <input checked="" type="radio"/> Kinematic
Elevation Cutoff Angle (deg)	<input type="text" value="10"/>
E-mail *	<input type="text" value="mariakadi25@gmail.com"/>
<input type="button" value="Process"/>	

Εικόνα 3.3: Ειδική φόρμα συμπλήρωσης για την υποβολή των αρχείων δεδομένων GPS με χρήση της Βασικής Λειτουργίας της υπηρεσίας GAPS.

Σημειώνεται, ότι αν ο χρήστης δεν παρέχει τις a-priori συντεταγμένες, τότε χρησιμοποιούνται οι αρχικές συντεταγμένες που βρίσκονται στην κεφαλίδα του αρχείου RINEX. Αν δεν υπάρχουν ούτε αυτές, χρησιμοποιείται η θέση (0, 0, 0) και συνεχίζεται η επεξεργασία.

3.4.3 Τα υποβαλλόμενα αρχεία RINEX

Στο παρελθόν, ο χρήστης μπορούσε να υποβάλλει στην υπηρεσία αρχεία παρατηρήσεων RINEX σε συμβατική μορφή ή σε Hatanaka συμπίεση, όπως και στα προηγούμενα κέντρα επεξεργασίας και φυσικά, το όνομα των αρχείων πρέπει να ακολουθεί τους πρότυπους κανόνες ονοματολογίας. Στη συνέχεια ακολούθησαν τα αρχεία RINEX2 και RINEX3 και από την 3^η Μαρτίου του 2015 η GAPS ενημερώθηκε ξανά, προσθέτοντας επιπλέον μορφές αρχείων που μπορούν να υποβάλλονται. Έτσι τώρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν προς επεξεργασία συμπιεσμένα αρχεία της μορφής 7z, bzip2, gzip, TAR, ZIP, CAB, ISO, MSI, RAR, Z, καθώς επίσης προστέθηκε υποστήριξη και για RINEX3.

3.4.4 Αναμενόμενη Ακρίβεια

Η GAPS παρέχει στους χρήστες με ακρίβεια, επεξεργασία εντοπισμού θέσης χρησιμοποιώντας ένα μόνο δέκτη GNSS τόσο στην στατική όσο και στην κινηματική λειτουργία. Μέσω της χρήσης ακριβή προϊόντων τροχιάς και χρονομέτρου που παρέχονται από πηγές όπως η Διεθνής Υπηρεσία GNSS (International GNSS Service, IGS) και η υπηρεσία Φυσικών Πόρων του Καναδά (Natural Resources Canada, NRCan), είναι δυνατόν να επιτευχθεί ακρίβεια εντοπισμού στο επίπεδο του εκατοστού για την στατική λειτουργία επεξεργασίας και στο επίπεδο του δεκατόμετρου για την κινηματική λειτουργία αντίστοιχα, δίνοντας ένα επαρκές διάστημα σύγκλισης.

3.4.5 Έκθεση αποτελεσμάτων

Η υπηρεσία δεν απαιτεί ελάχιστη διάρκεια για τις παρατηρήσεις, όμως η ποιότητα των αποτελεσμάτων εξαρτάται από την διάρκεια των παρατηρήσεων. Η μέγιστη διάρκεια των παρατηρήσεων είναι 24 ώρες και πρέπει να βρίσκονται στην ίδια ημερολογιακή ημέρα GPS. Επίσης, ο χρήστης μπορεί να περιορίσει τη διάρκεια των παρατηρήσεών του, επιλέγοντας το χρονικό διάστημα που τον ενδιαφέρει.

Η GAPS αποστέλλει σε συμπιεσμένη μορφή τα αποτελέσματα στην ηλεκτρονική διεύθυνση του χρήστη τα οποία περιλαμβάνουν μια σειρά από εικόνες με γραφήματα, ένα HTML document που περιέχει τις πληροφορίες για την θέση του χρήστη και τέσσερα ακόμη αρχεία με τα συνολικά αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία. Τα πιο σημαντικά από τα αρχεία αυτά και που ενδιαφέρουν περισσότερο είναι τα .PAR και .RES. και αναλύονται ως εξής:

- .PAR: περιλαμβάνει τις γεωδαιτικές και καρτεσιανές συντεταγμένες καθώς και τις παραμέτρους των αντίστοιχων τυπικών αποκλίσεών τους. Επίσης περιλαμβάνει πληροφορίες για τον υπολογισμό της ουδέτερης ατμόσφαιρας, για τις διορθώσεις χρονομέτρου και για την καθυστέρηση του σήματος λόγο τροπόσφαιρας.
- .RES: περιλαμβάνει τα υπόλοιπα των ψευδοαποστάσεων, των φάσεων των αζιμούθιων και των ασαφειών, καθώς επίσης και πληροφορία για την ορατότητα των δορυφόρων που χρησιμοποιήθηκαν στην επεξεργασία.

Τέλος οι γραφικές παραστάσεις απεικονίζουν την πορεία των φ και λ συντεταγμένων και του γεωμετρικού ύψους, το πώς κυμαίνονται οι καρτεσιανές συντεταγμένες και οι τυπικές τους αποκλίσεις, την αναπαράσταση της ουδέτερης ατμόσφαιρας, τους δορυφόρους που χρησιμοποιήθηκαν κατά την επίλυση, καθώς επίσης και τα υπόλοιπα φάσης και ψευδοαπόστασης.

Σημειώνεται, όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη ενότητα, ότι σήμερα έχουν προστεθεί περισσότερες πληροφορίες στην επεξεργασία και ανάλυση των αποτελεσμάτων.

3.4.6 Πλεονεκτήματα της υπηρεσίας GAPS

- Ελεύθερη πρόσβαση και υποβολή δεδομένων για επεξεργασία προς όλους τους χρήστες, χωρίς την ανάγκη για εγγραφή.
- Δυνατότητα υποβολής διαφόρων τύπων αρχείων δεδομένων GPS, πέραν των συγκεκριμένων RINEX και Hatanaka.
- Δυνατότητα υποδοχής πρώτων δεδομένων από πολλούς διαφορετικούς τύπους δεκτών.
- Δύο λειτουργίες υποβολής αρχείων (Βασική και για Προχωρημένους), ανάλογα με τις απαιτήσεις του εκάστοτε χρήστη. Τώρα ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να επιλέξει εκείνος αν θα χρησιμοποιήσει τον υπολογισμό π.χ. για την ουδέτερη ατμόσφαιρα, καθώς επίσης και για άλλες σημαντικές παραμέτρους (προϊόντα IGS, κώδικα, φάση, κ.λπ.).
- Γραφικές απεικονίσεις αποτελεσμάτων.
- Συνεχείς ενημερώσεις, αναβαθμίσεις και βελτιώσεις της υπηρεσίας για καλύτερη λειτουργία στο μέλλον, χωρίς διακοπή επεξεργασίας για κάποιο χρονικό διάστημα.
- Συστηματική και άμεση ανταπόκριση και εξυπηρέτηση από το προσωπικό της υπηρεσίας.

3.4.7 Μειονεκτήματα της υπηρεσίας GAPS

- Στην Βασική Λειτουργία (η οποία χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία), δεν υπάρχει δυνατότητα αποφυγής υπολογισμού κάποιων παραμέτρων οι οποίες μπορεί και να επηρεάζουν τις μετρήσεις στην σύγκριση των υπηρεσιών.
- Σφάλμα στην προσπάθεια υποβολής κάποιων από τα αρχεία που έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί, με την Λειτουργία για Προχωρημένους (για έλεγχο), που ίσως οφείλεται στην αναβάθμιση και ανταπόκριση μόνο της Βασικής Λειτουργίας.
- Χρησιμοποιεί μόνο δεδομένα του συστήματος GPS.

3.5 Η υπηρεσία magicGNSS

3.5.1 Γενικά

Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί ότι, η ανάλυση που ακολουθεί για το συγκεκριμένο κέντρο επεξεργασίας είναι περιληπτική, καθώς δεν ελήφθησαν επεξεργασμένα αποτελέσματα για κανένα αρχείο δεδομένων όπως από τις άλλες υπηρεσίες. Αυτό οφείλεται στον όγκο των δεδομένων και στην παλαιότητα κάποιων από αυτά.

Η magicGNSS ή αλλιώς magicPPP, είναι μία διαδικτυακή υπηρεσία Ακριβούς Εντοπισμού Θέσης (Precise Point Positioning, PPP), τέθηκε σε λειτουργία το 2009 και επιτρέπει στους GNSS χρήστες της να καθορίζουν τη θέση τους ή την τροχιά τους με ακρίβεια εκατοστού. Η magicPPP

υλοποιεί αλγορίθμους απόλυτου εντοπισμού θέσης που αναπτύχθηκαν από την GMV ως αποτέλεσμα των 25 χρόνων εμπειρίας της στον ακριβή προσδιορισμό της τροχιάς και στον συγχρονισμό του χρόνου και της θέσης. Η επίσημη ιστοσελίδα της συγκεκριμένης υπηρεσίας είναι η <<http://magicgnss.gmv.com>>.

Σε αντίθεση με άλλες παραδοσιακές τεχνικές για τον εντοπισμό υψηλής ακρίβειας, όπως RTK, η τεχνική που εφαρμόζεται από την magicPPP δεν απαιτεί δεδομένα παρατηρήσεων από σταθμούς Αναφοράς Συνεχούς Λειτουργίας (Continuous Operating Reference Stations, CORS) στην εγγύτερη περιοχή του χρήστη. Αποτελεί ιδανική λύση για περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει πλήρης κάλυψη από σταθμούς CORS.

Η υπηρεσία magicPPP υποστηρίζει όλους τους δέκτες που μπορούν να παρέχουν δεδομένα σε τυπικές μορφές, όπως είναι η μορφή RINEX, ενώ υποστηρίζει και δυαδικές μορφές δεδομένων από τους περισσότερους κατασκευαστές δεκτών.

Η magicPPP έχει σχεδιαστεί ως ένα σύστημα πολλαπλών σχηματισμών. Υποστηρίζει δεδομένα παρατηρήσεων από δορυφόρους GPS, GLONASS και πλέον σήμερα και GALILEO. Οι αλγόριθμοι έχουν ελεγχθεί με πραγματικές παρατηρήσεις GPS και GLONASS, καθώς και με παρατηρήσεις από τον GIOVE, τον πρώτο δορυφόρο GALILEO που τέθηκε σε τροχιά το 2008 και από τέσσερις αρχικούς δορυφόρους IOV. Για να επιτύχει το υψηλότερο επίπεδο ακρίβειας, η magicGNSS επεξεργάζεται μετρήσεις κώδικα δύο συχνοτήτων και φάσης.

3.5.2 Διαδικασία

Οι χρήστες της υπηρεσίας μπορούν να υποβάλλουν τα αρχεία με τα δεδομένα παρατηρήσεων σε ειδική φόρμα στην ιστοσελίδα της magicPPP ή να τα αποστείλουν με ηλεκτρονική αλληλογραφία.

Η magicPPP προσφέρει τρεις διαφορετικές λειτουργίες:

- **Υπηρεσία μετά-επεξεργασίας:** Εγγεγραμμένοι χρήστες μπορούν να φορτώνουν, να αποθηκεύουν και να διαχειρίζονται τα αρχεία πρωτογενών δεδομένων στον χώρο εργασίας του συστήματος cloud, της υπηρεσίας magicPPP και να χρησιμοποιούν μία σειρά από εργαλεία για την μετά-επεξεργασία και απεικόνιση των αποτελεσμάτων. Υποστηρίζονται δέκτες που μπορούν να παρέχουν δεδομένα παρατήρησης, σε τυπικές μορφές, όπως RINEX, καθώς επίσης και δυαδικές μορφές δεκτών οι οποίοι υποστηρίζονται από τους περισσότερους κατασκευαστές.
- **Υπηρεσία μέσω e-mail (δωρεάν):** Οι χρήστες μπορούν να έχουν δωρεάν πρόσβαση σε αυτή την υπηρεσία μέσω e-mail, αποστέλλοντας τα πρώτα τους αρχεία δεδομένων RINEX στην διεύθυνση <magicppp@gmv.com>.
- **Υπηρεσία σε πραγματικό χρόνο:** Μία συνεχής λειτουργία από διακομιστές των υποδομών της magicGNSS δημιουργεί σε τακτική βάση διορθώσεις PPP υπό μορφή streaming. Οι

εγγεγραμμένοι χρήστες μπορούν να ανακτήσουν τις διορθώσεις αυτές μέσω του διαδικτύου ή μέσω ενός συνδέσμου δορυφορικών επικοινωνιών σε περίπτωση που η πρόσβαση στο διαδίκτυο δεν είναι εφικτή.

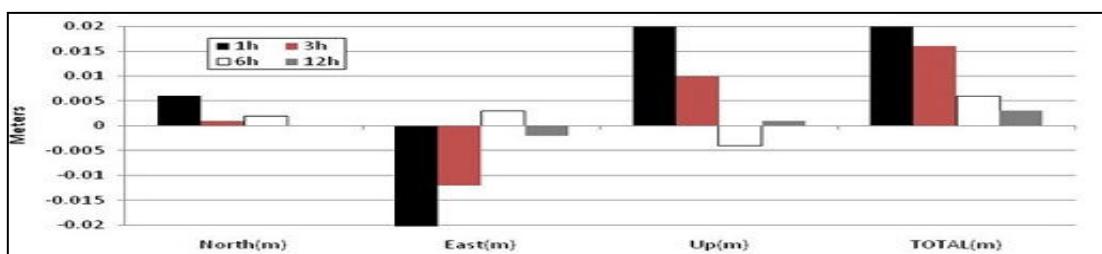
Η magicGNSS προσφέρει δύο εργοστασιακά ρυθμισμένους μετά-επεξεργασίας τρόπους, στατικό και κινηματικό. Στην κινηματική λειτουργία, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει αν η θέση του θέλει να είναι στον αέρα ή στο έδαφος, ώστε να εφαρμόσει την πλέον κατάλληλη διαμόρφωση. Η θέση και η τροχιά παρέχονται σε απλή μορφή ASCII, όπως επίσης και σε τυπικές μορφές για γρήγορη οπτικοποίηση.

Σημειώνεται, ότι τα αρχεία παρατήρησης πρέπει να έχουν την πρότυπη ή Hatanaka μορφή RINEX, 2.10 ή 2.11, συμπιεσμένα ή και ασυμπίεστα. Επίσης, πολύ σημαντικό για την σωστή επεξεργασία, είναι να ακολουθούνται οι κανόνες-συμβάσεις ονοματολογίας. Περισσότερες πληροφορίες μπορούν να βρεθούν στην διεύθυνση <<http://magicgnss.gmv.com/ppp/>>.

3.5.3 Αναμενόμενη Ακρίβεια

Οι αλγόριθμοι της magicGNSS και το λογισμικό SW έχουν βελτιστοποιηθεί για να ολοκληρωθεί η επεξεργασία σε λίγα δευτερόλεπτα.

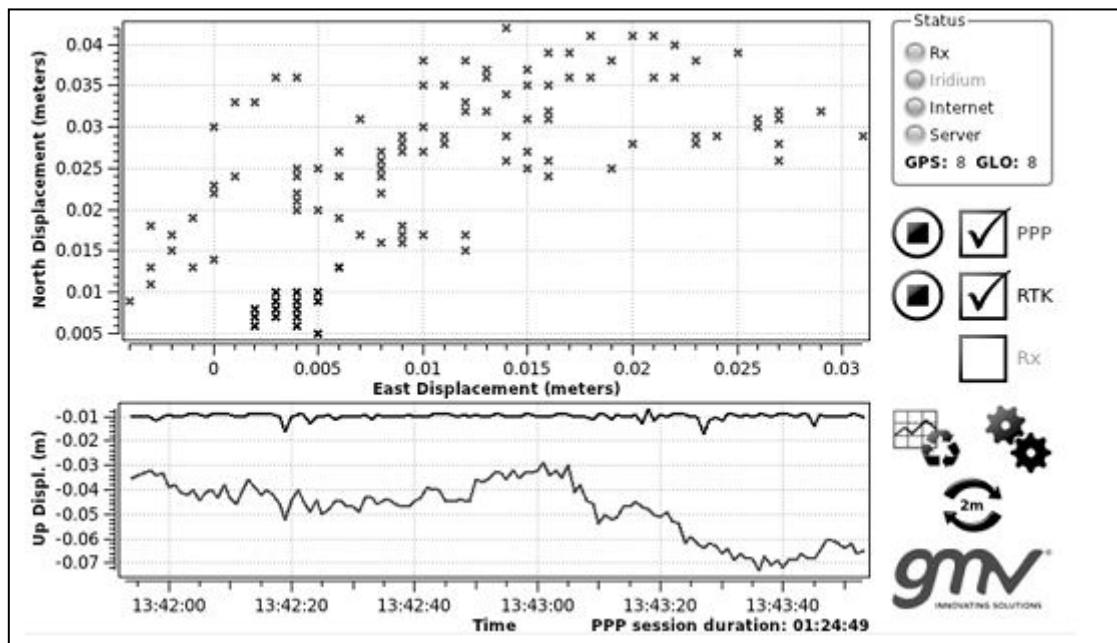
Στην στατική λειτουργία (μετά-επεξεργασία), η ακρίβεια εντοπισμού PPP εξαρτάται από τον χρόνο παρατήρησης. Για παρατηρήσεις διάρκειας μιας ημέρας η ακρίβεια που προσφέρει η magicPPP μπορεί να φτάσει το επίπεδο των λίγων χιλιοστών. Για παρατηρήσεις διάρκειας περίπου 2 ωρών, η τυπική ακρίβεια είναι περίπου 2-3 cm. Τέλος, για παρατηρήσεις που έχουν διάρκεια 20 λεπτά με μία ώρα η ακρίβεια που δίνει η υπηρεσία είναι συνήθως κάτω από 10 cm. Το διάγραμμα του σχήματος 3.8 δείχνει την ακρίβεια για διαστήματα παρατήρησης 1, 3, 6 και 12 ωρών.



Εικόνα 3.4: Ακρίβεια εντοπισμού PPP της magicGNSS στην στατική λειτουργία, σε σχέση με την διάρκεια παρατήρησης.

Στην λειτουργία σε πραγματικό χρόνο (σχήμα 3.9), η οριζόντια ακρίβεια είναι συνήθως κάτω από 10 cm μετά από χρόνο σύγκλισης 30 λεπτών, ξεκινώντας από μία άγνωστη θέση και

ακόμη λιγότερα εκατοστά μετά την πλήρη σύγκλιση. Όταν ο χρήστης έχει προετοιμαστεί από μία γνωστή θέση, η magicPPP μπορεί να προσφέρει πλήρη ακρίβεια σε λίγα λεπτά.



Εικόνα 3.5: Ακρίβεια που προσφέρει η magicGNSS από την λειτουργία σε πραγματικό χρόνο.

3.5.4 Έκθεση αποτελεσμάτων

Οι αλγόριθμοι της υπηρεσίας έχουν βελτιστοποιηθεί έτσι ώστε να επεξεργάζονται τα δεδομένα και να αποστέλλουν τα αποτελέσματα σε λίγα μόνο δευτερόλεπτα.

Μετά την επεξεργασία, η υπηρεσία της magicPPP αποστέλλει στον χρήστη μία πλήρη τεχνική έκθεση με ολοκληρωμένη πληροφόρηση για τις συντεταγμένες της ακριβής θέσης του χρήστη ή την τροχιά και πληροφορίες σχετικά με την ποιότητα των δεδομένων εισόδου, την διαμόρφωση που χρησιμοποιείται, την διαδικασία εκτίμησης, καθώς και την ποιότητα εντοπισμού θέσης. Ακόμη, η υπηρεσία μαζί με τα συνολικά αποτελέσματα περιλαμβάνει και αντίστοιχα γραφήματα με την απεικόνιση των αποτελεσμάτων αυτών.

3.5.5 Πλεονεκτήματα της υπηρεσίας magicGNSS

- Η υπηρεσία δεν απαιτεί δεδομένα παρατηρήσεων από τους Σταθμούς Αναφοράς CORS.
- Η magicPPP έχει σχεδιαστεί ως ένα σύστημα πολλαπλών σχηματισμών και υποστηρίζει δεδομένα παρατηρήσεων από δορυφόρους GPS, GLONASS και GALILEO.
- Ο χρήστης μπορεί να φορτώσει τα δεδομένα GNSS, να επιλέξει την λειτουργία επεξεργασίας που προτιμά και να λάβει την ακριβή θέση ή την τροχιά.

- Επιλογή από τον χρήστη του τρόπου υποβολής των δεδομένων και της λειτουργίας επεξεργασίας.
- Υποστηρίζει όλους τους τύπους δεκτών τυπικών μορφών (RINEX), και δυαδικές μορφές δεδομένων.

3.5.6 Μειονεκτήματα της υπηρεσίας *magicGNSS*

- Από τις λειτουργίες που παρέχονται, σε άλλες χρειάζεται εγγραφή από τον χρήστη και σε άλλες όχι, κάτι που προκαλεί σύγχυση.
- Αν και έχει σχεδιαστεί για ευκολία, ο τρόπος με τον οποίο μπορεί να υποβάλλει τα δεδομένα του ο χρήστης μέσω εγγραφής στην πράξη είναι δυσκολότερος από ότι να στείλει ένα απλό e-mail.
- Λόγω του ότι η υπηρεσία έχει ξεκινήσει την λειτουργία της το 2009, τα αρχεία που μπορεί να δεχτεί για επεξεργασία είναι μόνο αυτά που έχουν δημιουργηθεί από το 2009 και έπειτα και όχι προηγούμενων ετών.
- Έχει περιορισμό μεγέθους, έως 1 Hz.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΔΕΔΟΜΕΝΑ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται περιγραφή των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν προκειμένου να πραγματοποιηθεί σύγκριση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από τις λύσεις κάθε υπηρεσίας.

Τα δεδομένα είναι μόνο κινηματικού εντοπισμού που έχουν συλλεχθεί με δέκτες GNSS. Τα δεδομένα αυτά προέρχονται επίσης από διαφορετικούς τύπους δεκτών (γεωδαιτικούς, ναυσιπλοΐας) καθώς και από διαφορετικές περιοχές της Ελλάδας και του εξωτερικού. Τέλος, έχουν συλλεχθεί σε διαφορετικές χρονικές περιόδους και από διαφορετικές κινηματικές πλατφόρμες (αυτοκίνητο, αεροπλάνο, πλοίο).

4.2 ΔΕΔΟΜΕΝΑ

4.2.1 Γενικά

Για να υπάρξει όσο το δυνατόν καλύτερο μέτρο σύγκρισης ώστε να γίνουν πιο σαφή τα αποτελέσματα που θα προκύψουν από την διαδικασία επεξεργασίας, χρησιμοποιήθηκαν αρκετά αρχεία δεδομένων GNSS και με διαφορετικό, όπως προαναφέρθηκε, (κινούμενο) τρόπο συλλογής τους.

4.2.2 Κατηγορίες Δεδομένων

Στην παρούσα ενότητα γίνεται περιγραφή των δεδομένων με βάση τις διαφορετικές κινηματικές πλατφόρμες και τα στοιχεία συλλογής τους. Οι πλατφόρμες αυτές είναι: δεδομένα που έχουν συλλεχθεί από αυτοκίνητο, από αεροπλάνο και από πλοίο.

Τα πραγματικά αρχεία δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν για επεξεργασία είναι 7. Δύο από αυτοκίνητο, τέσσερα από αεροπλάνο και ένα από πλοίο. Στη συνέχεια ακολουθεί ένας συνοπτικός πίνακας με τα διαφορετικά στοιχεία των δεδομένων αυτών που έχουν συλλεχθεί (διαχωρισμός πλατφόρμας, τύπος δέκτη, ημερομηνία, διάρκεια μετρήσεων).

ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ

<u>ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ</u>				<u>ΑΕΡΟΠΛΑΝΟ</u>				<u>ΠΛΟΙΟ</u>			
ΟΝΟΜΑ ΑΡΧΕΙΟΥ	ΗΜ/ΝΙΑ	ΤΥΠΟΣ ΔΕΚΤΗ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΟΝΟΜΑ ΑΡΧΕΙΟΥ	ΗΜ/ΝΙΑ	ΤΥΠΟΣ ΔΕΚΤΗ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΟΝΟΜΑ ΑΡΧΕΙΟΥ	ΗΜ/ΝΙΑ	ΤΥΠΟΣ ΔΕΚΤΗ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ
CAR126K	06/05/01	JPS LEGACY	25 min	b1sa356_19	22/12/03	ASHTECH	1 h	Rinex_Ublox_29042015	29/04/15	U-BLOX	1 h
Rover_Elliniko	06/11/14	NovAte1 OEM4/OEMV	10 min	masw356_19	22/12/03	ASHTECH	1 h				
				pin1356_19	22/12/03	ASHTECH	1 h				
				rnch356_19	22/12/03	ASHTECH	1 h				

Πίνακας 4.1: Συνοπτική παρουσίαση των πραγματικών αρχείων δεδομένων και των χαρακτηριστικών στοιχείων τους.

4.2.3 Οργανισμοί και πληροφορίες που προσφέρουν

Οι οργανισμοί με δυνατότητα επεξεργασίας των αρχείων δεδομένων που αναφέρθηκαν παραπάνω και μάλιστα κάνοντας χρήση κινηματικού εντοπισμού είναι οι CSRS-PPP, GAPS, APPS-NASA και magicGNSS.

Αποτελέσματα για τα συγκεκριμένα αρχεία έδωσαν όλα τα παραπάνω κέντρα επεξεργασίας, εκτός από το κέντρο magicGNSS. Οι λόγοι που δεν μπορούν να ανταποκριθούν όλες οι υπηρεσίες στην επεξεργασία δεδομένων και διεξαγωγή αποτελεσμάτων, όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο (Κεφάλαιο 3 – Υποβαλλόμενα αρχεία RINEX), οφείλονται είτε στον μεγάλο όγκο δεδομένων που μπορεί να περιέχεται σε κάποιο αρχείο (μεγαλύτερο του 1 Hz), είτε γιατί κάποιο αρχείο είναι παλαιότερης χρονικής περιόδου από την έναρξη λειτουργίας της συγκεκριμένης υπηρεσίας ή και τα δύο. Η υπηρεσία magicGNSS άρχισε να λειτουργεί το 2009 και μπορεί να επεξεργαστεί δεδομένα από την χρονιά αυτή και έπειτα. Για κάποια άλλα όμως, πιο πρόσφατα αρχεία δεν κατάφερε να δώσει πληροφορία λόγω του όγκου των δεδομένων.

Παρακάτω ακολουθούν συνοπτικοί πίνακες με τα χαρακτηριστικά στοιχεία του κάθε οργανισμού για κάθε κατηγορία.

Δεδομένα από αυτοκίνητο

Σε αυτή την κατηγορία τα πραγματικά αρχεία δεδομένων GNSS που χρησιμοποιήθηκαν είναι το CAR126K και το RoverElliniko. Για το πρώτο οι υπηρεσίες που έδωσαν αποτελέσματα ήταν η CSRS-PPP και η GAPS, ενώ για το δεύτερο η CSRS-PPP, η GAPS και η APPS-NASA.

ΑΡΧΕΙΑ	CAR126K			Rover_Elliniko		
Υπηρεσίες	Συχνότητα μέτρησης	Γωνία αποκοπής	Συχνότητα	Συχνότητα μέτρησης	Γωνία αποκοπής	Συχνότητα
CSRS-PPP	1 sec	10 deg	Base L1, L2	0,20 sec	10 deg	Base L1, L2
GAPS	1 sec	10 deg	Base L1, L2	1 sec	10 deg	Base L1, L2
APPS-NASA	-		-	1 sec	7,5 deg	Base L1, L2

Πίνακας 4.2: Δείκτες συλλογής δεδομένων GNSS για τα αρχεία CAR126K και RoverElliniko.

Σημειώνεται ότι για το αρχείο δεδομένων CAR126K υπήρχε εκ των υστέρων επεξεργασία κινηματικού εντοπισμού και πραγματοποιήθηκε σύγκριση ώστε να βρεθούν οι όποιες διαφορές.

Δεδομένα από αεροπλάνο

Εδώ χρησιμοποιήθηκαν αρχεία δεδομένων από αεροπλάνο και είναι τα ακόλουθα: blsa356_19, masw356_19, pin1356_19, rnch356_19. Για τα παραπάνω αρχεία, επεξεργασμένα αποτελέσματα έδωσαν και οι τρεις υπηρεσίες, εκτός από τα αρχεία masw356_19 και pin1356_19 όπου έδωσαν αποτελέσματα μόνο οι υπηρεσίες CSRS-PPP και GAPS.

ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ	CSRS-PPP			GAPS			APPS-NASA		
Αρχεία	Συχνότητα μέτρησης	Γωνία αποκοπής	Συχνότητα	Συχνότητα μέτρησης	Γωνία αποκοπής	Συχνότητα	Συχνότητα μέτρησης	Γωνία αποκοπής	Συχνότητα
blsa356_19	2 sec	10 deg	Base L1, L2	2 sec	10 deg	Base L1, L2	2 sec	7,5 deg	Base L1, L2
masw356_19	1 sec	10 deg	Base L1, L2	1 sec	10 deg	Base L1, L2	---	---	---
pin1356_19	1 sec	10 deg	Base L1, L2	1 sec	10 deg	Base L1, L2	---	---	---
rnch356_19	1 sec	10 deg	Base L1, L2	1 sec	10 deg	Base L1, L2	1 sec	7,5 deg	Base L1, L2

Πίνακας 4.3: Δείκτες συλλογής δεδομένων GNSS για τα αρχεία blsa356_19, masw356_19, pin1356_19, rnch356_19.

Δεδομένα από πλοίο

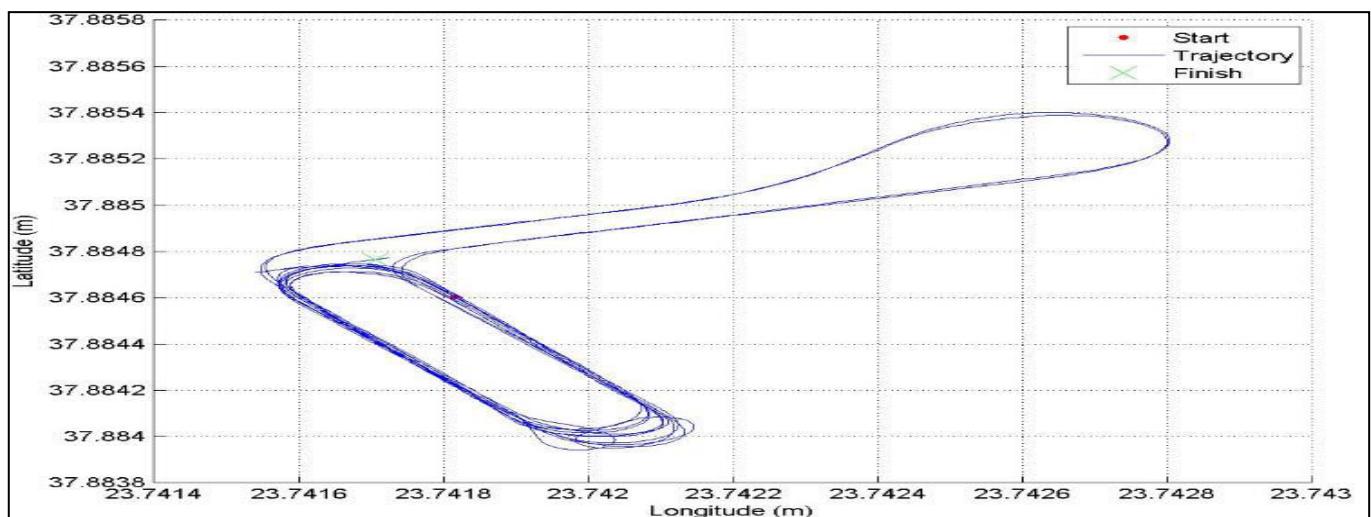
Στην συγκεκριμένη κατηγορία χρησιμοποιήθηκε ένα μόνο αρχείο δεδομένων, η συλλογή των οποίων έγινε από πλοίο με δέκτη ναυσιπλοΐας (U-BLOX). Αυτό είναι το αρχείο Rinex_Ublox_29042015 και μάλιστα αποτελέσματα μετά από επεξεργασία λήφθηκαν μόνο από την καναδική υπηρεσία CSRS-PPP. Ο λόγος, όπως αναφέρθηκε και στα προηγούμενα, είναι ότι υπήρξε μεγάλος όγκος δεδομένων κάτι το οποίο δεν μπορούν να χειριστούν όλες οι υπηρεσίες. Ακολουθεί ο αντίστοιχος πίνακας με τους δείκτες που έχουν συλλεχθεί τα δεδομένα, όπως και παραπάνω.

ΑΡΧΕΙΑ	Rinex_Ublox_29042015		
Υπηρεσίες	Συχνότητα μέτρησης	Γωνία αποκοπής	Συχνότητα
CSRS-PPP	0,50 sec	10 deg	Base L1

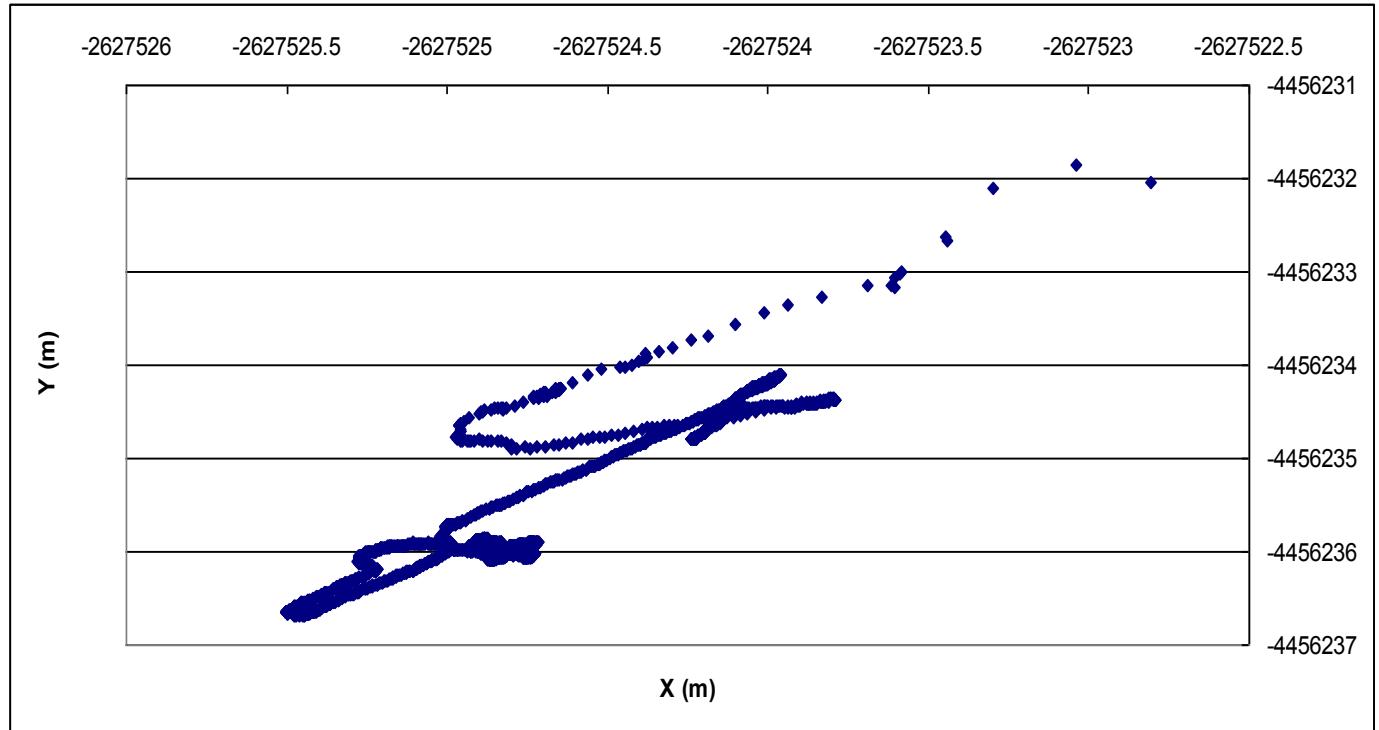
Πίνακας 4.4: Δείκτες συλλογής δεδομένων GNSS για το αρχείο Rinex_Ublox_29042015.

Για το συγκεκριμένο αρχείο, υπήρχε αρχείο θέσεων που προέκυψε μέσω επίλυσης σε πραγματικό χρόνο με χρήση δικτύου μόνιμων σταθμών αναφοράς RTK (Δίκτυο METRICANET) το οποίο χρησιμοποιήθηκε για σύγκριση.

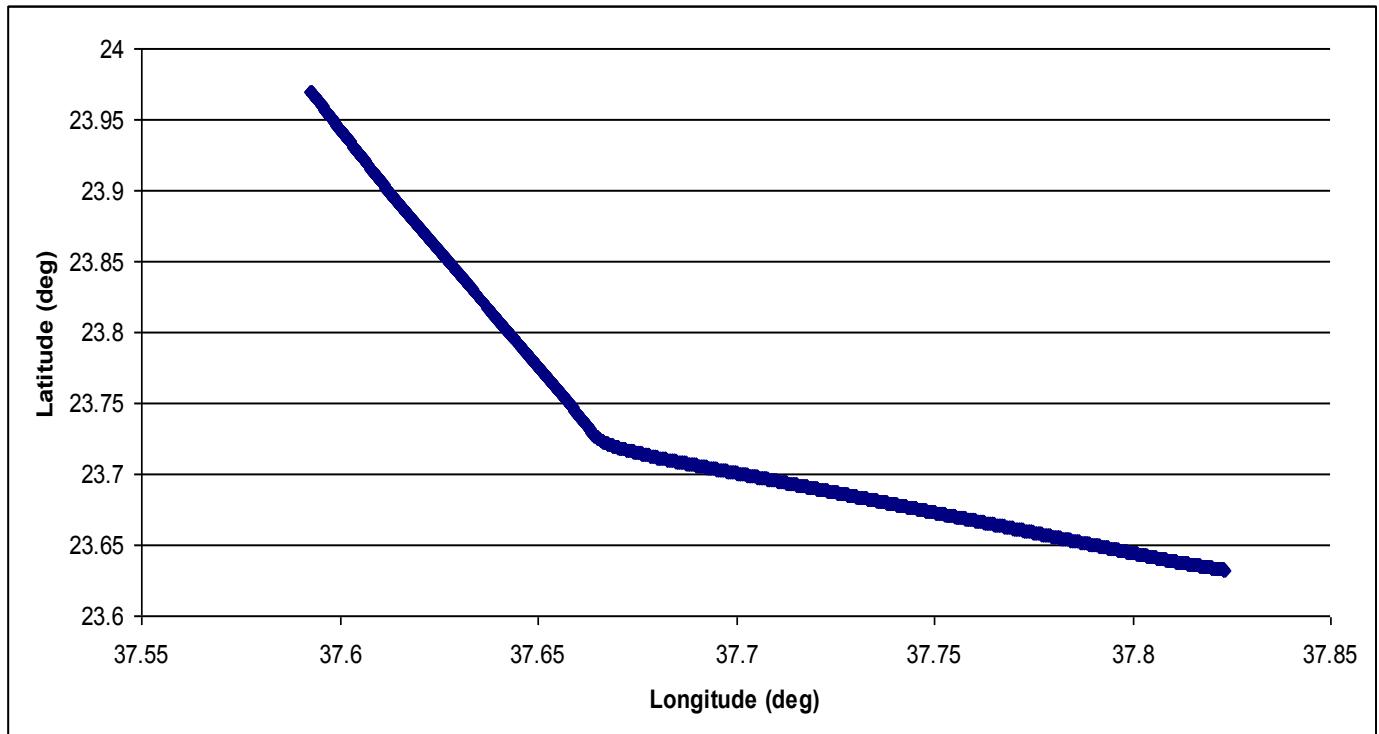
Τέλος, δίνονται μερικά χαρακτηριστικά παραδείγματα διαγραμμάτων πορείας (ϕ , λ & X , Y) του κάθε αρχείου και για κάθε κατηγορία σε t , εκφρασμένα στο σύστημα αναφοράς ITRF 2008, ενώ το σύνολό τους παρουσιάζεται στο παράρτημα A.



Διάγραμμα 4.1: Γραφική απεικόνιση πορείας (latitude, longitude) του αρχείου δεδομένων RoverElliniko (αυτοκίνητο).



Διάγραμμα 4.2: Γραφική απεικόνιση πορείας (X , Y) του αρχείου δεδομένων rnc356_19 (αεροπλάνο).



Διάγραμμα 4.3: Γραφική απεικόνιση πορείας (latitude, longitude) του αρχείου δεδομένων Rinex_Ublox_29042015 (πλοίο).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όπως έχει ήδη ειπωθεί στο Κεφάλαιο 3, (Διεθνή Κέντρα Επεξεργασίας Δεδομένων GNSS – Έκθεση αποτελεσμάτων) όλες οι υπηρεσίες που χρησιμοποιήθηκαν για επεξεργασία των υπαρχόντων αρχείων δεδομένων, έδωσαν μια σειρά από αποτελέσματα. Αυτά είναι συντεταγμένες, διαγράμματα πορείας, τυπικών αποκλίσεων και διάφορα άλλα, καθώς και τεχνικές εκθέσεις με τις επισημάνσεις της κάθε υπηρεσίας ως προς τα αποτελέσματα.

Στο κεφάλαιο αυτό, θα γίνει παρουσίαση των συνολικών αποτελεσμάτων των κέντρων επεξεργασίας ανά διαφορετικό αρχείο, κάποιων σημαντικών από αυτά τα διαγράμματα και των συγκρίσεων μεταξύ των υπηρεσιών αυτών μέσω των αποτελεσμάτων που προέκυψαν.

5.2 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

5.2.1 Γενικά

Προκειμένου να συγκριθούν τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των αρχείων παρατηρήσεων, ακολουθήθηκε για το κάθε αρχείο των τριών κατηγοριών κινηματικού εντοπισμού μια σειρά διαδικασιών καθώς και απαραίτητοι μετασχηματισμοί συντεταγμένων. Οι διαδικασίες αυτές είναι η εύρεση των διαφορών των συντεταγμένων κάθε υπηρεσίας για το ίδιο αρχείο και η παρουσίασή τους σε διαγράμματα, ο υπολογισμός του RMS σφάλματος κάθε λύσης καθώς και ο υπολογισμός του RMS σφάλματος των διαφορών των λύσεων μεταξύ των υπηρεσιών.

5.2.2 Μετασχηματισμοί συντεταγμένων

Όλα τα κέντρα επεξεργασίας χρησιμοποιούν για την έκδοση των αποτελεσμάτων τους το σύστημα αναφοράς ITRF2008, πλην της υπηρεσίας CSRS-PPP που χρησιμοποιεί το σύστημα ITRF2005. Για το λόγο αυτό και για να είναι όλα τα αποτελέσματα στο ίδιο σύστημα αναφοράς ώστε να γίνει σωστά η σύγκριση μεταξύ των υπηρεσιών έγινε μετατροπή (όπου χρειάστηκε) των αποτελεσμάτων των συντεταγμένων που έδωσε η υπηρεσία CSRS-PPP από το σύστημα ITRF2005

στο ITRF2008. Η διαδικασία μετατροπής έγινε με την βοήθεια του λογισμικού TRX που παρέχει η ίδια υπηρεσία.

Τα αποτελέσματα που έχουν προκύψει με εκ των υστέρων επεξεργασία είναι εκφρασμένα στο σύστημα WGS84. Το σύστημα ITRF2008 όμως ταυτίζεται με το WGS84, επομένως δεν θα χρειαστεί άλλη μετατροπή μεταξύ συστημάτων αναφοράς.

Τέλος η υπηρεσία CSRS-PPP δίνει γεωδαιτικές συντεταγμένες, επομένως με την βοήθεια και πάλι του λογισμικού TRX γίνεται εύκολα η μετατροπή από γεωδαιτικές σε καρτεσιανές συντεταγμένες. Το ίδιο έγινε για όλα τα αρχεία κάθε κατηγορίας κινηματικού εντοπισμού.

5.2.3 Διαγράμματα διαφορών μεταξύ των κέντρων επεξεργασίας

Στην ενότητα αυτή στόχος ήταν η εύρεση των διαφορών των συντεταγμένων κατά ΔΧ, ΔΥ, ΔΖ για τα διάφορα κέντρα επεξεργασίας και η αποτύπωσή τους σε διαγράμματα.

Στην έκδοση των επεξεργασμένων αποτελεσμάτων, μαζί με τα διάφορα αρχεία η κάθε υπηρεσία απέστειλε ένα αρχείο το οποίο περιέχει τις σημαντικότερες πληροφορίες ώστε να πραγματοποιηθεί η σύγκριση μεταξύ των υπηρεσιών, οι οποίες είναι οι συντεταγμένες και οι τυπικές αποκλίσεις.

Όπως έχει προαναφερθεί, (Κεφάλαιο 4 - Δεδομένα) οι υπηρεσίες που έδωσαν αποτελέσματα ήταν οι CSRS-PPP, GAPS και APPS-NASA. Ως αναφορά θεωρήθηκε η υπηρεσία CSRS-PPP διότι είναι η πιο αξιόπιστη υπηρεσία, χρησιμοποιεί πολλούς σταθερούς σταθμούς για την επεξεργασία, παρατηρήσεις διπλής συχνότητας φάσης και ψευδοαπόστασης και γενικά είναι η μόνη υπηρεσία που έδωσε αποτελέσματα για όλα τα αρχεία κάθε κατηγορίας ανεξάρτητα από την χρονολογία και το μέγεθος των αρχείων δεδομένων.

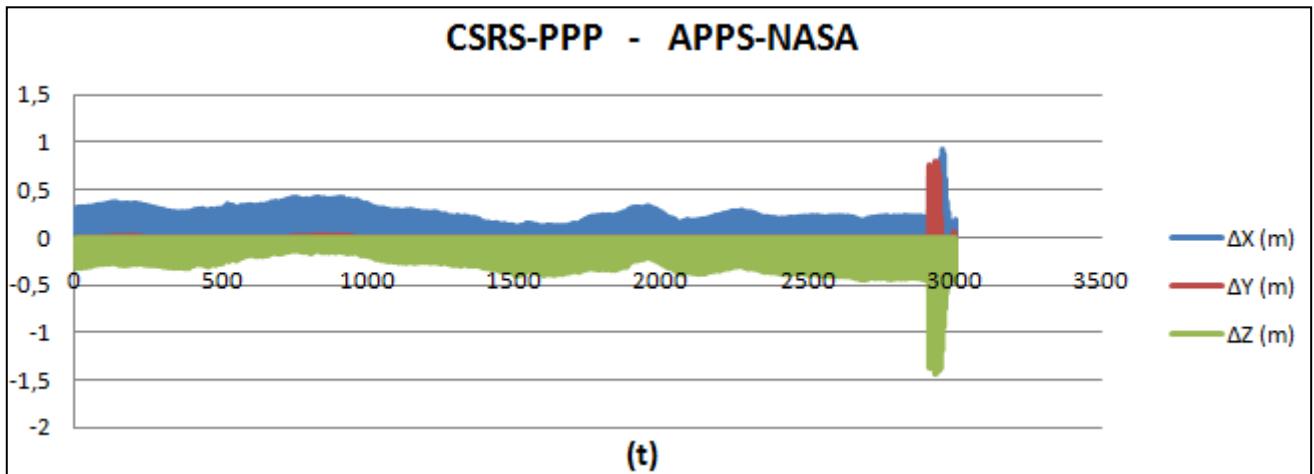
Αφού έχει γίνει όποια μετατροπή χρειάστηκε ως προς τις συντεταγμένες, πραγματοποιήθηκε πολύ εύκολα η εύρεση των διαφορών των συντεταγμένων της κάθε υπηρεσίας για το κάθε αρχείο. Βρέθηκαν δηλαδή οι διαφορές κάθε υπηρεσίας κάνοντας σύγκριση μεταξύ τους με βάση την ίδια ώρα (λεπτά και δευτερόλεπτα) και εφόσον θεωρήθηκε η καναδική υπηρεσία CSRS-PPP ως αναφορά, οι διαφορές βρέθηκαν ως προς αυτή. Στην συνέχεια ακολούθησε η δημιουργία διαγραμμάτων των διαφορών κατά ΔΧ, ΔΥ και ΔΖ.

Αντιπροσωπευτικά διαγράμματα σύγκρισης για κάθε κατηγορία παρατίθενται παρακάτω, ενώ τα υπόλοιπα βρίσκονται στο παράρτημα B.

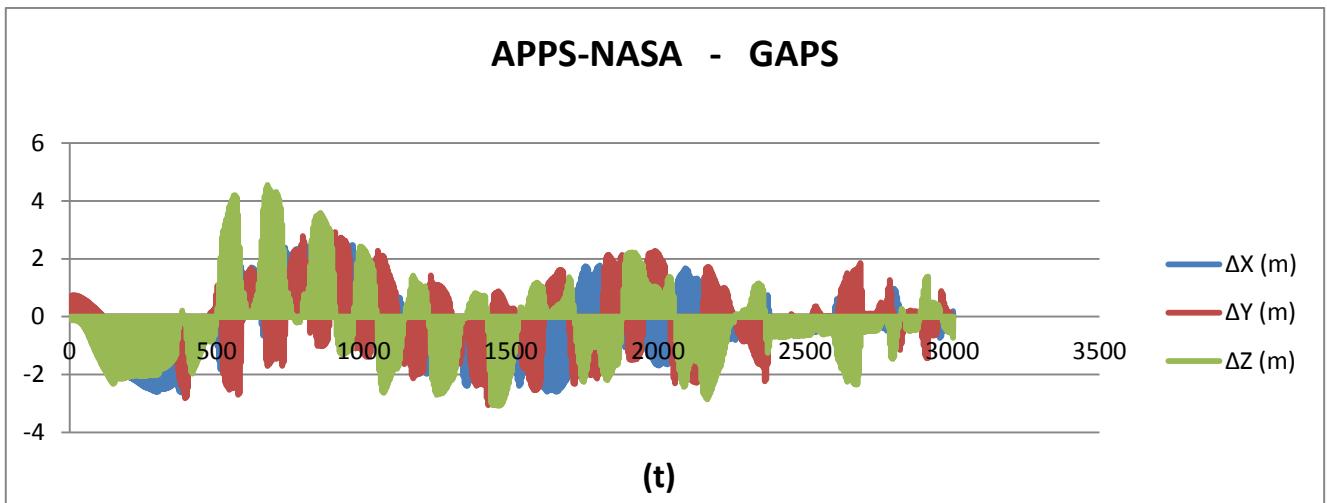
Τα αποτελέσματα των διαγραμμάτων που ακολουθούν είναι εκφρασμένα στο σύστημα αναφοράς ITRF 2008, ο άξονας των Υ αντιπροσωπεύει τις διαφορές μεταξύ των υπηρεσιών εκφρασμένες σε μέτρα, ενώ ο άξονας των Χ αντιπροσωπεύει τον χρόνο των μετρήσεων, ο οποίος εκφράζεται σε δευτερόλεπτα.

Δεδομένα από αυτοκίνητο

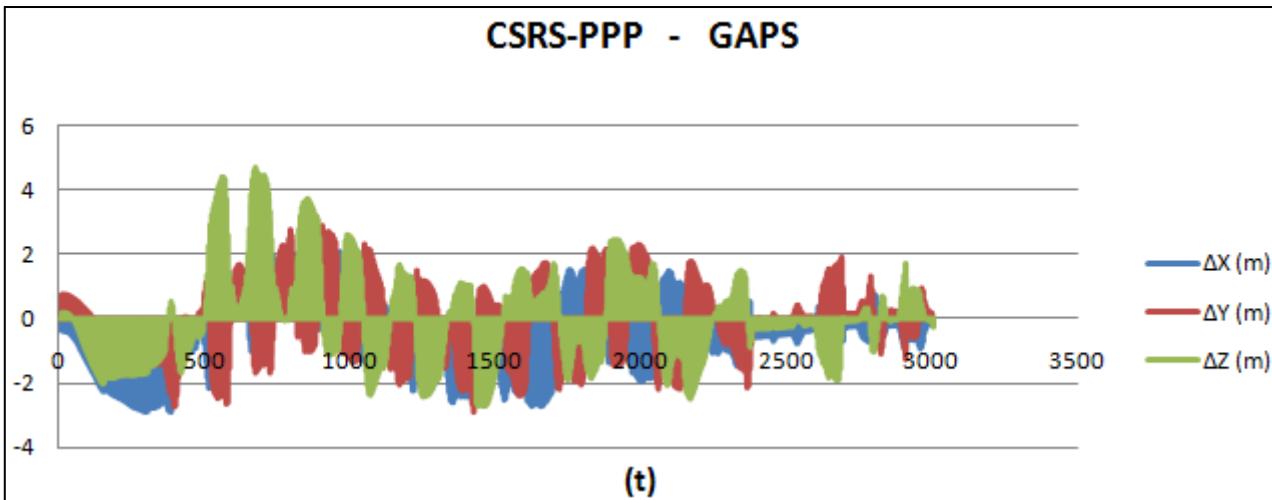
- RoverElliniko



Διάγραμμα 5.1: Διαφορές κατά ΔX , ΔY , ΔZ (σε m) μεταξύ των υπηρεσιών CSRS-PPP και APPS-NASA για το αρχείο RoverElliniko.



Διάγραμμα 5.2: Διαφορές κατά ΔX , ΔY , ΔZ (σε m) μεταξύ των υπηρεσιών GAPS και APPS-NASA για το αρχείο RoverElliniko.

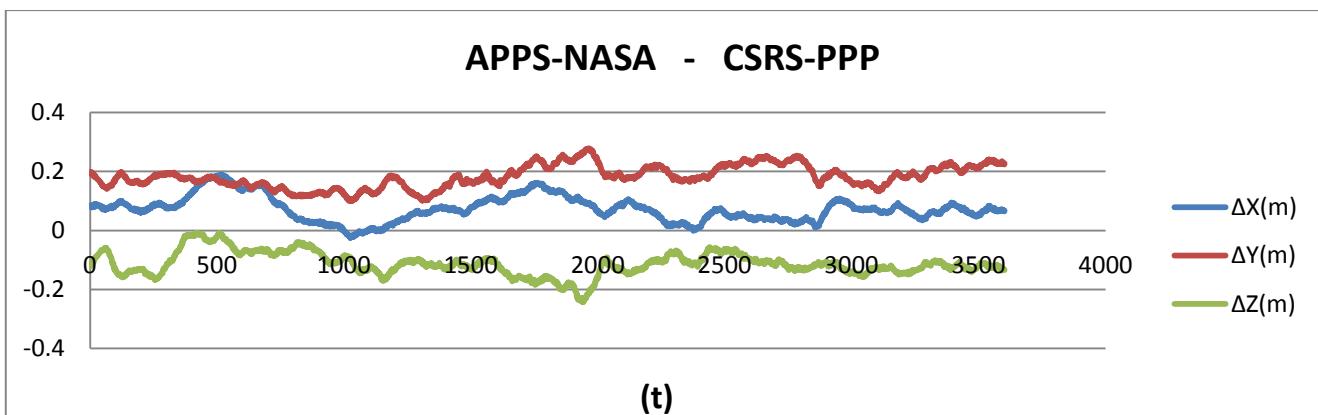


Διάγραμμα 5.3: Διαφορές κατά ΔX , ΔY , ΔZ (σε m) μεταξύ των υπηρεσιών CSRS-PPP και GAPS για το αρχείο RoverElliniko.

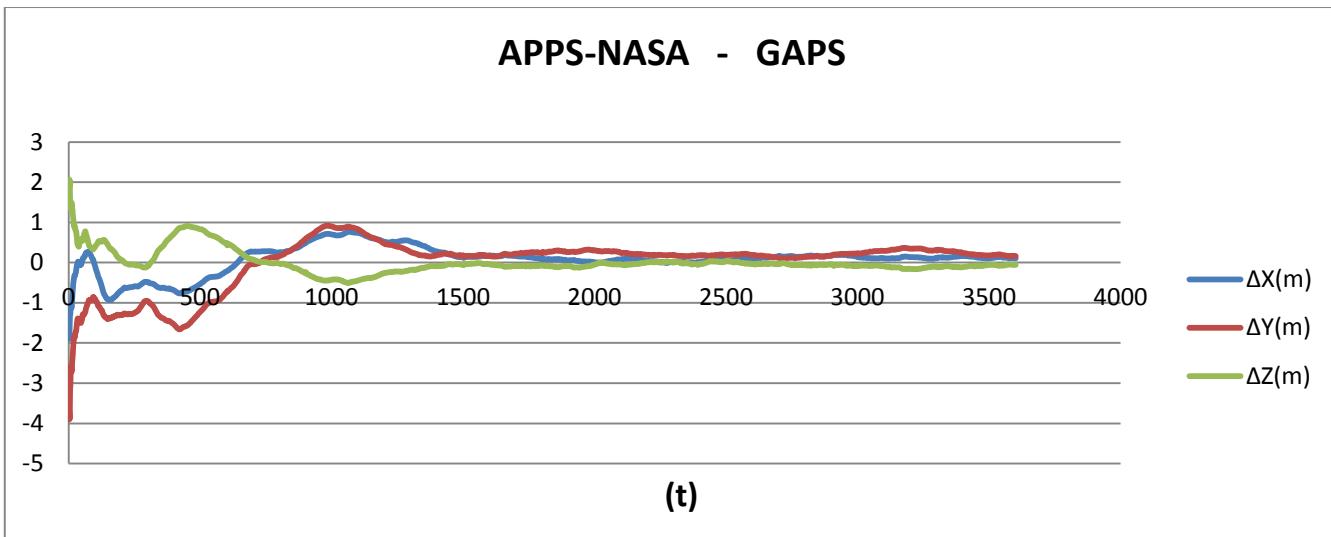
Για το αρχείο RoverElliniko παρατηρείται ότι οι διαφορές κατά ΔX , ΔY και ΔZ μεταξύ των υπηρεσιών CSRS-PPP και APPS-NASA κυμαίνονται από -1,5 m έως 1 m, ενώ οι διαφορές μεταξύ των υπηρεσιών CSRS-PPP και APPS-NASA σε σχέση με την υπηρεσία GAPS κυμαίνονται από -3 m έως 4,6 m. Από τα αποτελέσματα αυτά συμπεραίνεται ότι η υπηρεσία GAPS έχει χειρότερα αποτελέσματα σε σχέση με τις άλλες δύο, αφού είναι αυτή που διαφοροποιεί τα αποτελέσματα περισσότερο, ενώ μεταξύ των CSRS-PPP και APPS-NASA παρατηρούνται μικρότερες διαφορές.

Δεδομένα από αεροπλάνο

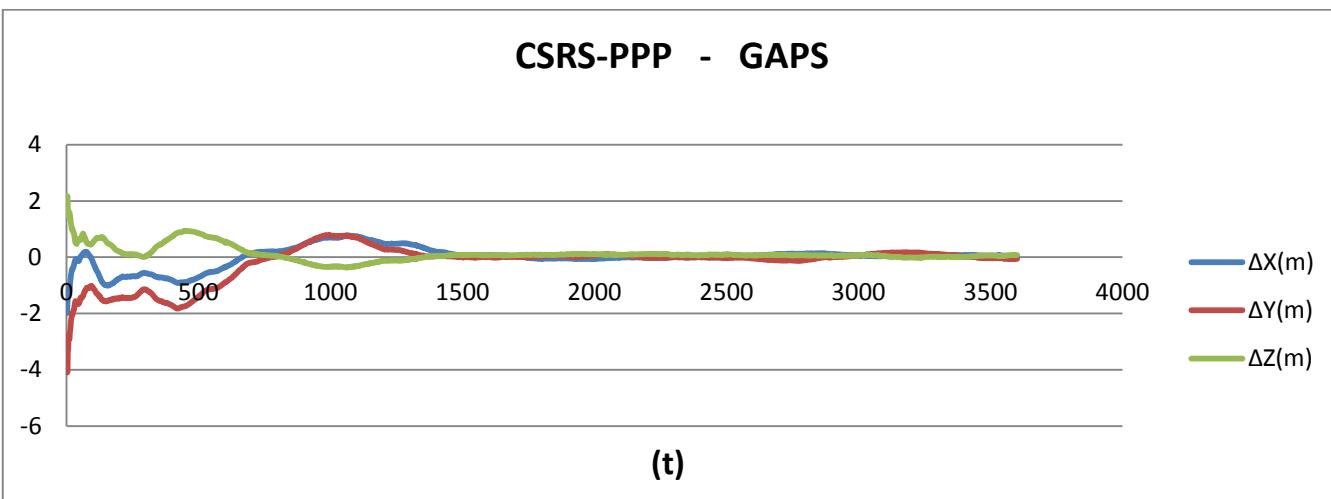
- rnch356_19



Διάγραμμα 5.4: Διαφορές κατά ΔX , ΔY , ΔZ (σε m) μεταξύ των υπηρεσιών CSRS-PPP και APPS-NASA για το αρχείο rnch356_19.



Διάγραμμα 5.5: Διαφορές κατά ΔX , ΔY , ΔZ (σε m) μεταξύ των υπηρεσιών GAPS και APPS-NASA για το αρχείο rnch356_19.

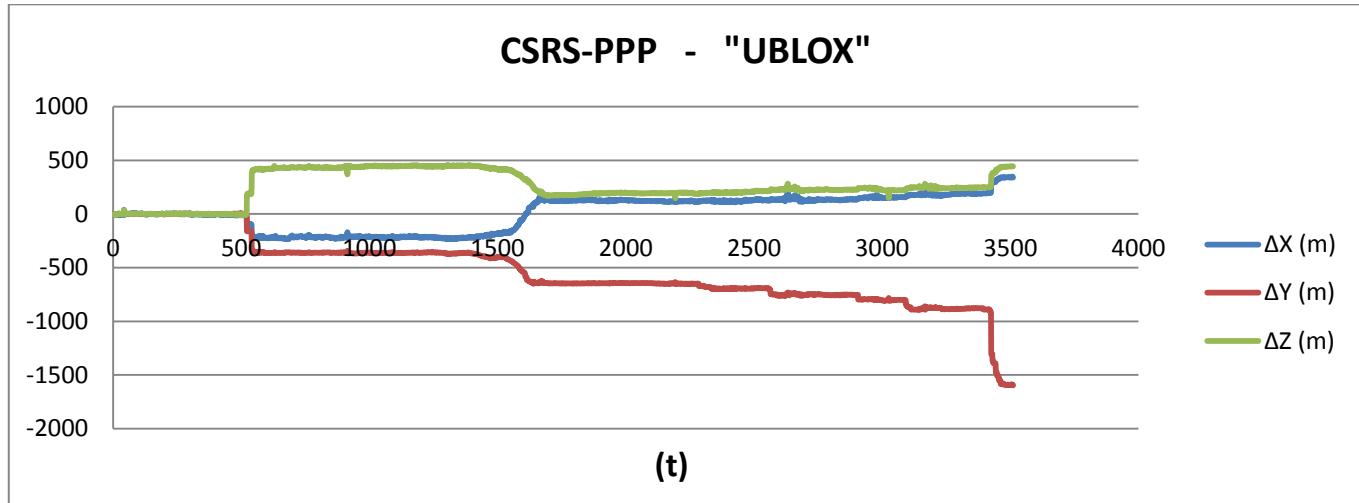


Διάγραμμα 5.6: Διαφορές κατά ΔX , ΔY , ΔZ (σε m) μεταξύ των υπηρεσιών CSRS-PPP και GAPS για το αρχείο rnch356_19.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα για το αρχείο rnch356_19 παρατηρείται ότι οι διαφορές κατά ΔX , ΔY και ΔZ μεταξύ των υπηρεσιών CSRS-PPP και APPS-NASA κυμαίνονται από -0,30 m έως 0,30 m, ενώ οι διαφορές μεταξύ των υπηρεσιών CSRS-PPP και APPS-NASA σε σχέση με την υπηρεσία GAPS κυμαίνονται από -4 m έως 2 m. Συμπεραίνεται λοιπόν, ότι η υπηρεσία GAPS δίνει χειρότερα αποτελέσματα σε σχέση με τις άλλες δύο.

Δεδομένα από πλοίο

- Rinex_Ublox_29042015



Διάγραμμα 5.7: Διαφορές κατά ΔX, ΔY, ΔZ (σε m) μεταξύ της υπηρεσίας CSRS-PPP και υπάρχοντος αρχείου θέσης για το αρχείο Rinex_Ublox_29042015.

Τέλος, για το αρχείο Rinex_Ublox_29042015 συγκρίθηκαν τα αποτελέσματα που ελήφθησαν από την καναδική υπηρεσία CSRS-PPP (μόνο) με τα αποτελέσματα από εκ των υστέρων επεξεργασία που δόθηκαν αρχικά ώστε να φανούν οι όποιες διαφορές. Παρατηρούνται λοιπόν, πολύ μεγάλες διαφορές μεταξύ των συγκεκριμένων αποτελεσμάτων που κυμαίνονται συνολικά κατά ΔX, ΔY και ΔZ από -1600 m έως 500 m. Οι μεγάλες αυτές διαφορές ίσως οφείλονται στον τρόπο επεξεργασίας. Δηλαδή, όπως έχει αναφερθεί, τα αποτελέσματα που υπήρχαν προέκυψαν από επίλυση σε πραγματικό χρόνο με χρήση δικτύου μόνιμων σταθμών αναφοράς RTK, ενώ τα αποτελέσματα από την υπηρεσία CSRS-PPP προέκυψαν από πολλούς σταθερούς σταθμούς με χρήση μονής συχνότητας (L1) και μόνο κώδικα, κάτι που συνέβη μόνο στην επεξεργασία του συγκεκριμένου αρχείου. Επίσης ένας ακόμη λόγος θα μπορούσε να είναι ο δέκτης που χρησιμοποιήθηκε για την επεξεργασία. Είναι δέκτης ναυσιπλοΐας και όχι γεωδαιτικός.

Σημειώνεται ότι οι συντεταγμένες που προέκυψαν από την εκ των υστέρων επεξεργασία κινηματικού εντοπισμού για το αρχείο Rinex_Ublox_29042015 ήταν γεωδαιτικές και όχι καρτεσιανές συντεταγμένες. Για το λόγω αυτό έγινε η μετατροπή τους μέσω των γνωστών από την γεωδαισία σχέσεων μετατροπής συντεταγμένων από γεωδαιτικές σε καρτεσιανές:

$$X_i = (N_i + h_i) * \cos\varphi_i * \cos\lambda_i , \quad (5.1)$$

$$Y_i = (N_i + h_i) * \cos\varphi_i * \sin\lambda_i , \quad (5.2)$$

$$Z_i = [N * (1 - e^2) + h_i] * \sin\varphi_i \quad , \quad (5.3)$$

όπου

ϕ, λ, h : οι γεωδαιτικές συντεταγμένες στο σύστημα αναφοράς WGS84,

X_i, Y_i, Z_i : οι καρτεσιανές συντεταγμένες στο ίδιο σύστημα,

$N = \alpha / (1 - e^2 * \sin^2 \varphi_i)^{1/2}$: η ακτίνα καμπυλότητας της κύριας καθέτου τομής,

e : η πρώτη εκκεντρότητα του ελλειψοειδούς και $e^2 = 2f - f^2$,

$f = 1 / 298,257222101$: ο παράγοντας εξομάλυνσης και

$\alpha = 6378137,0000 m$: ο μεγάλος ημιάξονας του ελλειψοειδούς.

Εδώ λοιπόν χρησιμοποιήθηκαν για την μετατροπή των συντεταγμένων οι τύποι αυτοί και όχι το πρόγραμμα TRX που παρέχει η υπηρεσία CSRS-PPP όπως έγινε για τα υπόλοιπα αρχεία, διότι το πρόγραμμα αυτό μετατρέπει απευθείας συντεταγμένες μόνο των αρχείων που έχουν σταλεί από την ίδια την υπηρεσία CSRS-PPP μετά από επεξεργασία. Η μετατροπή αυτή πραγματοποιήθηκε μέσω του προγράμματος excel και ένα δείγμα των αποτελεσμάτων που προέκυψαν (λόγο πολλών σταθμών αναφοράς) βρίσκεται στο παράρτημα B.

5.2.4 Διαγράμματα τυπικών σφαλμάτων των κέντρων επεξεργασίας για κάθε αρχείο

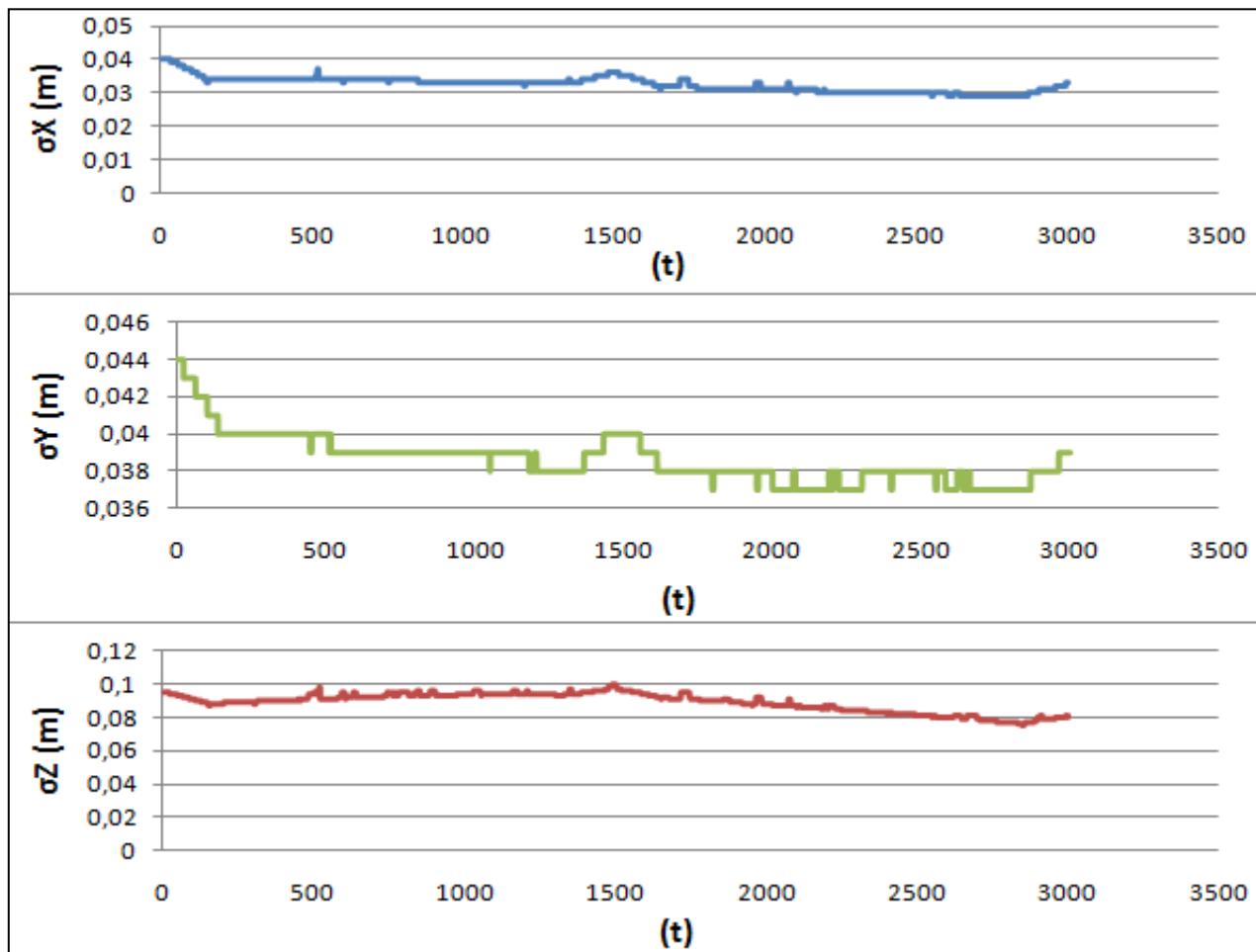
Με τα αποτελέσματα από τα κέντρα επεξεργασίας για τα τυπικά σφάλματα κάθε αρχείου δημιουργήθηκαν με την βοήθεια του προγράμματος excel τα διαγράμματά τους κατά X, Y και Z. Η υπηρεσία GAPS παρείχε έτοιμα διαγράμματα, επομένως δεν δημιουργήθηκαν νέα.

Τα διαγράμματα τυπικών σφαλμάτων με τα καλύτερα αποτελέσματα για κάθε κατηγορία παρατίθενται παρακάτω, ενώ το σύνολό τους βρίσκεται στο παράρτημα B. Επίσης, για κάποια από τα αρχεία δίνονται τα αντίστοιχα διαγράμματα διαφορών στα πλάτος, μήκος, ύψος (latitude, longitude, height) ώστε να φανούν οι μεταβολές σε σχέση με τις συντεταγμένες X, Y, Z, καθώς και τα διαγράμματα υπολοίπων φέρουσας φάσης και ψευδοαπόστασης ώστε να φανούν οι μεγάλες ή μικρές τιμές που υπάρχουν και πάλι σε σχέση με την ακρίβεια.

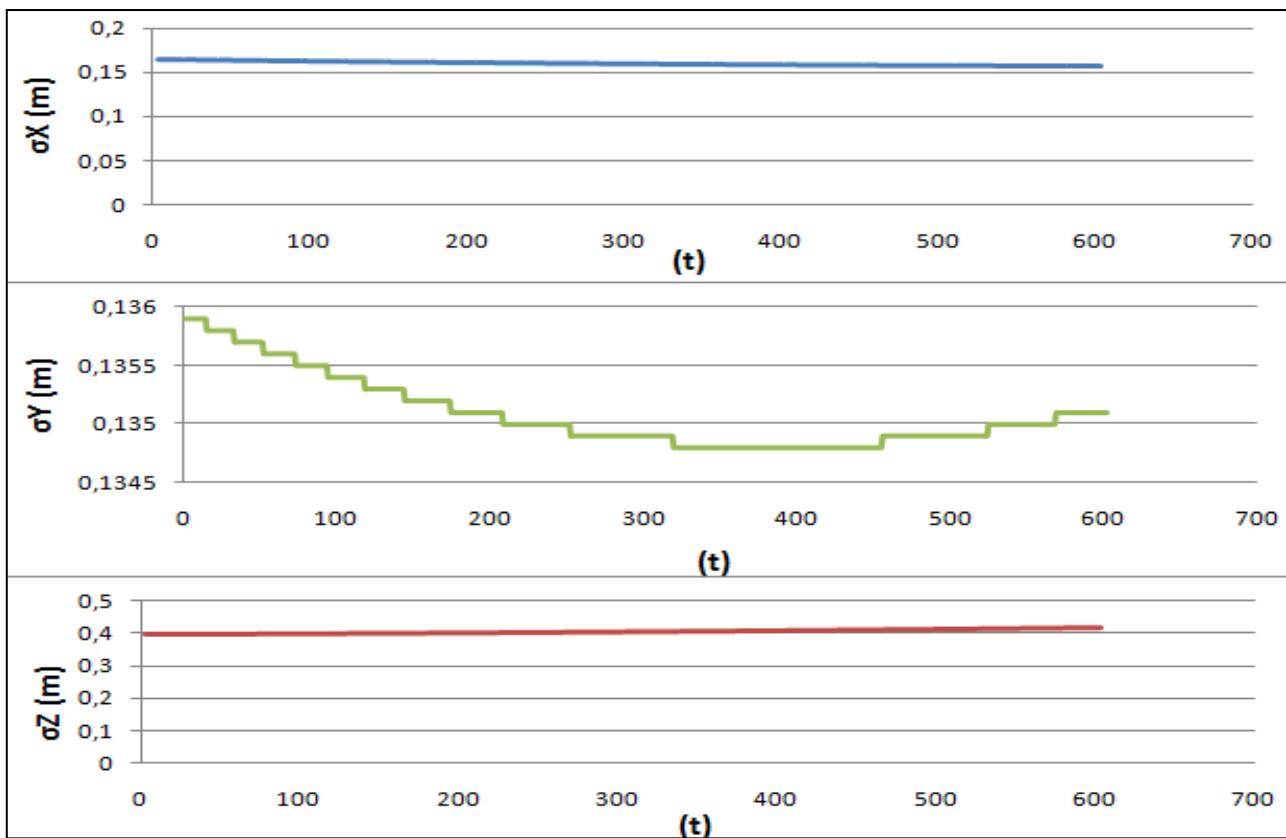
Τα αποτελέσματα των διαγραμμάτων που ακολουθούν είναι εκφρασμένα στο σύστημα αναφοράς ITRF 2008, ο άξονας των Y αντιπροσωπεύει τις τυπικές αποκλίσεις που δίνουν οι υπηρεσίες εκφρασμένες σε μέτρα, ενώ ο άξονας των X αντιπροσωπεύει τον χρόνο των μετρήσεων, ο οποίος εκφράζεται σε δευτερόλεπτα.

Δεδομένα από αυτοκίνητο

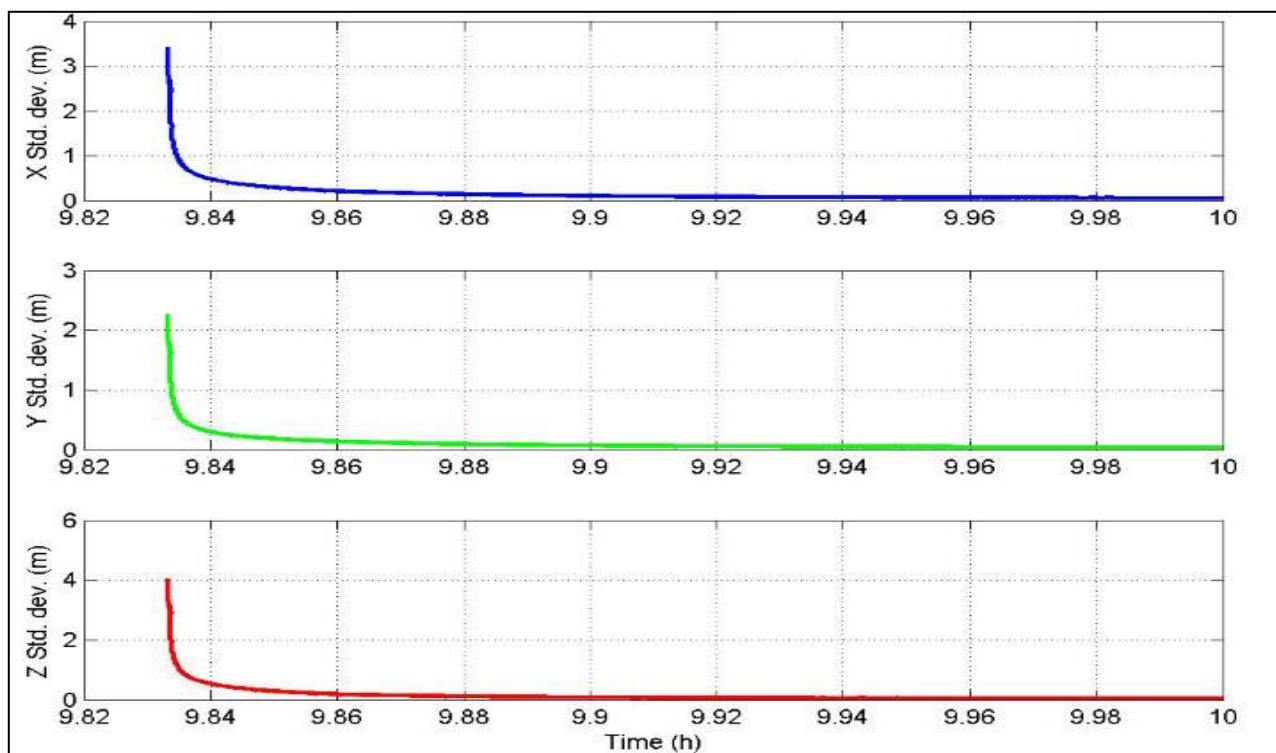
- RoverElliniko



Διάγραμμα 5.8: Τυπικά σφάλματα κατά X, Y και Z (σε m) για το αρχείο RoverElliniko ως προς το χρόνο, που προέκυψαν από την επεξεργασία της υπηρεσίας CSRS-PPP.



Διάγραμμα 5.9: Τυπικά σφάλματα κατά X, Y και Z (σε m) για το αρχείο RoverElliniko ως προς το χρόνο, που προέκυψαν από την επεξεργασία της υπηρεσίας APPS-NASA.

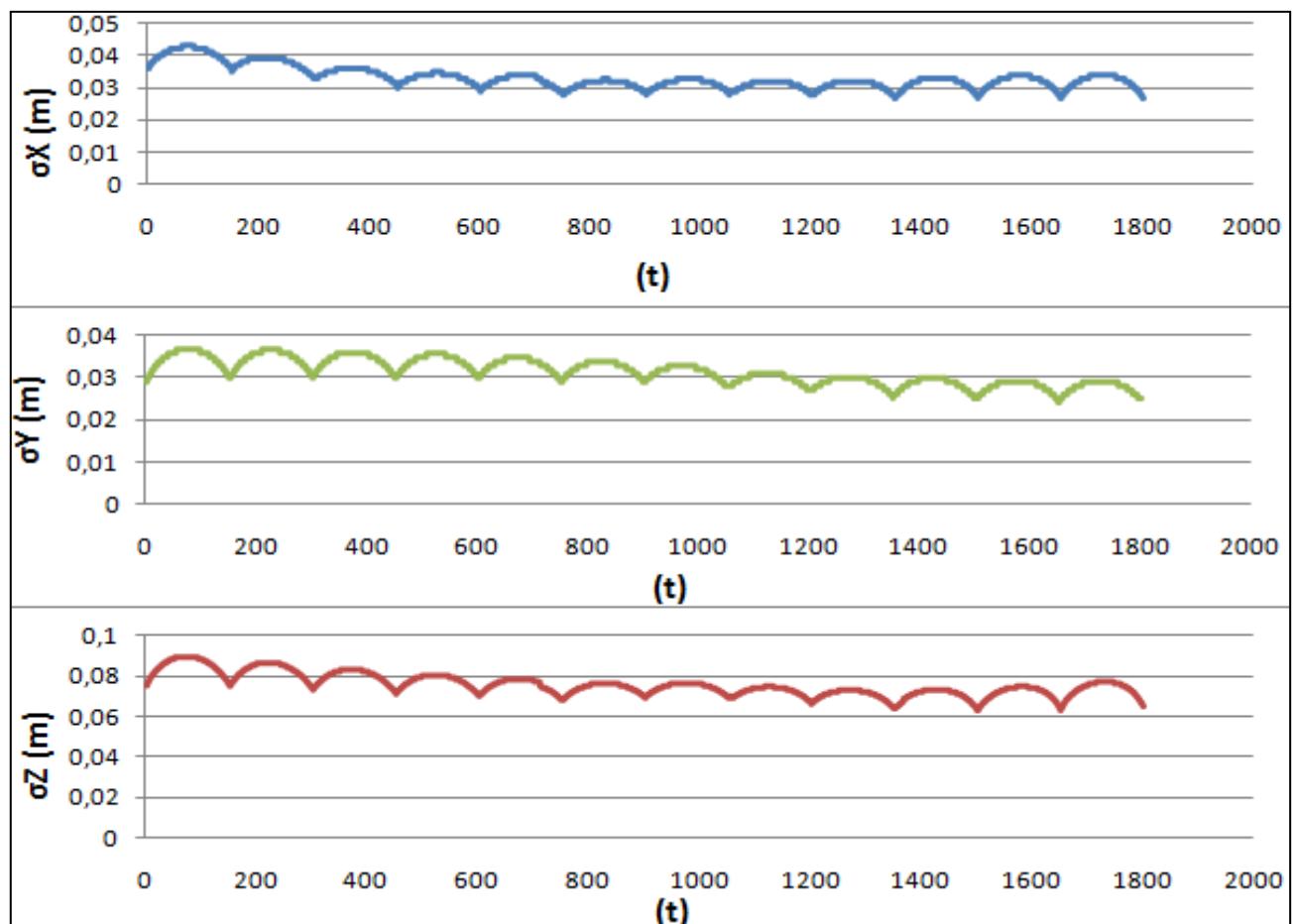


Διάγραμμα 5.10: Τυπικά σφάλματα κατά X, Y και Z (σε m) για το αρχείο RoverElliniko ως προς το χρόνο, που προέκυψαν από την επεξεργασία της υπηρεσίας GAPS.

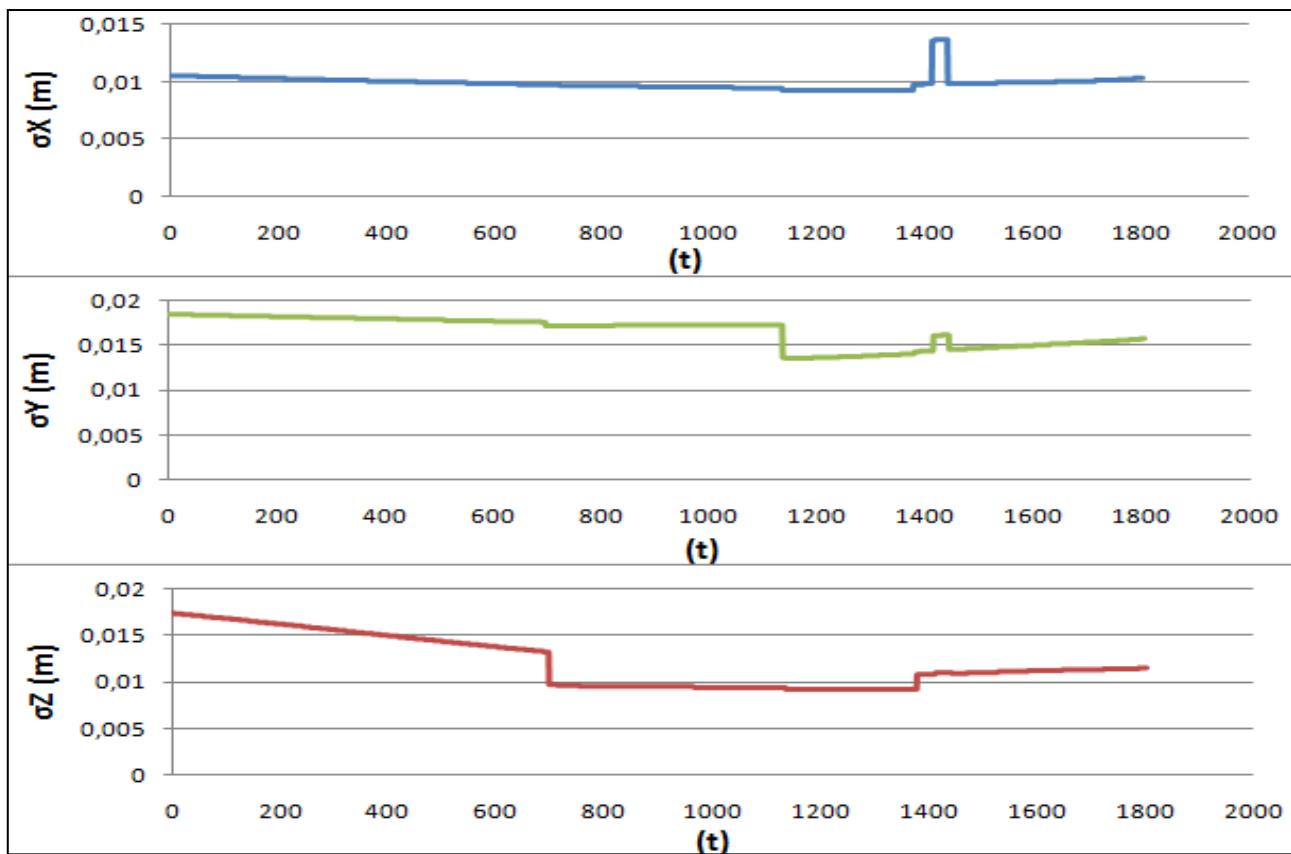
Από τα παραπάνω αποτελέσματα, για την υπηρεσία CSRS-PPP προκύπτει ένα επίπεδο ακρίβειας κατά X, Y και Z της τάξης των 0,040 m, 0,045 m και 0,10 m αντίστοιχα. Για την υπηρεσία APPS-NASA το επίπεδο ακρίβειας κατά X, Y και Z είναι της τάξης των 0,16 m, 0,14 m και 0,40 m αντίστοιχα, ενώ για την GAPS είναι της τάξης των 3,5 m 2,5 m και 4 m αντίστοιχα για τις X, Y και Z συνιστώσες. Συμπεραίνεται, ότι τα αποτελέσματα σε γενικό βαθμό είναι αρκετά καλά στο επίπεδο του εκατοστού, με πιο αξιόπιστη την υπηρεσία CSRS-PPP διότι δίνει μεγαλύτερη ακρίβεια σε σχέση με τις APPS-NASA και GAPS. Μάλιστα η τελευταία δίνει πολύ χειρότερη ακρίβεια σε σχέση με τις άλλες δύο, στο επίπεδο του μέτρου.

Δεδομένα από αεροπλάνο

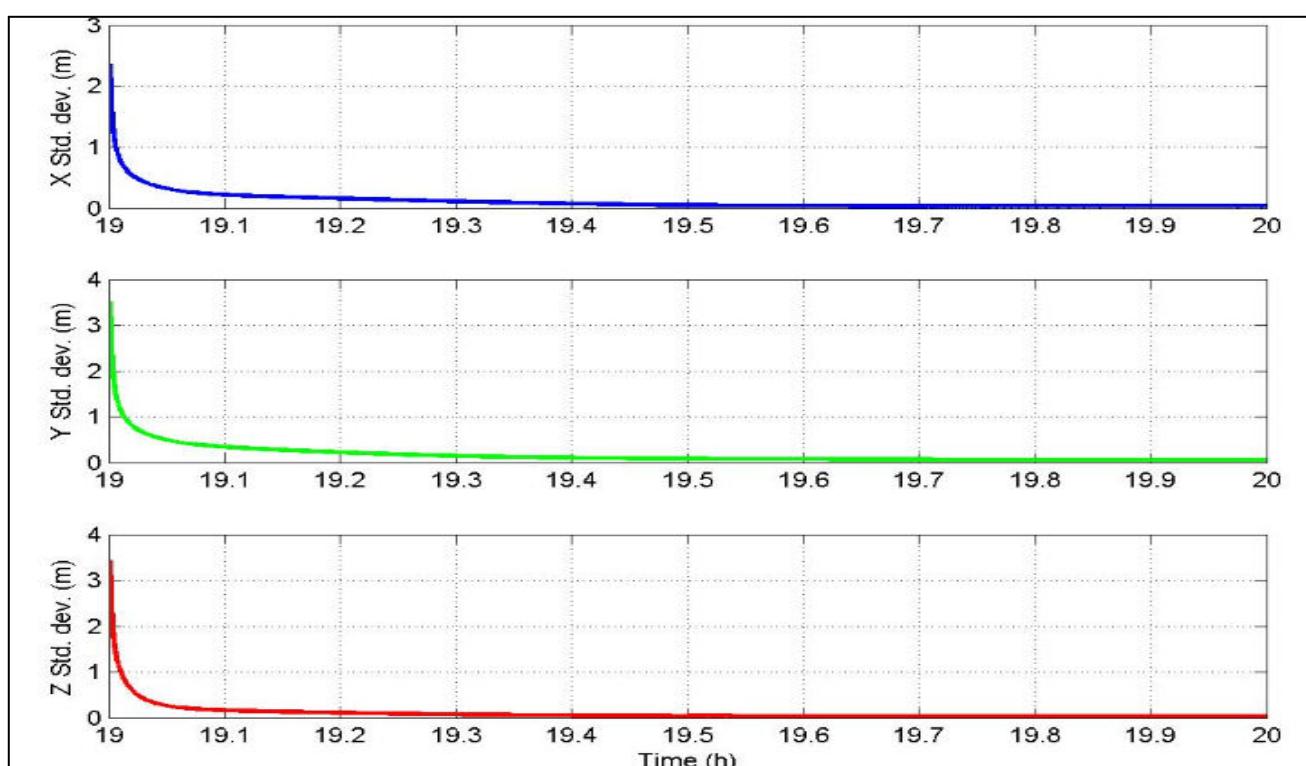
- **bIsa356_19**



Διάγραμμα 5.11: Τυπικά σφάλματα κατά X, Y και Z (σε m) για το αρχείο bIsa356_19 ως προς τον χρόνο, που προέκυψαν από την επεξεργασία της υπηρεσίας CSRS-PPP.

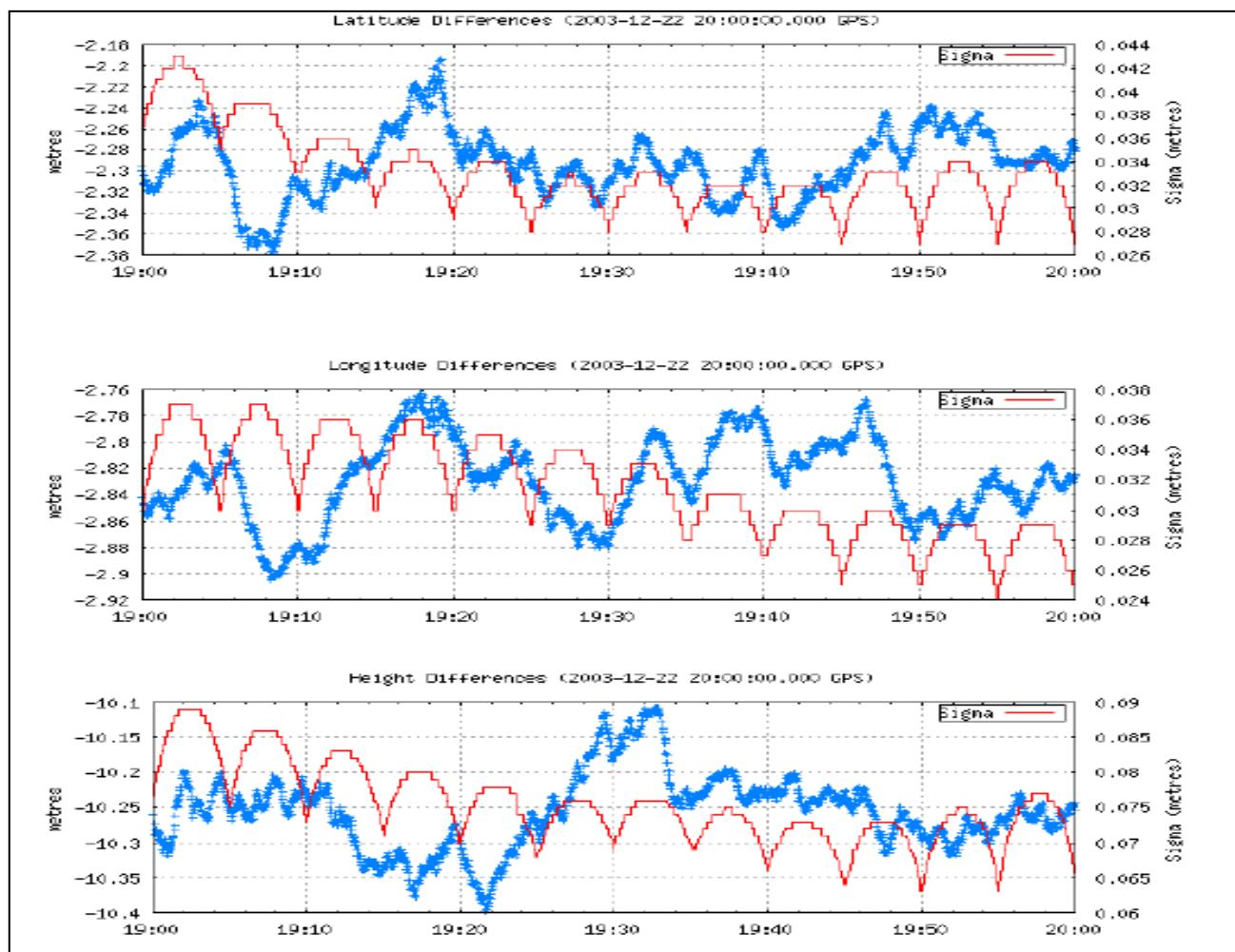


Διάγραμμα 5.12: Τυπικά σφάλματα κατά X, Y και Z (σε m) για το αρχείο blsa356_19 ως προς τον χρόνο, που προέκυψαν από την επεξεργασία της υπηρεσίας APPS-NASA.



Διάγραμμα 5.13: Τυπικά σφάλματα κατά X, Y και Z (σε m) για το αρχείο blsa356_19 ως προς τον χρόνο, που προέκυψαν από την επεξεργασία της υπηρεσίας GAPS.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα, για την υπηρεσία CSRS-PPP προκύπτει ένα επίπεδο ακρίβειας κατά X, Y και Z της τάξης των 0,040 m, 0,037 m και 0,085 m αντίστοιχα. Για την υπηρεσία APPS-NASA το επίπεδο ακρίβειας κατά X, Y και Z είναι της τάξης των 0,013 m, 0,019 m και 0,017 m αντίστοιχα, ενώ για την GAPS είναι της τάξης των 2,5 m 3,6 m και 3,6 m αντίστοιχα για τις X, Y και Z συνιστώσες. Πιο αξιόπιστη υπηρεσία κρίνεται η APPS-NASA δεδομένου της υψηλής ακρίβειας και ακολουθεί η CSRS-PPP, ενώ η υπηρεσία GAPS έχει τις μεγαλύτερες αποκλίσεις.

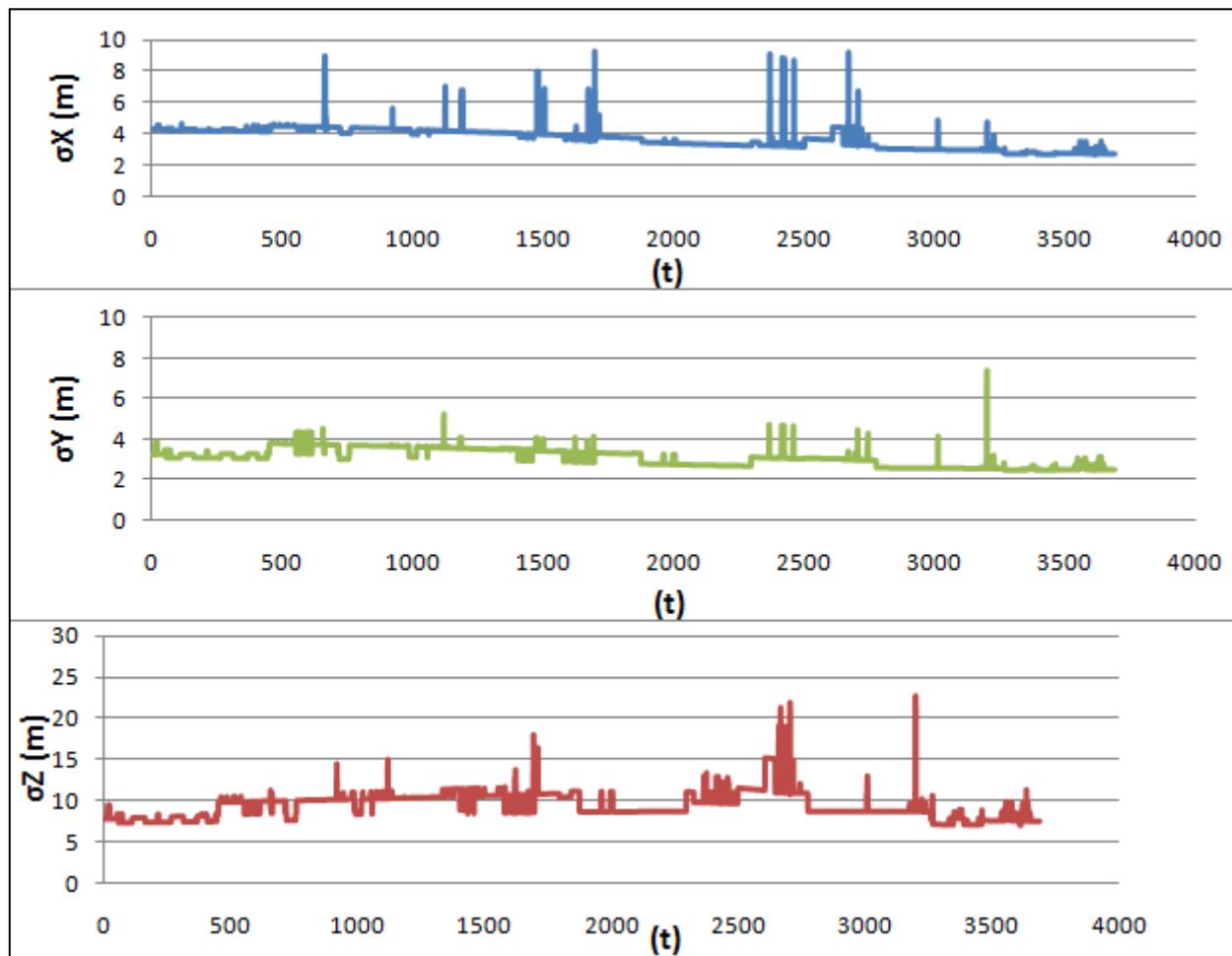


Διάγραμμα 5.14: Διαφορές στο πλάτος, το μήκος και το ύψος για το αρχείο b1sa356_19 που δίνονται από την υπηρεσία CSRS-PPP.

Με βάση τις τιμές που ορίζονται στα παραπάνω διαγράμματα διαφορών στο πλάτος, το μήκος και το ύψος που προέκυψαν από την επεξεργασία της υπηρεσίας CSRS-PPP για το αρχείο δεδομένων b1sa356_19, παρατηρείται ότι τα αποτελέσματα είναι παρόμοια σε σχέση με τις τυπικές αποκλίσεις κατά X, Y και Z για την ίδια υπηρεσία.

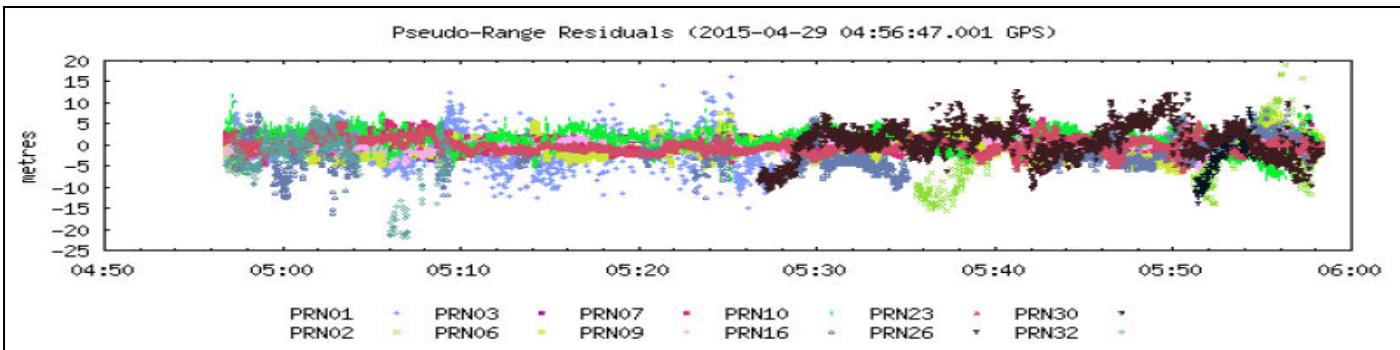
Δεδομένα από πλοίο

- Rinex_Ublox_29042015



Διάγραμμα 5.15: Τυπικά σφάλματα κατά X, Y και Z (σε m) για το αρχείο Rinex_Ublox_29042015, που προέκυψαν από την επεξεργασία της υπηρεσίας CSRS-PPP.

Το αρχείο Rinex_Ublox_29042015 έχει μεγάλες τυπικές αποκλίσεις της τάξης των 10 m, 8 m και 25 m κατά X, Y και Z αντίστοιχα, δηλαδή πολύ χαμηλή ακρίβεια σε σχέση και με τα προηγούμενα αρχεία. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε πολλούς παράγοντες, εκ των οποίων οι βασικότεροι είναι το γεγονός ότι ο δέκτης είναι μονής συχνότητας και επίσης είναι πολύ πιθανό να έχουμε σφάλματα λόγω Multipath (Πολλαπλής πολυανάκλασης σήματος). Ένας ακόμη παράγοντας είναι, ότι ο δέκτης ήταν πάνω στην κουπαστή του πλοίου και το σήμα μπορεί να είχε ανακλάσεις λόγω του νερού.



Εικόνα 5.1: Σχηματική απεικόνιση των υπολοίπων ψευδοαπόστασης για το αρχείο Rinex_Ublox_29042015 προερχόμενη από την υπηρεσία CSRS-PPP.

Στα αποτελέσματα αυτά, με βάση τις μεγάλες τιμές των υπολοίπων ψευδοαπόστασης που προκύπτουν φαίνεται καθαρά ότι υπάρχει πολύς θόρυβος στις παρατηρήσεις, κάτι το οποίο ταυτίζεται και με τα παραπάνω αποτελέσματα των τυπικών αποκλίσεων.

5.2.5 Υπολογισμός RMS κάθε λύσης καθώς και των διαφορών των λύσεων των κέντρων επεξεργασίας για κάθε αρχείο

Ο υπολογισμός του RMS σφάλματος βοηθάει στην επιτυχία των αποτελεσμάτων σύγκρισης μεταξύ των υπηρεσιών. Όσο πιο μικρό είναι το RMS, τόσο πιο κοντά είναι οι λύσεις των υπηρεσιών μεταξύ τους και πιο κοντά στην αληθινή τιμή.

Με βάση λοιπόν τα αποτελέσματα των δεδομένων που προέκυψαν από κάθε υπηρεσία, υπολογίστηκε το σφάλμα RMS κάθε λύσης για κάθε αρχείο καθώς και το RMS των διαφορών των λύσεων, ώστε να φανεί το πόσο κοντά είναι οι λύσεις μεταξύ τους και αντίστοιχα και στην πραγματική τιμή.

Οι σχέσεις που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό του RMS σφάλματος για κάθε λύση καθώς και για τις διαφορές των λύσεων μεταξύ των υπηρεσιών είναι:

$$RMS(X) = \sqrt{\sum(\sigma X)^2 / (n-1)}, RMS(Y) = \sqrt{\sum(\sigma Y)^2 / (n-1)}, RMS(Z) = \sqrt{\sum(\sigma Z)^2 / (n-1)} \text{ για κάθε λύση και}$$

$$RMS(\Delta X) = \sqrt{\sum(\sigma \Delta X)^2 / (n-1)}, RMS(\Delta Y) = \sqrt{\sum(\sigma \Delta Y)^2 / (n-1)}, RMS(\Delta Z) = \sqrt{\sum(\sigma \Delta Z)^2 / (n-1)} \text{ για τις διαφορές των λύσεων αντίστοιχα, όπου}$$

X, Y, Z: οι καρτεσιανές συντεταγμένες κάθε λύσης

$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$: οι διαφορές των συντεταγμένων μεταξύ των υπηρεσιών

$\sigma X, \sigma Y, \sigma Z, \sigma \Delta X, \sigma \Delta Y, \sigma \Delta Z$: τα τυπικά σφάλματα κάθε λύσης και των διαφορών των λύσεων αντίστοιχα και

η: ο αριθμός των σημείων που έχουν συλλεχθεί και περιέχονται στα πραγματικά δεδομένα GPS.

Παρακάτω ακολουθούν τα αποτελέσματα σε μέτρα, του υπολογισμού των RMS σφαλμάτων για της λύσεις των υπηρεσιών CSRS-PPP και APPS-NASA, καθώς και τα αποτελέσματα των σφαλμάτων RMS των διαφορών των τριών ΔΚΕ σε μορφή πίνακα.

	CSRS-PPP			APPS-NASA		
	RMS(X) (m)	RMS(Y) (m)	RMS(Z) (m)	RMS(X) (m)	RMS(Y) (m)	RMS(Z) (m)
Δεδομένα αυτοκινήτου						
CAR126K	0,659	0,292	1,101	-	-	-
RoverElliniko	0,032	0,039	0,089	0,160	0,135	0,407
Δεδομένα αεροπλάνου						
b1sa356_19	0,033	0,032	0,076	0,010	0,017	0,012
masw356_19	0,033	0,030	0,071	-	-	-
pin1356_19	0,031	0,029	0,068	-	-	-
rnch356_19	0,034	0,030	0,071	0,009	0,016	0,013
Δεδομένα πλοίου						
Rinex_Ublox_29042015	3,816	3,099	9,498	-	-	-

Πίνακας 5.1: Συγκεντρωτικός πίνακας που περιλαμβάνει το σφάλμα RMS κάθε λύσης (X, Y, Z) για όλα τα αρχεία δεδομένων.

	CSRS-PPP – APPS-NASA			CSRS-PPP - GAPS			APPS-NASA - GAPS		
	RMS(ΔX) (m)	RMS(ΔY) (m)	RMS(ΔZ) (m)	RMS(ΔX) (m)	RMS(ΔY) (m)	RMS(ΔZ) (m)	RMS(ΔX) (m)	RMS(ΔY) (m)	RMS(ΔZ) (m)
Δεδομένα αυτοκινήτου									
CAR126K	-	-	-	5,113	2,253	8,770	-	-	-
RoverElliniko	0,273	0,064	0,317	1,418	1,375	1,641	1,340	1,388	1,693
Δεδομένα αεροπλάνου									
b1sa356_19	0,051	0,097	0,065	0,422	0,504	0,285	0,407	0,514	0,287
masw356_19	-	-	-	0,323	0,435	0,309	-	-	-
pin1356_19	-	-	-	0,406	0,673	0,298	-	-	-
rnch356_19	0,085	0,186	0,120	0,366	0,654	0,294	0,351	0,628	0,287
Δεδομένα πλοίου									
Rinex_Ublox	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Πίνακας 5.2: Συγκεντρωτικός πίνακας που περιλαμβάνει το σφάλμα RMS των διαφορών των λύσεων (ΔX , ΔY , ΔZ) μεταξύ των κέντρων επεξεργασίας.

Τέλος, στον πίνακα που ακολουθεί (πίνακας 5.3), παρουσιάζεται ξεχωριστά το RMS σφάλμα των διαφορών των λύσεων μεταξύ των υπηρεσιών CSRS-PPP, GAPS και των αποτελεσμάτων από εκ των υστέρων επεξεργασία για το αρχείο CAR126K (από αυτοκίνητο) και μεταξύ της υπηρεσίας CSRS-PPP και του υπάρχοντος αρχείου θέσης για το αρχείο Rinex_Ublox_29042015 (από πλοίο).

	CSRS-PPP – ΥΠΑΡΧΟΝ ΑΡΧΕΙΟ			GAPS – ΥΠΑΡΧΟΝ ΑΡΧΕΙΟ		
	RMS(ΔX) (m)	RMS(ΔY) (m)	RMS(ΔZ) (m)	RMS(ΔX) (m)	RMS(ΔY) (m)	RMS(ΔZ) (m)
Δεδομένα αυτοκινήτου						
CAR126K	202,83895	73,64594	246,45597	18502,61600	12782,46700	32673,57780
Δεδομένα πλοίου						
Rinex_Ublox	162,87030	617,24356	293,68063	-	-	-

Πίνακας 5.3: Συγκεντρωτικός πίνακας που περιλαμβάνει το σφάλμα RMS των διαφορών των λύσεων (ΔX , ΔY , ΔZ) μεταξύ των υπηρεσιών CSRS-PPP, GAPS και των υπαρχόντων αρχείων θέσης για τα αρχεία CAR126K και Rinex_Ublox_29042015.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα των RMS σφαλμάτων που προέκυψαν από τα τυπικά σφάλματα κάθε λύσης παρατηρείται ότι για τα περισσότερα αρχεία υπάρχουν αρκετά μικρές τιμές.

Πιο συγκεκριμένα, για το αρχείο δεδομένων από αυτοκίνητο RoverElliniko υπάρχουν σχετικά μεγάλες διαφορές εκατοστών στα RMS σφάλματα μεταξύ των υπηρεσιών, κυρίως για την Z συνιστώσα, κάτι που είναι πολύ λογικό διότι η CSRS-PPP έχει μεγαλύτερη συχνότητα παρατηρήσεων από την APPS-NASA αφού η πρώτη έχει συχνότητα μέτρησης 0,20 sec, ενώ η δεύτερη 1 sec. Για το αρχείο CAR126K τα αποτελέσματα φτάνουν το επίπεδο των 70 cm για την X συνιστώσα, 30 cm για την Y συνιστώσα και το επίπεδο του μέτρου για την Z συνιστώσα.

Τα RMS για τα δεδομένα από αεροπλάνο έχουν μικρές διαφορές μεταξύ των υπηρεσιών CSRS-PPP και APPS-NASA, της τάξης των 2 cm για την X συνιστώσα, 1 cm για την Y συνιστώσα και 6 cm για την Z συνιστώσα, κάτι που υποδεικνύει ότι οι λύσεις βρίσκονται αρκετά κοντά μεταξύ τους.

Όσον αφορά το αρχείο δεδομένων από πλοίο Rinex_Ublox_29042015, οι τιμές των RMS είναι μεγάλες στο επίπεδο των 4 m, 3 m και 9 m για τις X, Y και Z συνιστώσες αντίστοιχα.

Από τα παραπάνω, προκύπτει ότι η υπηρεσία με την μεγαλύτερη ακρίβεια είναι η APPS-NASA. Βέβαια μεγάλος παράγοντας που επηρεάζει τα αποτελέσματα είναι η διάρκεια συχνότητας

των παρατηρήσεων από την κάθε υπηρεσία. Όσο μεγαλύτερη είναι η συχνότητα, τόσο περισσότερες παρατηρήσεις λαμβάνονται με αποτέλεσμα μεγαλύτερη ακρίβεια.

Τα ίδια με παραπάνω ισχύουν και για την σύγκριση μεταξύ των υπηρεσιών. Λαμβάνοντας υπόψη τις διαφορές των συντεταγμένων, οι τιμές των RMS που προέκυψαν κυρίως για τα δεδομένα από αεροπλάνο είναι αρκετά μικρές μεταξύ των υπηρεσιών CSRS-PPP και APPS-NASA με μικρότερη ακρίβεια των υπηρεσιών αυτών σε σχέση με την υπηρεσία GAPS. Μεγαλύτερες τιμές προέκυψαν από τα αρχεία δεδομένων από αυτοκίνητο CAR126K και RoverElliniko και πάλι σε σχέση με την υπηρεσία GAPS. Για το RoverElliniko τα RMS κυμαίνονται μεταξύ των 1 m έως 2 m για τις τρείς συνιστώσες, ενώ για την σύγκριση της CSRS-PPP με την APPS-NASA τα αποτελέσματα είναι μικρά όπως και για τα δεδομένα από αεροπλάνο, στο επίπεδο του cm. Το αρχείο CAR126K έχει τις μεγαλύτερες τιμές και διαφορές αντίστοιχα αφού κυμαίνονται μεταξύ των 5 έως 9 m.

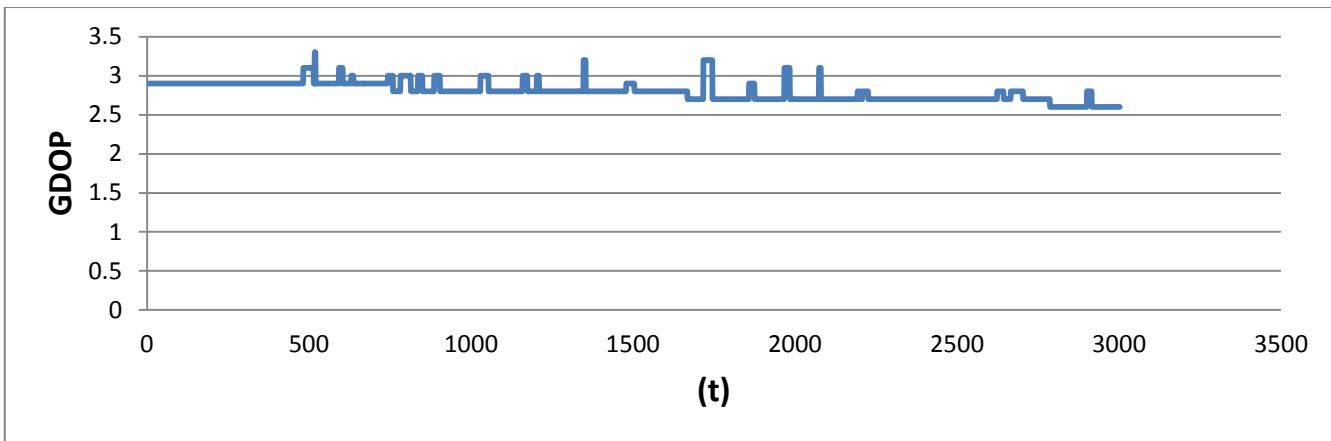
Τέλος για την σύγκριση των αρχείων CAR126K και Rine_Ublox_29042015 με τα αποτελέσματα που υπήρχαν από εκ των υστέρων επεξεργασία κινηματικού εντοπισμού παρατηρείται ότι οι τιμές των RMS σφαλμάτων είναι πολύ μεγάλες. Για το πρώτο αρχείο, τα αποτελέσματα που έχουν προκύψει από εκ των υστέρων επεξεργασία προέρχονται από επίλυση μονής συχνότητας, κινηματικού εντοπισμού μόνο με ψευδοαποστάσεις, ενώ τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τις υπηρεσίες είναι διπλής συχνότητας, με χρήση φάσης και ψευδοαπόστασης, καθώς και χρήση πολλών σταθερών σταθμών. Επομένως οι διαφορές αυτές είναι αναμενόμενες. Για το δεύτερο αρχείο, τα από εκ των υστέρων επεξεργασία αποτελέσματα προέρχονται από δικτυακή λύση μόνιμων σταθμών RTK σε πραγματικό χρόνο (Δίκτυο METRICANET) και τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία της υπηρεσίας CSRS-PPP είναι μονής συχνότητας με χρήση μόνο ψευδοαπόστασης. Επομένως και πάλι οι διαφορές είναι αναμενόμενες και της ίδιας τάξης περίπου με του CAR126K.

5.2.6 Η συμβολή του παράγοντα DOP στις επιλύσεις των κέντρων επεξεργασίας

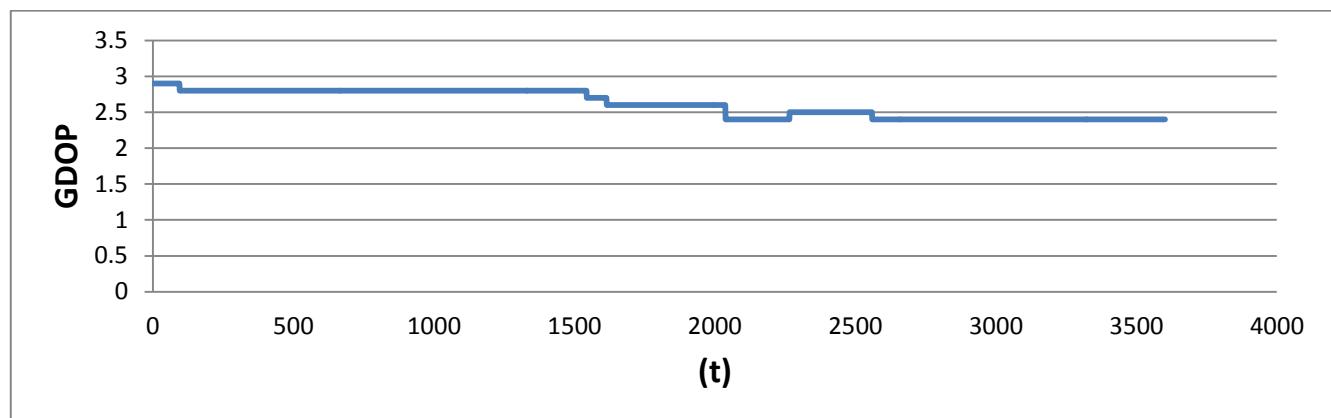
Ο παράγοντας DOP αναφέρεται στην ποιότητα της γεωμετρίας του δορυφορικού σχηματισμού. Αν υπάρχουν μεγάλες τιμές DOP αυτό συνεπάγεται μειωμένη ακρίβεια εντοπισμού και αντίστοιχα οι μικρές τιμές DOP συνεπάγονται αυξημένη ακρίβεια.

Η μόνη υπηρεσία που παρείχε πληροφορία για τον παράγοντα DOP και μάλιστα GDOP (Geometric Dilution of Precision), δηλαδή το συνολικό μέτρο που δίνει την γεωμετρία της επίλυσης, ως προς τον χρόνο ήταν η CSRS-PPP. Κάποια ενδεικτικά διαγράμματα αρχείων δεδομένων παρουσιάζονται παρακάτω, ενώ τα υπόλοιπα στο παράρτημα A.

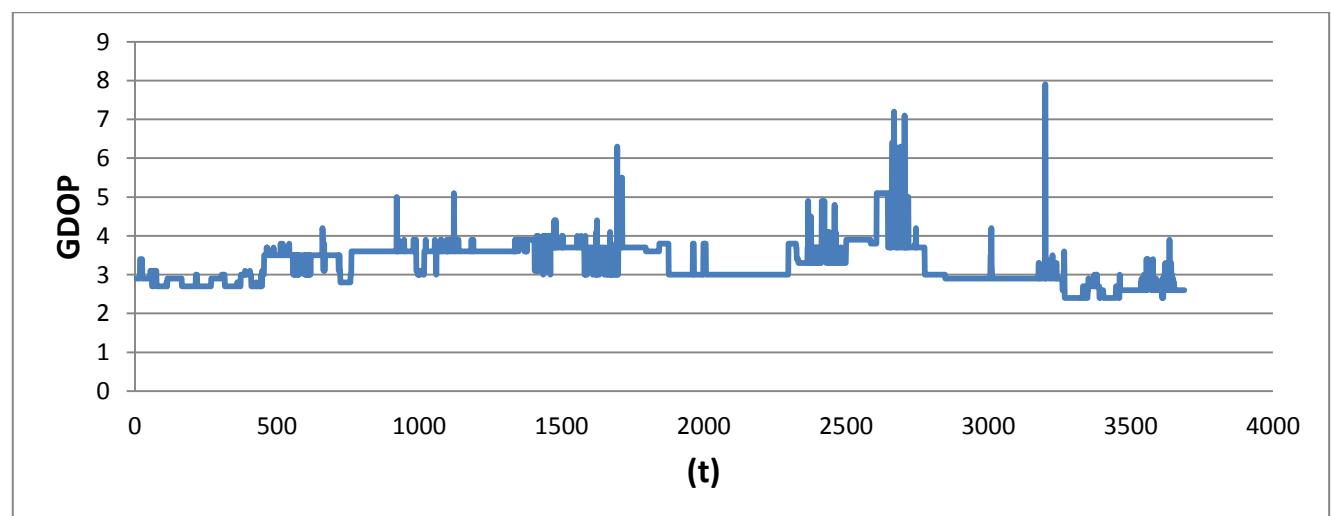
Όλα τα διαγράμματα δείχνουν τη διακύμανση του GDOP ως προς το χρόνο (σε δευτερόλεπτα).



Διάγραμμα 5.16: Αποτελέσματα GDOP ως προς τον χρόνο από την υπηρεσία CSRS-PPP για το αρχείο RoverElliniko.



Διάγραμμα 5.17: Αποτελέσματα GDOP ως προς τον χρόνο από την υπηρεσία CSRS-PPP για το αρχείο rnch356_19.



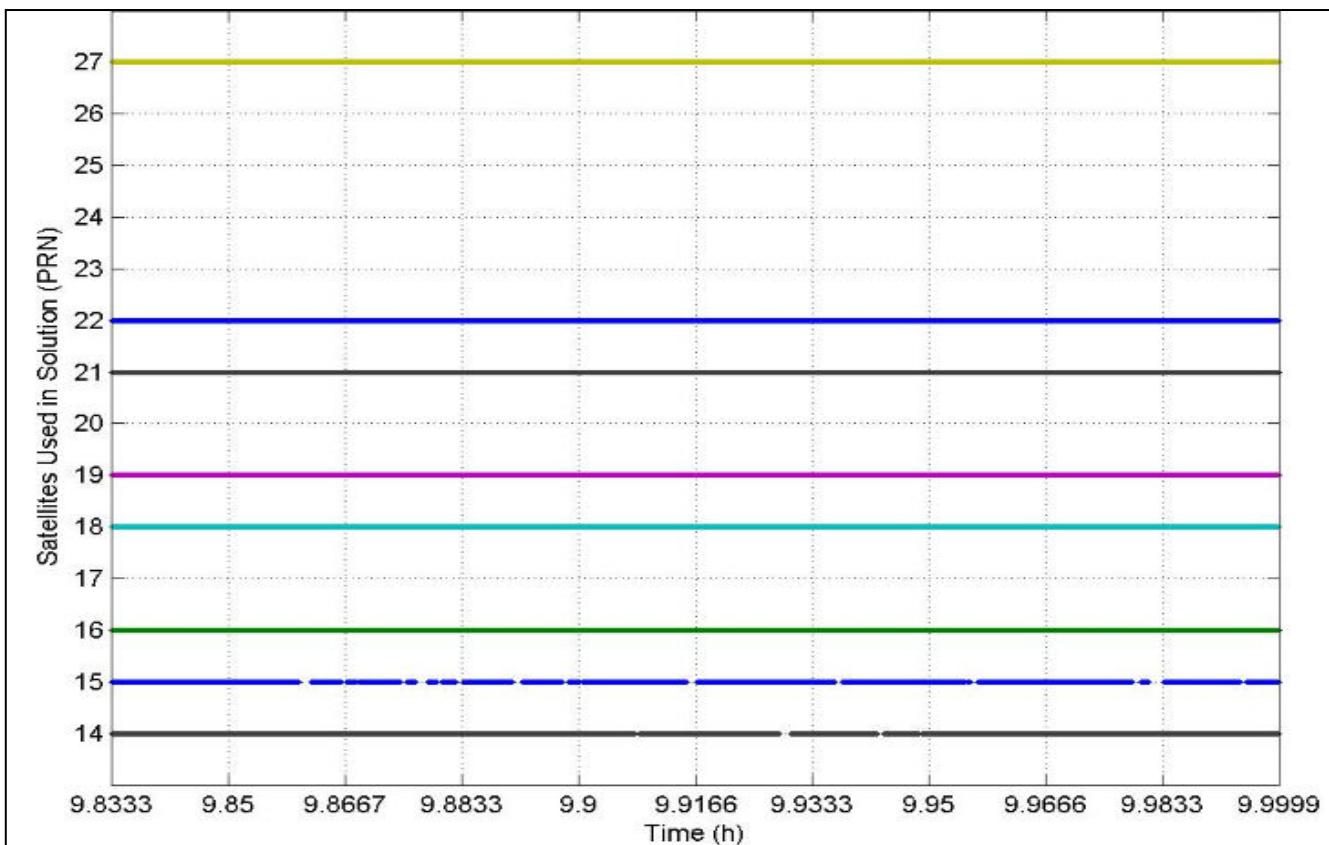
Διάγραμμα 5.18: Αποτελέσματα GDOP ως προς τον χρόνο από την υπηρεσία CSRS-PPP για το αρχείο Rinex_Ublox_29042015.

Για τα δύο πρώτα αρχεία ο παράγοντας GDOP κυμαίνεται συνολικά από 2,4 έως 3,3, ενώ για το αρχείο Rinex_Ublox_29042015 κυμαίνεται από 2 έως 8. Έκφραση της καλής γεωμετρίας δέκτη-δορυφόρων αποτελεί ο παράγοντας DOP όταν κυμαίνεται μεταξύ 2-5. Τιμές μεγαλύτερες του 5 υποδηλώνουν κακή γεωμετρία. Με βάση λοιπόν τα αποτελέσματα αυτά προκύπτει ότι όλα τα αρχεία έχουν καλή γεωμετρία δορυφορικού σχηματισμού και επομένως αυξημένη ακρίβεια (όπως και αποδείχθηκε στην προηγούμενη ενότητα) εκτός του αρχείου από πλοίο με τις μεγαλύτερες τιμές DOP. Αυτό φαίνεται και από τα διαγράμματα των τυπικών αποκλίσεων των παραπάνω αρχείων. Συμπεραίνεται λοιπόν, ότι οι λύσεις με τα χειρότερα αποτελέσματα συνδέονται με κακή γεωμετρία, όπου είναι ένας κύριος λόγος που παρατηρούνται μεγάλες διαφορές στην σύγκριση και μειωμένη ακρίβεια αποτελεσμάτων.

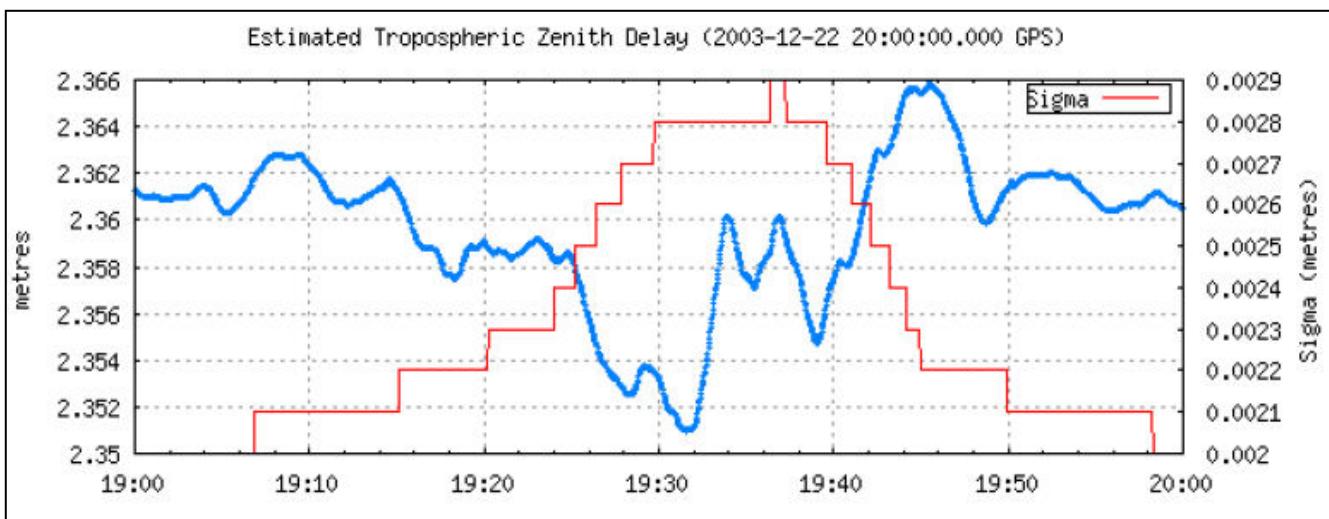
5.2.7 Γραφήματα

Στην αναφορά επίλυσης από τα κέντρα επεξεργασίας CSRS-PPP και GAPS περιέχονται, εκτός των άλλων και ένα πλήθος από γραφικές απεικονίσεις των αποτελεσμάτων, κάποιες από τις οποίες αναφέρθηκαν σε προηγούμενη ενότητα. Έτσι δίνονται σε γραφικές παραστάσεις οι διαφορές και οι τυπικές αποκλίσεις των γεωγραφικών μήκος και πλάτος, του υψομέτρου, της τροποσφαιρικής ζενίθιας καθυστέρησης και της απόκλισης του χρονομέτρου του δέκτη. Επίσης απεικονίζονται, για κάθε δορυφόρο τα υπόλοιπα των ψευδοαποστάσεων και της φέρουσας φάσης, καθώς και οι ασάφειες. Τέλος, δίνονται γραφικές απεικονίσεις των αριθμών των δορυφόρων που χρησιμοποιήθηκαν κατά την επίλυση. Όλα τα παραπάνω διαγράμματα δίνονται συναρτήσει του χρόνου.

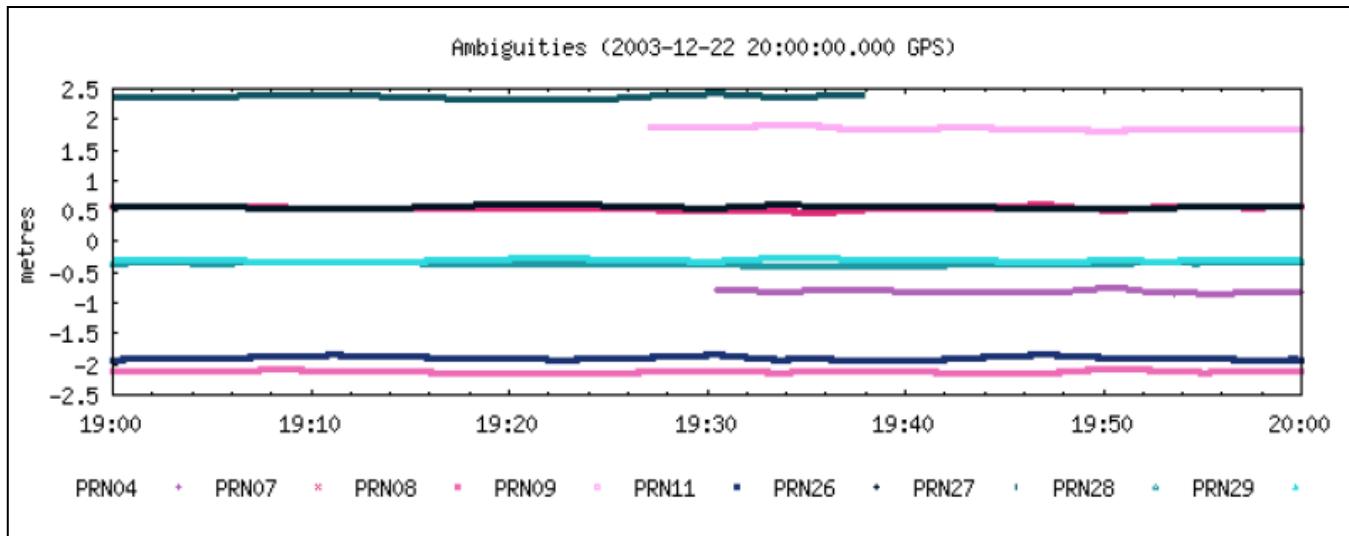
Στην συνέχεια ακολουθούν κάποια ενδεικτικά παραδείγματα γραφικών απεικονίσεων για τα διάφορα αρχεία, ενώ το σύνολό τους παρουσιάζεται στο παράρτημα A.



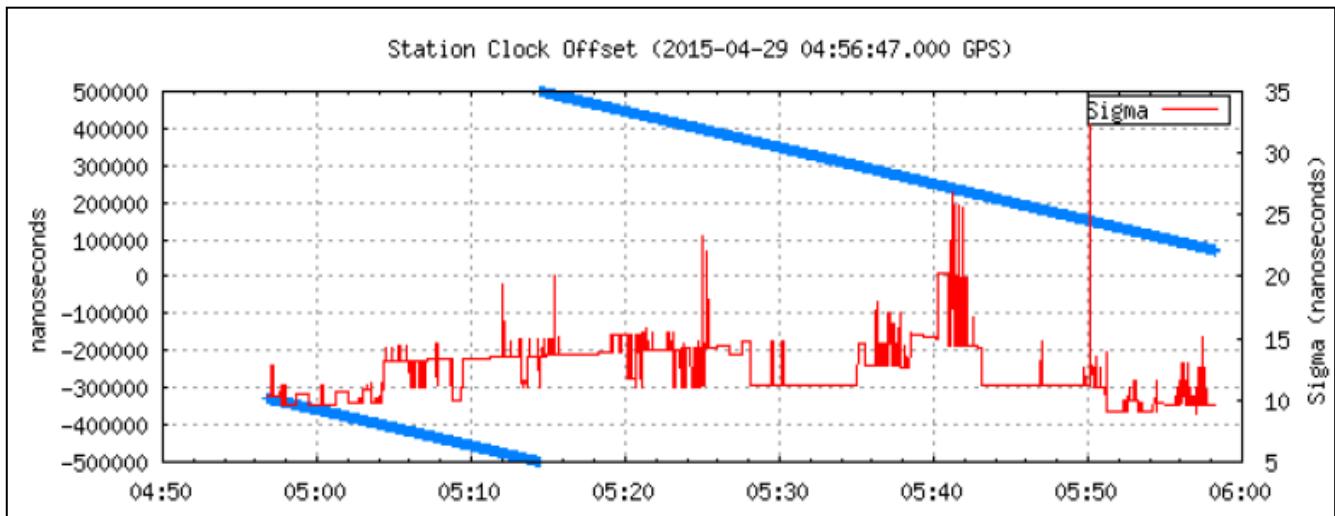
Εικόνα 5.2: Γραφική απεικόνιση των αριθμών των δορυφόρων (PRNs) που χρησιμοποιήθηκαν κατά την επίλυση για το αρχείο RoverElliniko που δίνονται από την υπηρεσία GAPS.



Εικόνα 5.3: Γραφική παράσταση εκτίμησης της ζενίθιας τροποσφαιρικής καθυστέρησης που δίνεται από την υπηρεσία CSRS-PPP, για το αρχείο b1sa356_19.



Εικόνα 5.4: Γραφική απεικόνιση των ασαφειών για το αρχείο masw356_19 προερχόμενη από την υπηρεσία CSRS-PPP.



Εικόνα 5.5: Γραφική παράσταση απόκλισης του χρονομέτρου του δέκτη που δίνεται από την υπηρεσία CSRS-PPP, για το αρχείο Rinex_Ublox_29042015.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως στόχο την ανάδειξη των Διεθνών Κέντρων Επεξεργασίας (ΔΚΕ), ώστε να φανεί η συμβολή και η χρησιμότητά τους σε εφαρμογές κινηματικού εντοπισμού, καθώς επίσης και τη σύγκριση των Κέντρων αυτών κάνοντας χρήση κινηματικών δεδομένων GNSS, ώστε να αναδειχθούν τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που μπορεί να προκύπτουν μέσα από τη σύγκριση αυτή.

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο παρατίθενται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων κάθε ΔΚΕ και της σύγκρισης τους, καθώς και οι προτάσεις που σχετίζονται με την εξέλιξη της διπλωματικής εργασίας.

6.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα συμπεράσματα που εξήχθησαν από την ανάλυση των ΔΚΕ και ακολούθως από την σύγκριση των αποτελεσμάτων που έδωσαν τα Κέντρα αυτά είναι τα ακόλουθα:

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΔΚΕ

- Όλα τα ΔΚΕ έχουν δυνατότητα επεξεργασίας δεδομένων GNSS και στις δύο συχνότητες (L1, L2) που προέρχονται τόσο από στατικό όσο και από κινηματικό εντοπισμό και κάποια χρησιμοποιούν και άλλα δορυφορικά συστήματα.
- Δεν απαιτείται προσκόμιση στοιχείων από τον χρήστη, όπως ο τύπος κεραίας, το ύψος της από το σημείο του εδάφους, οι προσεγγιστικές συντεταγμένες, αφού όλες οι πληροφορίες λαμβάνονται απευθείας από την επικεφαλίδα του αρχείου RINEX.
- Εύκολη υποβολή δεδομένων, καθώς υπάρχουν ειδικές φόρμες συμπλήρωσης και οδηγίες χρήσης τους, με την μόνη απαίτηση εγγραφής για τα περισσότερα ΔΚΕ εκτός της υπηρεσίας GAPS και φυσικά το e-mail του χρήστη ώστε να του αποσταλούν τα επεξεργασμένα αποτελέσματα.
- Γρήγορη αποστολή των επεξεργασμένων αποτελεσμάτων στον χρήστη, το πολύ εντός 10-λέπτου και αυτόματη ενημέρωση αν κάτι είναι λάθος ή δεν έχει επιτυχία.
- Τα υποβαλλόμενα αρχεία που δέχονται όλα τα ΔΚΕ είναι όλες οι μορφές RINEX συμπιεσμένα ή ασυμπίεστα, Hatanaka και με την πάροδο του χρόνου καθώς τα ΔΚΕ ανανεώνονται, δέχονται όλο και περισσότερες μορφές προσφέροντας ευκολία στο χρήστη.

- Όλα τα ΔΚΕ δίνουν αποτελέσματα εκφρασμένα στο σύστημα ITRF 2008 που ταυτίζεται πρακτικά με το WGS84, κάνοντας πιο εύκολη τη διαδικασία για τον Ελλαδικό χώρο, εκτός από την υπηρεσία CSRS-PPP που δίνει αποτελέσματα στο ITRF 2005, η οποία όμως παρέχει ένα πολύ εύκολο πρόγραμμα μετατροπής συντεταγμένων από το σύστημα ITRF 2005 στο ITRF 2008. Ακόμη, κάποια ΔΚΕ εκφράζουν τα αποτελέσματα και στο τοπικό τους σύστημα αναφοράς.
- Τα ΔΚΕ CSRS-PPP και GAPS χρησιμοποιούν τα τελικά ακριβή προϊόντα τροχιάς και χρονομέτρου της υπηρεσίας IGS, ενώ η υπηρεσία APPS-NASA χρησιμοποιεί τα τελικά ακριβή προϊόντα του GDGPS, προσδίδοντας τη μεγαλύτερη ακρίβεια στα αποτελέσματα.
- Η υπηρεσία CSRS-PPP δεν έχει περιορισμό μεγέθους για τα υποβαλλόμενα αρχεία RINEX. Εκτός από δεδομένα GPS, από το 2011 επεξεργάζεται και δεδομένα GLONASS καθώς μπορεί να πραγματοποιήσει και συνδυαστική επεξεργασία μεταξύ των δύο. Τέλος, είναι η μόνη υπηρεσία που παρέχει πληροφορία GDOP συμβάλλοντας στην ανάδειξη της ακρίβειας των αποτελεσμάτων.
- Η υπηρεσία APPS-NASA έχει τη δυνατότητα δοκιμαστικής λειτουργίας, χωρίς την ανάγκη εγγραφής, κυρίως όμως για στατικό εντοπισμό. Επίσης, δεν υπάρχει καθυστέρηση για τα δεδομένα μονής συχνότητας (χρησιμοποιώντας TEC χάρτες σε πραγματικό χρόνο του GDGPS), καθώς και καθυστέρηση του σήματος μετάδοσης GPS (χρησιμοποιώντας τα ακριβή προϊόντα τροχιάς και χρονομέτρου του GDGPS). Τέλος, έχει δυνατότητα βελτίωσης ακρίβειας με ακριβή μοντέλα καθυστέρησης του σήματος λόγο τροπόσφαιρας.
- Η υπηρεσία GAPS έχει δυνατότητα υποδοχής πρώτων δεδομένων από πολλούς διαφορετικούς τύπους δεκτών. Προσφέρει δύο λειτουργίες υποβολής αρχείων (Βασική και για Προχωρημένους), ανάλογα με τις απαιτήσεις του εκάστοτε χρήστη. Πραγματοποιεί συνεχής ενημερώσεις και αναβαθμίσεις για την βελτίωση απόδοσής της, χωρίς διακοπή των λειτουργιών της. Ακόμη, κάνει έρευνα με σόχο την πραγματοποίηση εντοπισμού θέσης πολλαπλών σχηματισμών GNSS για το μέλλον. Τέλος, παρέχει συστηματική και άμεση ανταπόκριση και εξυπηρέτηση από το προσωπικό της, για οποιαδήποτε βοήθεια και διευκρίνιση ως προς τους χρήστες.
- Το ΔΚΕ magicGNSS δεν απαιτεί δεδομένα παρατηρήσεων από τους σταθμούς αναφοράς CORS. Ακόμη, υποστηρίζει πλέον δεδομένα από δορυφόρους GPS, GLONASS και GALILEO.

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΔΚΕ

- Στην υπηρεσία CSRS-PPP, μέσα σε περίπου 24 ώρες από την αποστολή έκθεσης επεξεργασίας στον χρήστη, τα τελικά αποτελέσματα παύουν να υπάρχουν, γι' αυτό απαιτείται γρήγορη ανάκτηση και αποθήκευσή τους.
- Η υπηρεσία APPS-NASA έχει το σημαντικό μειονέκτημα να μην παρέχει γραφικές παραστάσεις με την έκδοση των αποτελεσμάτων της όπως όλες οι άλλες υπηρεσίες, κάνοντας πιο δύσκολη την ανάγνωση των αποτελεσμάτων από τους χρήστες. Ακόμη έχει περιορισμό μεγέθους αρχείων έως 10 MB.

- Το ΔΚΕ GAPS δεν μπορεί να κάνει επεξεργασία αρχείων που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία, με τη βοήθεια της καινούργιας λειτουργίας για Προχωρημένους που ίσως οφείλεται στην αναβάθμιση που υποβλήθηκε. Επίσης, στην Βασική λειτουργία δεν μπορούν να αποφευχθούν υπολογισμοί ορισμένων παραμέτρων που μπορεί να επηρεάζουν τα αποτελέσματα, τουλάχιστον όσον αφορά την κινηματική επεξεργασία. Τέλος, χρησιμοποιεί ακόμη μόνο δεδομένα GPS.
- Στην υπηρεσία magicGNSS, αν και ο τρόπος με τον οποίο μπορεί να υποβάλλει τα δεδομένα του ο χρήστης μέσω εγγραφής έχει σχεδιαστεί για ευκολία, στην πράξη είναι δυσκολότερος από το να στείλει ένα απλό e-mail. Ακόμη, λόγω του ότι λειτουργεί από το 2009 δεν μπορεί να δεχθεί αρχεία για επεξεργασία παλαιότερων ετών.
- Τα ΔΚΕ GAPS και magicGNSS έχουν περιορισμό μεγέθους υποβαλλόμενων αρχείων (έως 1 Hz).
- Αν και δεν υπάρχει περιορισμός, η ακρίβεια των αποτελεσμάτων για όλα τα ΔΚΕ εξαρτάται από το χρονικό διάστημα που πραγματοποιήθηκαν οι παρατηρήσεις.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΠΟΥ ΠΡΟΕΚΥΨΑΝ ΑΠΟ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΔΚΕ

- Με βάση την ανταπόκριση των κάθε ΔΚΕ, την ευκολία στον χειρισμό, την αποτελεσματικότητα και τους περιορισμούς, η υπηρεσία που ξεχώρισε ήταν η CSRS-PPP γι' αυτό και στην παρούσα μελέτη επιλέχθηκε ως αναφορά για τη σύγκριση των αποτελεσμάτων. Αν και για κάποια αρχεία δεν ήταν η πρώτη στην ακρίβεια (χωρίς βέβαια με μεγάλη απόκλιση), ήταν η μόνη που επεξεργάστηκε όλα τα αρχεία ανεξαιρέτως μεγέθους και παλαιότητας. Ακόμη, ήταν η μόνη υπηρεσία που έδωσε πληροφορία για τον παράγοντα GDOP, κάτι πολύ σημαντικό για την ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Τέλος, για κάποια αρχεία είχε μεγαλύτερη διάρκεια στις παρατηρήσεις, σημαντικό πλεονέκτημα για την ακρίβεια των αποτελεσμάτων.
- Από την σύγκριση ως προς τις συντεταγμένες των ΔΚΕ προκύπτει ότι η υπηρεσία που δίνει τα αποτελέσματα με την μεγαλύτερη απόκλιση για τα αρχεία και από τις κινηματικές πλατφόρμες από αυτοκίνητο και αεροπλάνο, είναι η GAPS της οποίας οι τιμές κυμαίνονται κυρίως στο επίπεδο του μέτρου (για το αρχείο με τις μεγαλύτερες τιμές, -3 έως 4,5) σε αντίθεση με τις υπηρεσίες CSRS-PPP και APPS-NASA οι οποίες δίνουν τιμές λίγων εκατοστών.
- Για το αρχείο από πλοίο, για το οποίο δεν έγινε σύγκριση μεταξύ υπηρεσιών επειδή οι υπόλοιπες δεν ανταποκρίθηκαν, αλλά έγινε σύγκριση της CSRS-PPP με αποτελέσματα από εκ των υστέρων επεξεργασία, οι τιμές είναι αρκετά μεγάλες και για τις τρείς συνιστώσες, που ίσως οφείλονται στην διαφορετική επεξεργασία.
- Οι τυπικές αποκλίσεις που δίνουν τα ΔΚΕ CSRS-PPP και APPS-NASA για τις δύο πρώτες κινηματικές πλατφόρμες είναι πολύ καλές, της τάξης των λίγων εκατοστών με καλύτερη, κυρίως για τα αρχεία από αεροπλάνο αλλά και όχι με πολύ μεγάλες διαφορές, την υπηρεσία APPS-NASA. Με βάση τα αποτελέσματα που δίνει η υπηρεσία GAPS προκύπτει

ότι είναι η χειρότερη και η πιο αναξιόπιστη από όλα τα Κέντρα, αφού δίνει πολύ μεγάλες αποκλίσεις που κυμαίνονται από 2,5 m έως 4 m.

- Το αρχείο από πλοίο, όπως και στην σύγκριση, έχει μεγάλες τυπικές αποκλίσεις της τάξης των 10 m, 8 m και 20 m κατά X, Y και Z αντίστοιχα, δηλαδή πολύ χαμηλή ακρίβεια σε σχέση και με τα προηγούμενα αρχεία. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε πολλούς παράγοντες, εκ των οποίων οι βασικότεροι είναι το γεγονός ότι ο δέκτης είναι μονής συχνότητας και επίσης είναι πολύ πιθανό να έχουμε σφάλματα Multipath (Πολλαπλής πολυανάκλασης σήματος) λόγω της θέσης του δέκτη κατά την συλλογή των δεδομένων (ο δέκτης ήταν τοποθετημένος πάνω στην κουπαστή του πλοίου και το σήμα μπορεί να είχε ανακλάσεις λόγω του νερού).
- Τα γραφήματα των υπολοίπων φάσης και ψευδοαπόστασης παίζουν μεγάλο ρόλο στα αποτελέσματα γιατί βοηθούν στην κατανόησή τους και στο συμπέρασμα ότι δείχνουν με ακρίβεια τον θόρυβο που έχει προκύψει. Δηλαδή, για τα αποτελέσματα με μεγάλες αποκλίσεις, τα αντίστοιχα γραφήματα φάσης και ψευδοαπόστασης εμφανίζουν μεγάλο θόρυβο. Το ίδιο ισχύει αντίστοιχα για τα αρχεία με μεγαλύτερη ακρίβεια και συνεπώς μικρό θόρυβο παρατηρήσεων.
- Από τα αποτελέσματα των RMS σφαλμάτων που προέκυψαν από την σύγκριση των ΔΚΕ και των τυπικών τους σφαλμάτων, συμπεραίνεται ότι οι υπηρεσίες που βρίσκονται πιο κοντά μεταξύ τους είναι οι CSRS-PPP και APPS-NASA εφόσον δίνουν τις πιο μικρές τιμές (λίγα cm), σε αντίθεση με την GAPS που δίνει και πάλι αρκετά μεγάλες τιμές στο επίπεδο του μέτρου και πιο κοντά στην πραγματική τιμή βρίσκονται τα αποτελέσματα που δίνει η υπηρεσία APPS-NASA.
- Μεγάλος παράγοντας που επηρεάζει τα αποτελέσματα είναι η διάρκεια συχνότητας των παρατηρήσεων από την κάθε υπηρεσία. Όσο μεγαλύτερη είναι η συχνότητα, τόσο περισσότερες παρατηρήσεις λαμβάνονται με αποτέλεσμα μεγαλύτερη ακρίβεια.
- Η αύξηση της χρονικής διάρκειας των παρατηρήσεων συμβάλλει στην αύξηση της ακρίβειας και της ορθότητας της τελικής λύσης (π.χ. από 1h έως 24h).
- Ο παράγοντας GDOP συμβάλλει στην ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Όσο μικρότερες είναι οι τιμές που κυμαίνεται ο δείκτης αυτός (από 2 έως 5) τόσο μεγαλύτερη ακρίβεια έχουν τα αποτελέσματα. Αυτό σημαίνει ουσιαστικά καλή γεωμετρία του δορυφορικού σχηματισμού. Επομένως, συμπεραίνεται ότι οι μεγάλες τιμές στα αποτελέσματα που παρατηρούνται σε κάποια αρχεία και συνεπώς η μικρή ακρίβεια, οφείλονται σε κακή γεωμετρία των δορυφόρων.

6.3 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Σε αυτή την ενότητα, παρατίθενται οι προτάσεις για περαιτέρω μελέτη και εξέλιξη της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

- ❖ Επεξεργασία δεδομένων από τα ΔΚΕ προερχόμενων και από άλλα δορυφορικά συστήματα, όπως το ρωσικό GLONASS, το ευρωπαϊκό GALILEO, το κινεζικό BEIDOU κ.α. για σύγκριση των αποτελεσμάτων.
- ❖ Σύγκριση με διαφορετική διάρκεια συχνότητας παρατήρησης για το ίδιο αρχείο (π.χ. δοκιμή με 1 sec, 10 sec, 30 sec κ.λπ.).
- ❖ Σύγκριση με διαφορετικούς σταθμούς αναφοράς που θα επιλέξει ο χρήστης (εφόσον έχει τη δυνατότητα), για το ίδιο αρχείο. Παράδειγμα, γίνεται δεκτή η επιλογή που προσφέρουν τα ΔΚΕ και εφόσον είναι δυνατόν, γίνεται στη συνέχεια από το χρήστη η επιλογή των σταθμών CORS.
- ❖ Σύγκριση με διαφορετικά προϊόντα ακριβείας που θα επιλέξει ο χρήστης, για το ίδιο αρχείο, όπως είναι οι εφημερίδες ακριβείας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική Βιβλιογραφία

1. Αδάμος Σ., «Η Συμβολή των Διεθνών Κέντρων Επεξεργασίας Δεδομένων GPS στη βελτίωση της ακρίβειας του απόλυτου εντοπισμού», Διπλωματική Εργασία, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα 2008.
2. Δημοπούλου Μ., «Συγκριτική Μελέτη Online Υπηρεσιών Μετεπεξεργασίας Δεδομένων GPS», Διπλωματική Εργασία, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα 2008.
3. Φωτίου Α. – Πικριδάς Χ., «GPS και Γεωδαιτικές Εφαρμογές», Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη 2006.
4. Φωτίου Α. – Πικριδάς Χ., «GPS και Γεωδαιτικές Εφαρμογές», Δεύτερη Έκδοση, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη 2012.

Ξένη Βιβλιογραφία

1. Bisnath S. and Gao Y., «Current state of precise point positioning and future prospects and limitations», *Observing our Changing Earth*, Vol. 133, pages 615-623, 2009.
2. Choy S.L., «An investigation into the accuracy of single Frequency PPP», Ph.D Thesis, School of Mathematical and Geospatial Sciences, RMIT University 2009.
3. Colombo O.L., Sutter A.W., Evans A.G., «Evaluation of Precise, Kinematic GPS Point Positioning», Proceedings of the Institute of Navigation (ION) GNSS-2004 Meeting, Long Beach, California 2004.
4. Gao Y., Chen K., Kongzhe C., «Performance Analysis of Precise Point Positioning Using Real-Time Orbit and Clock Products», *Positioning*, Vol.1 No 8, Canada 2004.
5. Gao Y., Chen K., «Real-Time Precise Point Positioning Using Single Frequency Data», *Proceedings of the 18th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS2005)*, pages 1514-1523, Long Beach, CA 2005.
6. Gao Y., «Precise Point Positioning and its challenges, Aided-GNSS and Signal Tracking», Inside GNSS, Engineering Solutions from the Global Navigation Satellite System Community, *GNSS Solutions*, November/December 2006.
7. Héroux P. and Kouba J., «GPS Precise Point Positioning Using IGS Orbit Products», *Journal GPS Solutions*, Vol.5 No 2, pages 12-18, 2001.
8. Héroux P., Kouba J., Collins P. and Lahaye F., «GPS Carrier-Phase Point Positioning with Precise Orbit Products», Paper presented at Geometrics'2010, Ottawa, Ontario, Canada 2010.
9. Kaplan E.D., Hegarty C., «Understanding GPS: Principles and Applications», 2nd Edition, ISBN-13: 978-1580538947, 2006.

10. King R. W., and Bock Y., «Documentation of the GAMIT GPS Analysis Software», Massachusetts 1999.
11. Kouba J., «A Guide to Using International GNSS Service (IGS) Products», Natural Resources Canada 2009.
12. Lichten S.M., Bar-Server Y.E., Bertiger E.I., Heflin M., Hurst K., Muellerschoen R.J., Wu S.C., Yunck T.P., and Zumberge J.F., «GIPSY-OASIS II: A High precision GPS Data processing System and general orbit analysis tool», *Technology 2006*, NASA Technology Transfer Conference, Chicago 1995.
13. Marreiros J.P.R., «Kinematic GNSS Precise Point Positioning, *Applications to marine platforms*», Ph.D Thesis, University of Porto 2012.
14. Martin A., Anquela A.B., Berné J.L., Sanmartin M., «Kinematic GNSS-PPP results from various software packages and raw data configurations», Scientific Research and Essays, 7(3): 419-431, doi: 10.5897/SRE11.1885, Spain 2012.
15. Mireault Y., Tétreault P., Lahaye F., Héroux P., Kouba J., «Online Precise Point Positioning», *A new, timely service from Natural Resources Canada*, GPS World, 19(9), pages 59-64, 2008.
16. Misra P., Enge P., «Global Positioning System: Signals, Measurements, and Performance», (Revised Second Edition), ISBN-13: 978-0970954428, 2008.
17. Rothacher M., and Mervart L., «The Bernese GPS Software Version 4.0. », University of Berne, Switzerland 1996.
18. Sickle J.V., Taylor, and Francis, «GPS for land surveyors», 4th Edition, ISBN-13: 978-1466583108, 2015.
19. Zumberge J.F., Heflin M.B., Jefferson D.C., Watkins M.M., «Precise point positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks», *Journals of Geophysical Research*, Vol.102 No B3, pages 5005-5017, California 1997.

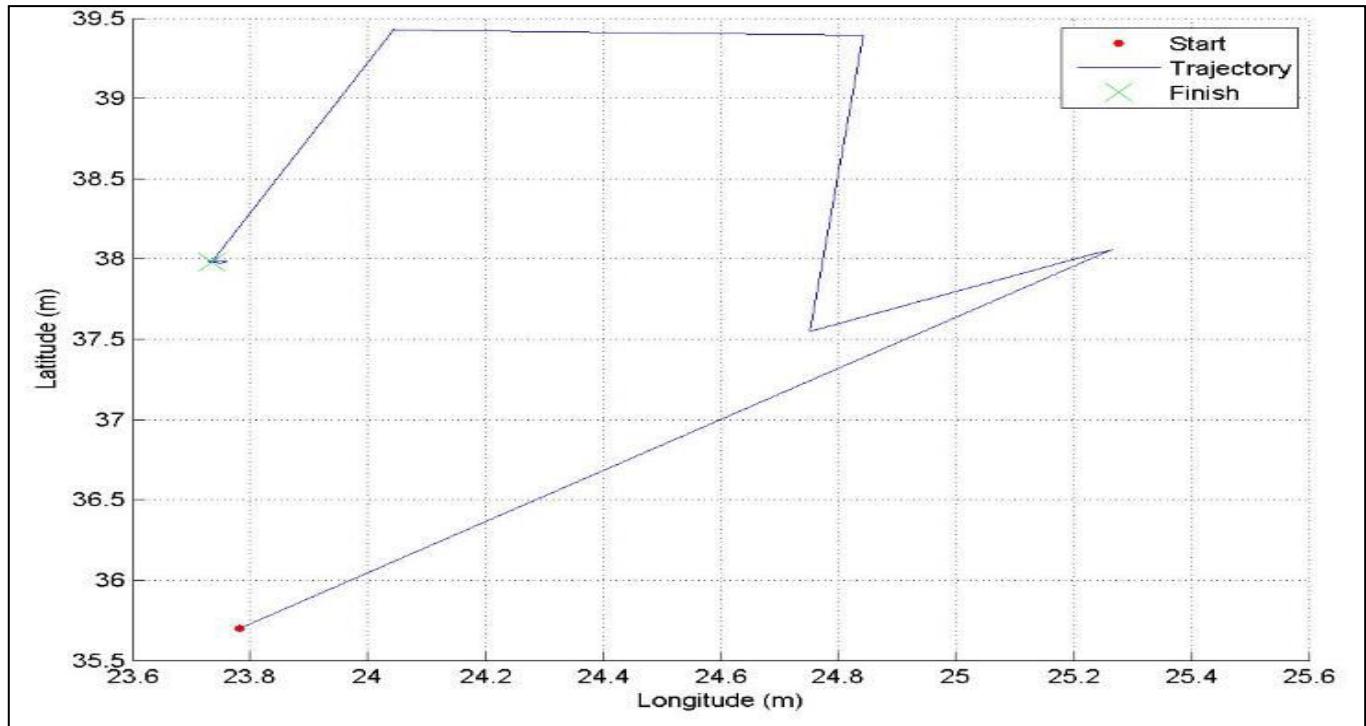
Δικτυακοί τόποι

1. http://users.ntua.gr/ddeli/GSE/4_issue_GSE.html
2. http://portal.survey.ntua.gr/main/labs/hgeod/ddeli/GSE/current_issue_GSE.html
3. http://www.geod.nrcan.gc.ca/index_e/geodesy_e/reference06_e.html
4. <http://webapp.geod.nrcan.gc.ca/geod/tools-outils/trx.php?locale=en>
5. <http://www.nrcan.gc.ca/earth-sciences/geomatics/geodetic-reference-systems/tools-applications/10925>
6. <http://apps.gdgps.net/>
7. <http://www.gdgps.net/>
8. <http://gaps.gge.unb.ca>
9. <http://magicgnss.gmv.com>
10. <http://magicgnss.gmv.com/ppp/>
11. <http://www.gmv.com/en/space/magicPPP/index.html>
12. <http://www.dasodata.gr/index.php/systimata-entopismoy-thesis>

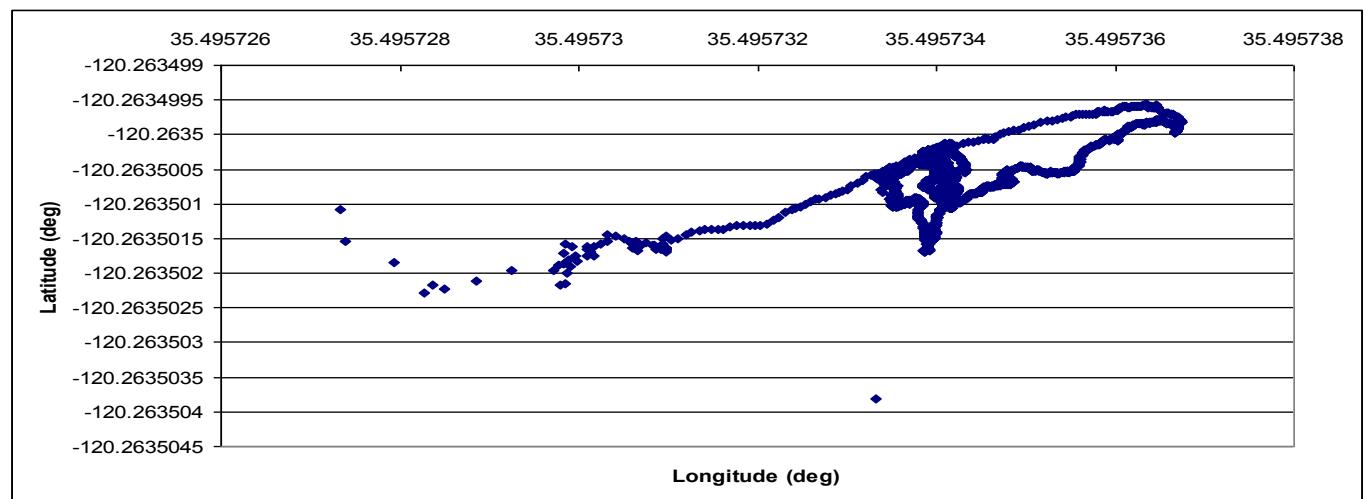
13. <https://igscb.jpl.nasa.gov/components/usage.html>
14. <http://users.ntua.gr/ddeli/satgeodesy/resources.htm>
15. http://www.researchgate.net/publication/258836197_GNSS_?fulltextDialog=true
16. http://www.navipedia.net/index.php/Precise_Point_Positioning
17. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/96JB03860/pdf>
18. <http://www.insidegnss.com/node/2977>
19. <http://gpsworld.com/a-comparison-of-free-gps-online-post-processing-services/>
20. https://www.academia.edu/7227055/New_Online_System_for_Automatic_Postprocessing_of_Fast-static_and_Kinematic_GNSS_Data
21. <http://www.hepos.gr/>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

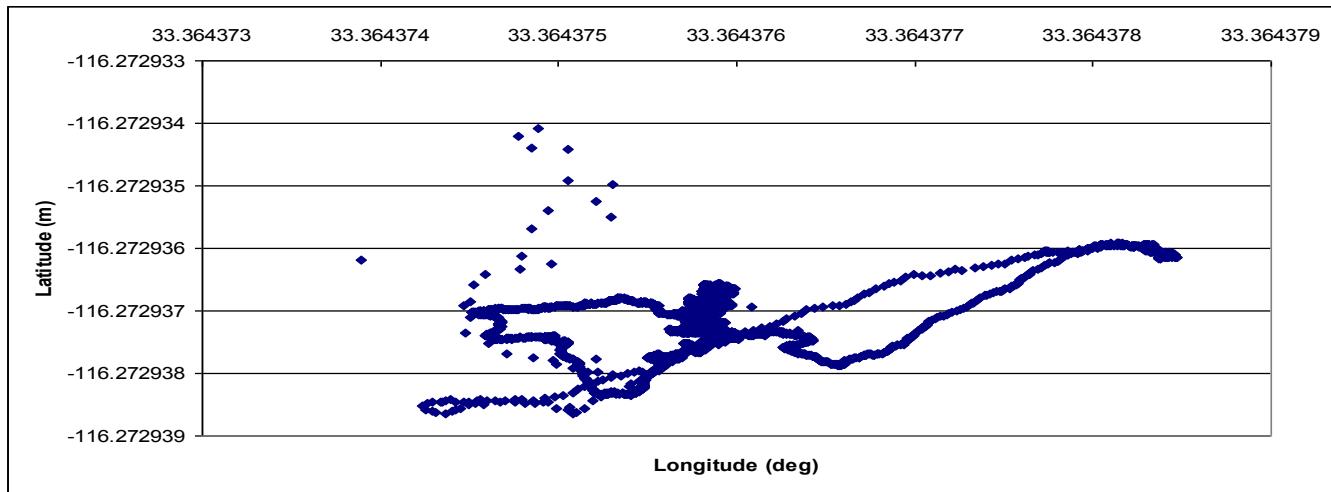
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΩΝ ΔΚΕ CSRS-PPP ΚΑΙ GAPS



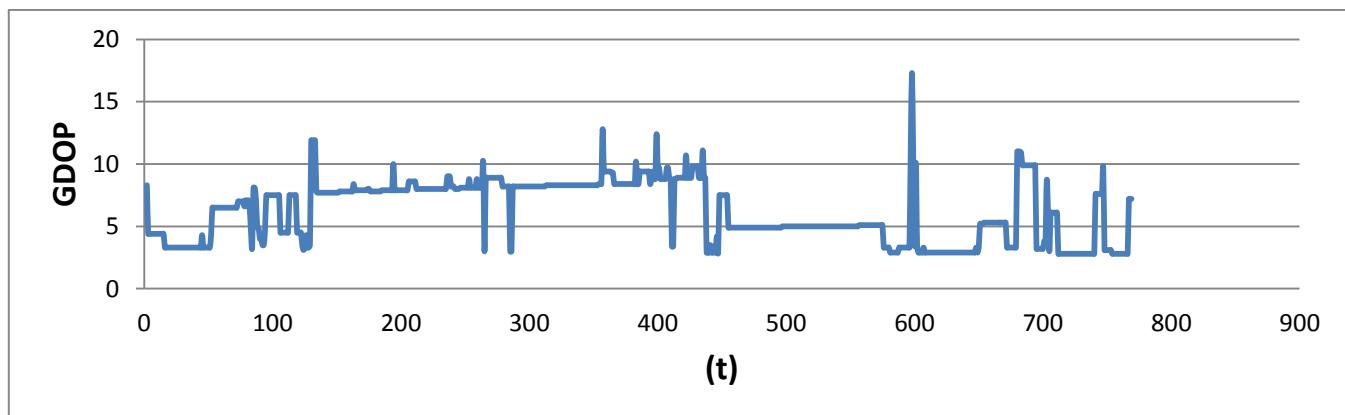
Διάγραμμα Α.1: Πορεία των φ και λ συντεταγμένων που δίνει η υπηρεσία GAPS για το αρχείο CAR126K, με τιμές εκφρασμένες στο σύστημα ITRF 2008.



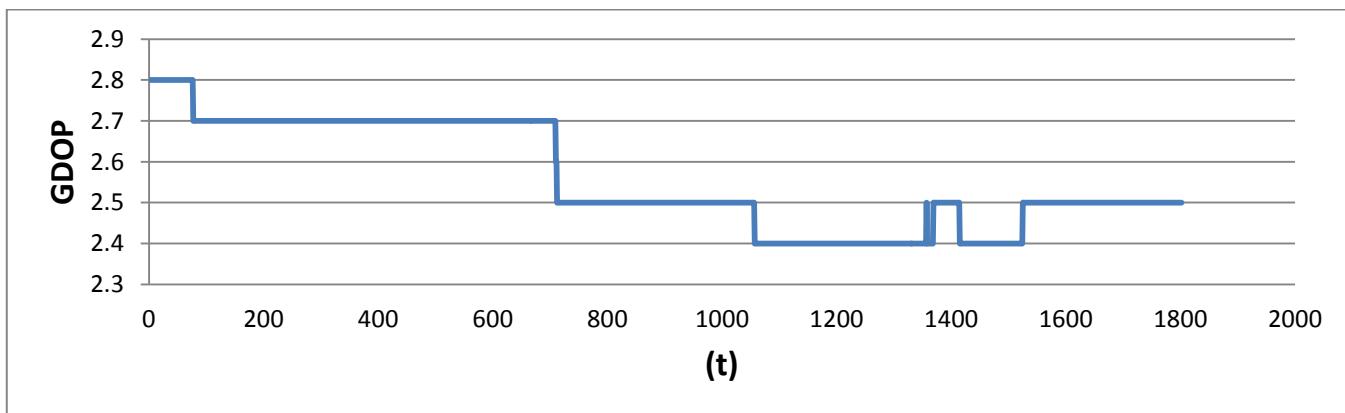
Διάγραμμα Α.2: Πορεία των φ και λ συντεταγμένων για το αρχείο masw356_19, με τιμές εκφρασμένες στο σύστημα ITRF 2008.



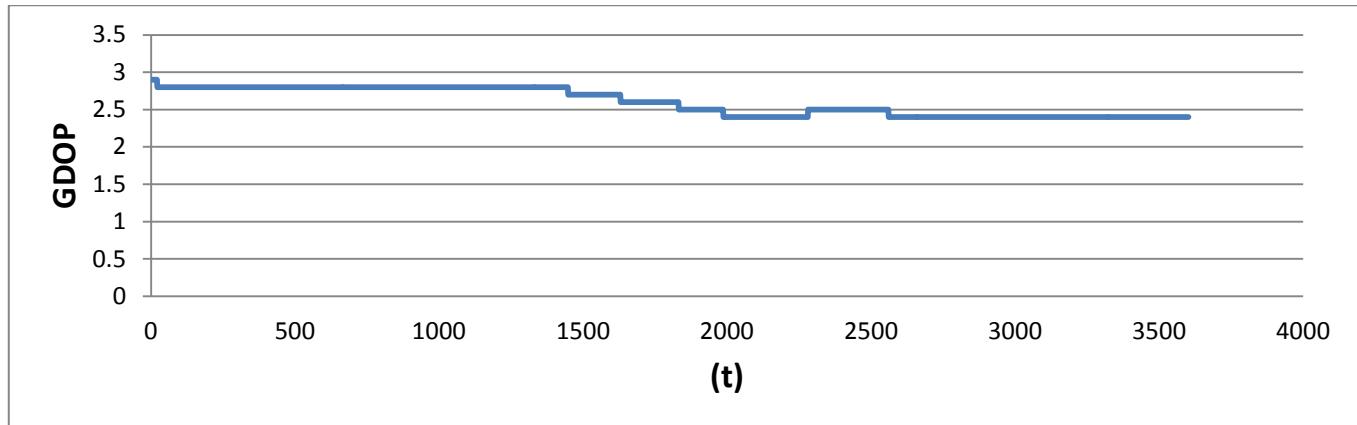
Διάγραμμα A.3: Πορεία των φ και λ συντεταγμένων για το αρχείο pin1356_19, με τιμές εκφρασμένες στο σύστημα ITRF 2008.



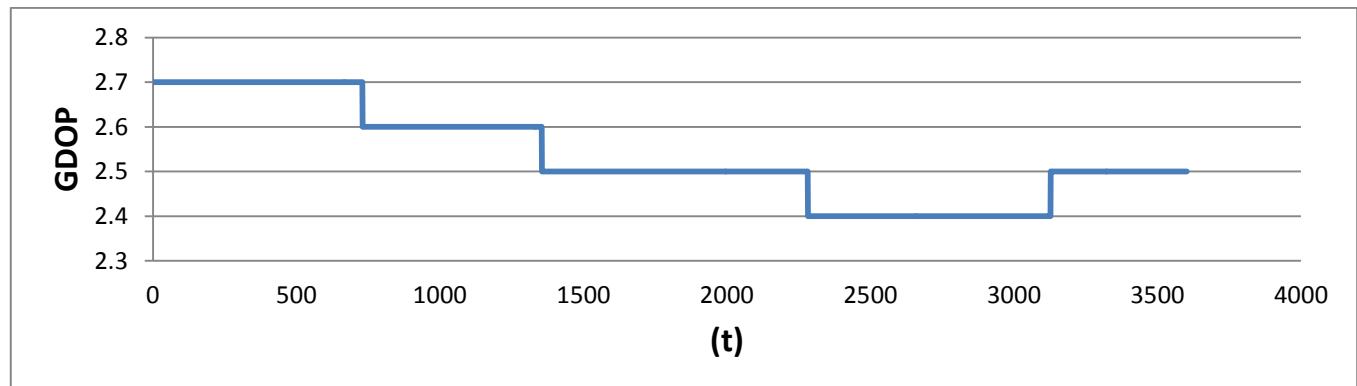
Διάγραμμα A.4: Ο παράγοντας GDOP ως προς τον χρόνο (σε sec), που δίνεται από την υπηρεσία CSRS-PPP για το αρχείο CAR126K.



Διάγραμμα A.5: Ο παράγοντας GDOP ως προς τον χρόνο (σε sec), που δίνεται από την υπηρεσία CSRS-PPP για το αρχείο blsa356_19.

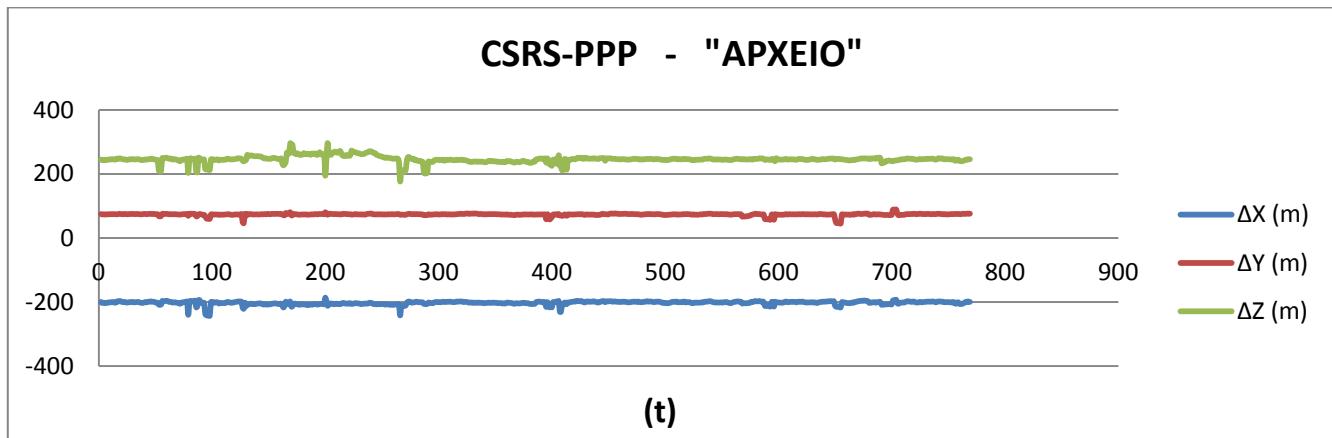


Διάγραμμα A.6: Ο παράγοντας GDOP ως προς τον χρόνο (σε sec), που δίνεται από την υπηρεσία CSRS-PPP για το αρχείο masw356_19.

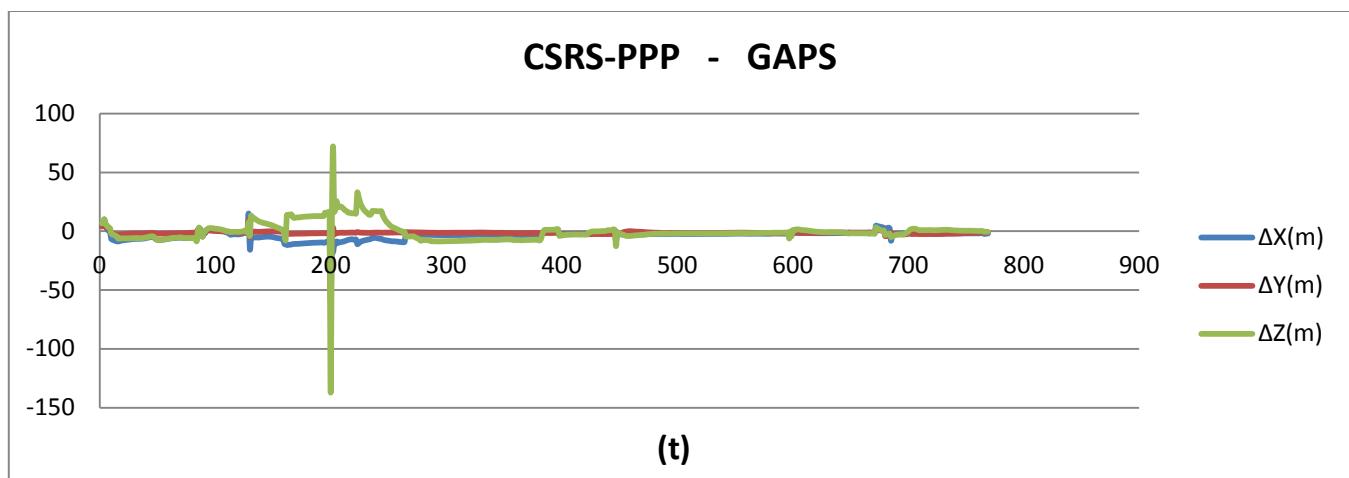


Διάγραμμα A.7: Ο παράγοντας GDOP ως προς τον χρόνο (σε sec), που δίνεται από την υπηρεσία CSRS-PPP για το αρχείο pin1356_19.

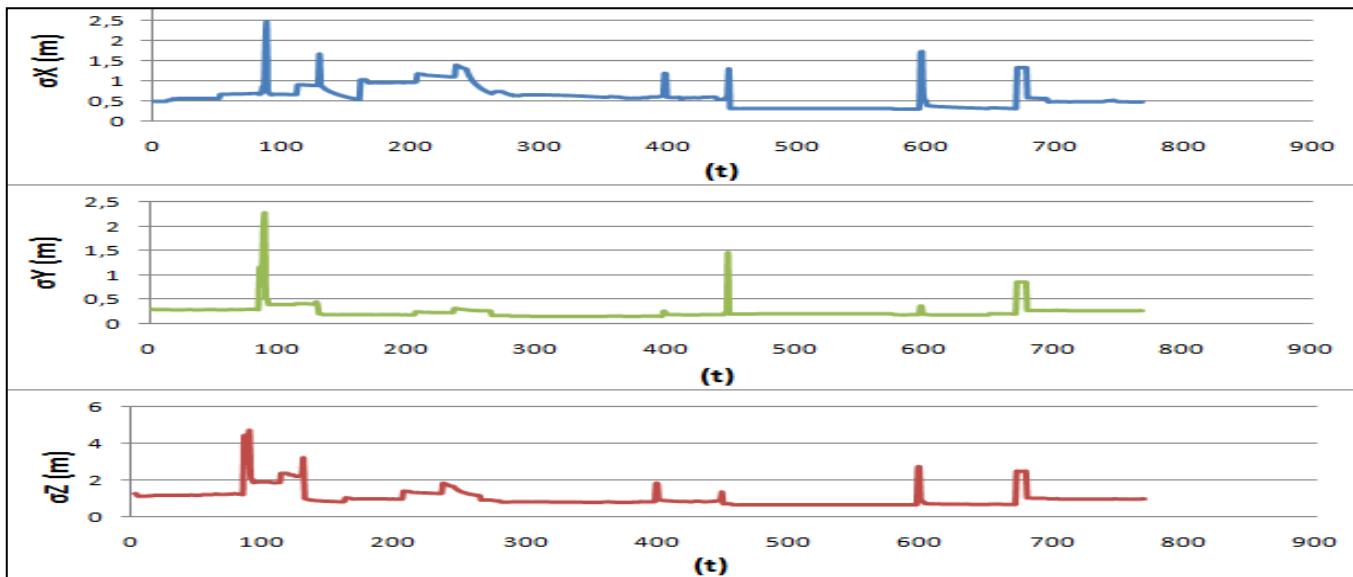
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΚΑΙ ΤΥΠΙΚΩΝ ΑΠΟΚΛΙΣΕΩΝ ΓΙΑ ΟΛΑ ΤΑ ΑΡΧΕΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ GPS



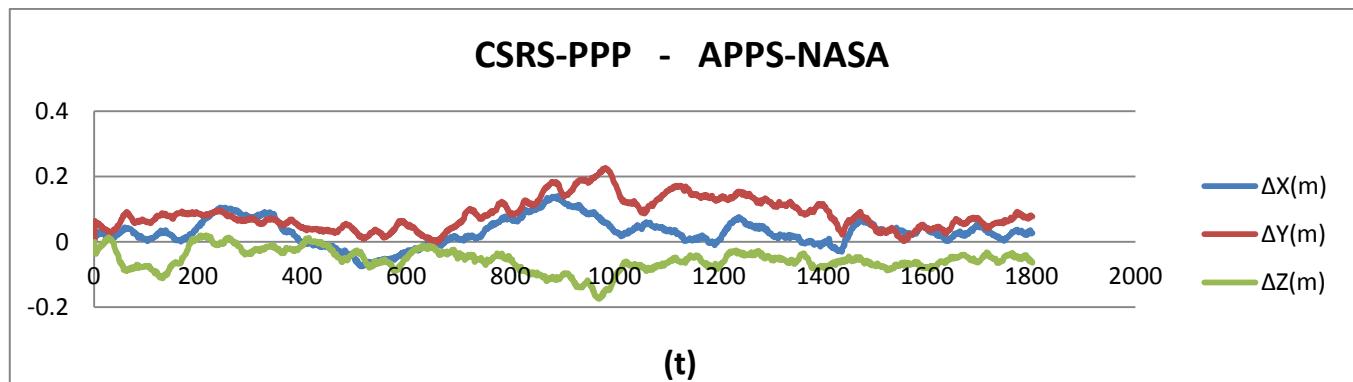
Διάγραμμα Β.1: Διαφορές συντεταγμένων ως προς το χρόνο (σε sec), μεταξύ της υπηρεσίας CSRS-PPP και υπάρχοντος αρχείου αποτελεσμάτων για το αρχείο CAR126K.



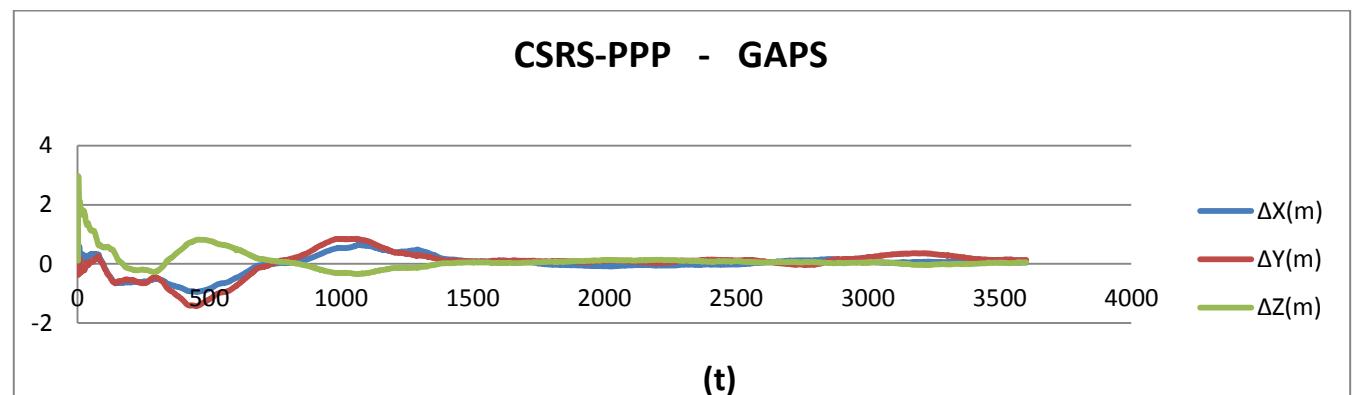
Διάγραμμα Β.2: Διαφορές συντεταγμένων ως προς το χρόνο (σε sec), μεταξύ των υπηρεσιών CSRS-PPP και GAPS για το αρχείο CAR126K.



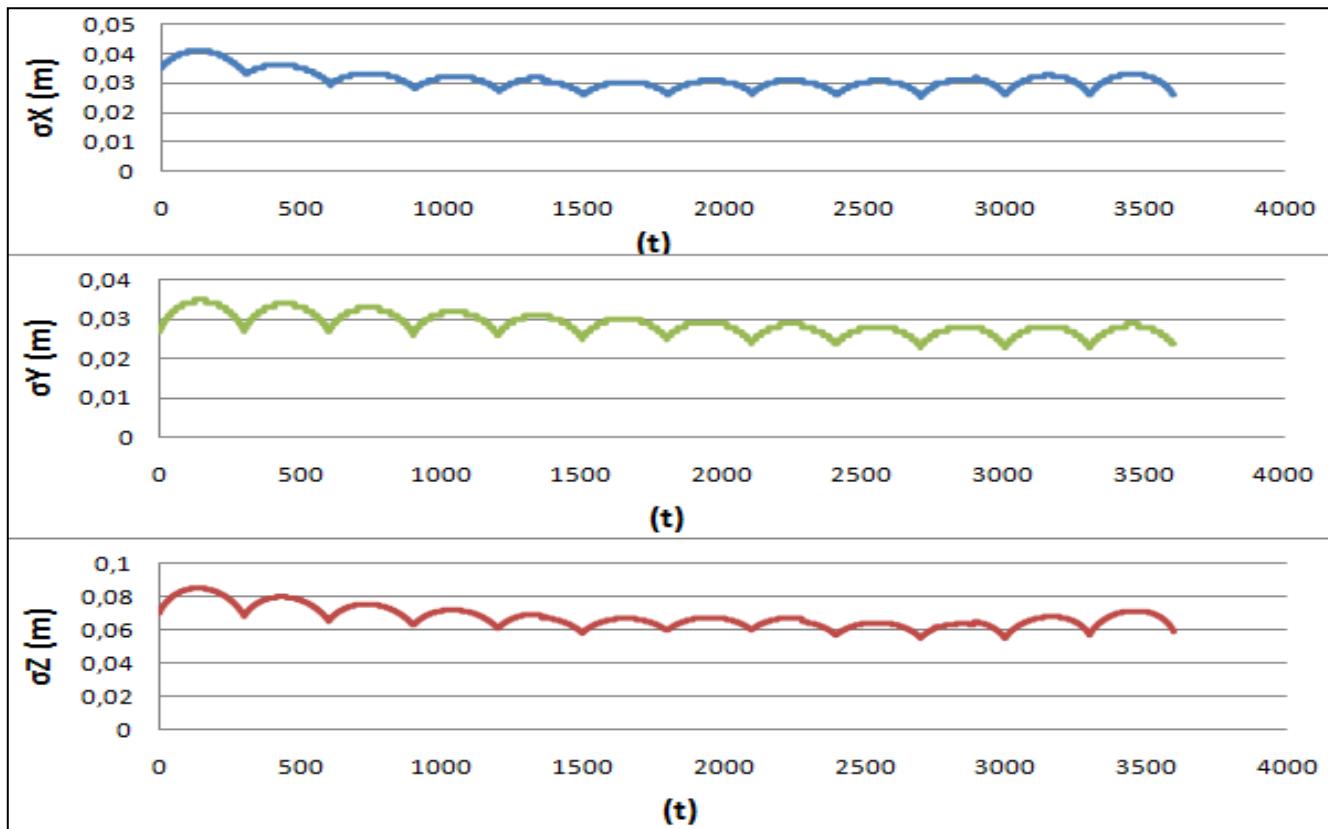
Διάγραμμα B.3: Τυπικές αποκλίσεις ως προς το χρόνο (σε sec), που δίνονται από την υπηρεσία CSRS-PPP για το αρχείο CAR126K.



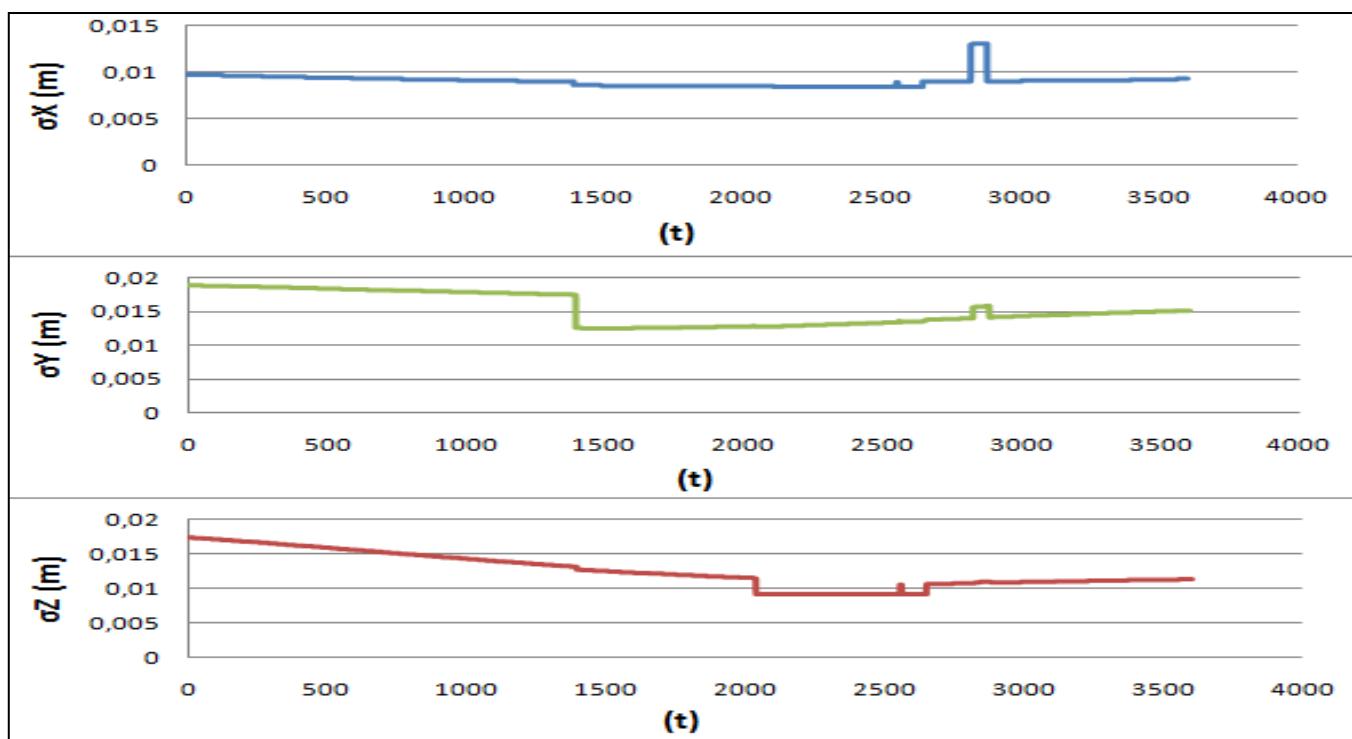
Διάγραμμα B.4: Διαφορές συντεταγμένων ως προς το χρόνο (σε sec), μεταξύ των υπηρεσιών CSRS-PPP και APPS-NASA για το αρχείο blsa356_19.



Διάγραμμα B.5: Διαφορές συντεταγμένων ως προς το χρόνο (σε sec), μεταξύ των υπηρεσιών CSRS-PPP και GAPS για το αρχείο masw356_19.



Διάγραμμα B.6: Τυπικές αποκλίσεις ως προς το χρόνο (σε sec), που δίνονται από την υπηρεσία CSRS-PPP για το αρχείο pin1356_19.



Διάγραμμα B.7: Τυπικές αποκλίσεις ως προς το χρόνο (σε sec), που δίνονται από την υπηρεσία APPS-NASA για το αρχείο rnch356_19.