



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ

GALILEO

Το Ευρωπαϊκό Δορυφορικό Σύστημα Προσδιορισμού Θέσης και Πλοήγησης

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

ΑΦΕΝΤΟΥΛΙΔΟΥ ΚΛΕΟΝΙΚΗΣ

Επιβλέπουσα : Μαρία Τσακίρη
Επίκουρη Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούνιος 2008

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η χρήση των παγκόσμιων δορυφορικών συστημάτων πλοήγησης και προσδιορισμού θέσης (GNSS) έχει εξαπλωθεί και γενικευτεί σε μεγάλο βαθμό τα τελευταία 15 χρόνια, έχοντας επικρατήσει σε πολλαπλές εφαρμογές τόσο επιστημονικών πεδίων όσο και της καθημερινότητας. Μέχρι τώρα το δορυφορικό σύστημα που είχε να επιδείξει η διαστημική βιομηχανία ήταν το αμερικανικής προέλευσης παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα GPS (Global Positioning System), το οποίο τυγχάνει ευρείας αποδοχής καθώς το ανταγωνιστικό ρωσικό δορυφορικό σύστημα GLONASS δεν έχει καταστεί ακόμη πλήρως επιχειρησιακό. Σήμερα η Ευρωπαϊκή Ένωση προχωρεί στην ανάπτυξη του πρώτου πολιτικού συστήματος προσδιορισμού θέσης και πλοήγησης, του Galileo, που αναμένεται όταν ολοκληρωθεί να αλλάξει σημαντικά την υπάρχουσα κατάσταση και να άρει τις όποιες ‘στρατιωτικές δεσμεύσεις’ των άλλων συστημάτων. Το Galileo είναι τεχνολογικά περισσότερο προηγμένο, καλύτερων επιδόσεων, ασφαλέστερο και με μεγαλύτερο εύρος εφαρμογών.

Αυτό το νέο, πολλά υποσχόμενο δορυφορικό σύστημα αποτελεί το αντικείμενο μελέτης της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Κύριος στόχος της είναι να παρουσιάσει το ευρωπαϊκό πρόγραμμα Galileo, που αποτελεί μεγάλη πρόκληση για την Ευρώπη στον τομέα της δορυφορικής πλοήγησης. Έχοντας ως γνώμονα την ολοκληρωμένη και εμπεριστατωμένη περιγραφή του συστήματος η εργασία χωρίζεται σε δυο μέρη, στο βιβλιογραφικό και στο ερευνητικό. Στο πρώτο, περιγράφεται αναλυτικά το εν εξελίξει σύστημα Galileo, βάσει των πιο πρόσφατων ενημερώσεων, με διεξοδικές αναφορές στα βασικά τεχνικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά του, στον τρόπο λειτουργίας του, στις παρεχόμενες υπηρεσίες του και στις εφαρμογές που στοχεύει να εξυπηρετήσει. Επίσης, περιγράφονται οι αναλυτικές έννοιες που ορίζουν το δορυφορικό σύστημα, όπως είναι οι τροχιές και τα κεπλέρια στοιχεία τους, καθώς και οι συντελεστές γεωμετρικής ακρίβειας DOP. Στο δεύτερο μέρος, διερευνάται η λειτουργικότητα του συστήματος με προγραμματιστικές μεθόδους, με χρήση δηλαδή του λογισμικού πακέτου Galileo System Simulation Facility (GSSF V2.1.11 [Web Version]) που διατίθεται από την ESA (European Space Agency). Στο συγκεκριμένο περιβάλλον προσομοίωσης αναπτύσσονται διάφορα σενάρια χρήσης του συστήματος που αντιστοιχούν σε πραγματικές εφαρμογές εντοπισμού θέσης με διαφορετικούς τύπους χρηστών σε διαφορετικά περιβάλλοντα και συνθήκες. Τέλος, βάσει των προσομοιωμένων στοιχείων που προέκυψαν επιχειρούνται συγκρίσεις μεταξύ των συστημάτων Galileo και GPS, με σκοπό να διαπιστωθεί αν το σύστημα Galileo είναι πράγματι ισάξιο ή και καλύτερο του GPS.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας με θέμα την περιγραφή του νέου ευρωπαϊκού δορυφορικού συστήματος εντοπισμού θέσης Galileo, θα ήθελα να ευχαριστήσω πρωτίστως την επιβλέπουσα καθηγήτριά μου, κα Τσακίρη Μαρία, για τη διάθεση και το ενδιαφέρον που επέδειξε στη συγγραφή της παρούσας διπλωματικής εργασίας, για την πολύ καλή συνεργασία μας, για την συνέπεια και την ερευνητική της διάθεση καθώς και για την κατανόηση και την ενθάρρυνση που έδειξε σε πολλές ατυχείς και δύσκολες στιγμές στην πορεία εκπόνησης του παρόντος θέματος. Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές κο Σταθά Δ. και την κα Τελειώνη Ε. για την αντικειμενική και αμερόληπτη αξιολόγηση της παρούσας εργασίας.

Στο σημείο αυτό δεν θα μπορούσα να παραλείψω να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, που με πολλή κατανόηση και φροντίδα στάθηκε πλάι μου, αρωγός μιας πολυετούς προσπάθειας που φτάνει αισίως στο τέλος της. Αλλά και τους φίλους μου, που με κάθε τρόπο μου συμπαράσταθηκαν.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1	Το Σύστημα Galileo	1
1.2	Σκοπός και Στόχοι της Διπλωματικής Εργασίας	3
1.3	Δομή της Διπλωματικής Εργασίας	3
2	ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ GALILEO	5
2.1	Εισαγωγή	5
2.2	Πως Ξεκίνησε το Πρόγραμμα Galileo	5
2.3	Τι είναι το Galileo	7
2.4	Γιατί το Galileo είναι χρήσιμο για την Ευρώπη	9
2.5	Οργανωτικός Πυρήνας του Συστήματος	12
2.6	Στόχοι του Προγράμματος	13
2.7	Χρονοδιάγραμμα Υλοποίησης Προγράμματος Galileo	14
2.8	Τα Μέρη του Συστήματος	17
2.8.1	Το δορυφορικό τμήμα	17
2.8.2	Το τμήμα ελέγχου	20
2.8.3	Το τμήμα χρηστών	21
2.9	Δορυφορικός Προσδιορισμός Θέσης με το Σύστημα Galileo	22
2.10	Σήματα Galileo	23
2.11	Δέκτες Galileo	28
2.12	Σφάλματα και Πηγές Σφαλμάτων	30
2.13	Υπηρεσίες Galileo	32
2.14	Εφαρμογές Συστήματος Galileo	36
2.14.1	Μεταφορές	37
2.14.2	Τηλεπικοινωνίες	41
2.14.3	Περιβάλλον	41
2.14.4	Γεωργία	42
2.14.5	Υπηρεσίες βοθητών, έρευνας και διάσωσης – Διαχείριση κρίσεων.	42
2.14.6	Έρευνα και επιστήμη	44
2.14.7	Αναψυχή	44
2.14.8	Τοπογραφικές μελέτες	45
2.15	Σύγκριση GPS – Galileo	45

3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΡΟΧΙΩΝ & ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΘΕΣΗΣ	48
3.1 Εισαγωγή	48
3.2 Στοιχεία Τροχιών Δορυφόρων Galileo	48
3.3 Υπολογισμός Τροχιών	52
3.4 Σφάλματα και Πηγές Σφαλμάτων	54
3.5 Αρχεία Εφημερίδων και Παρατηρήσεων (RINEX)	54
3.6 Ορισμός DOP	57
4 ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ GSSF	60
4.1 Εισαγωγή	60
4.2 Το Λογισμικό GSSF	61
4.3 Δυνατότητες Προσομοίωσης και Ανάλυσης	61
4.4 Γραφικό Περιβάλλον και Δυνατότητές του Συστήματος	67
4.5 Περιγραφή Βασικών Εντολών του Προγράμματος GSSF	69
4.5.1 Έναρξη προγράμματος	69
4.5.2 Κύριο μενού	69
4.5.3 Προσομοίωση	71
4.5.4 Σενάριο	74
4.5.5 Ανάλυση	82
4.5.6 Εκτέλεση προσομοίωσης	85
5 ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑΣ GALILEO	87
5.1 Εισαγωγή	87
5.2 Σενάριο 1 ^ο : Επαναληψιμότητα γεωμετρίας δορυφόρων	88
5.3 Σενάριο 2 ^ο : Στατικός δέκτης – Δορυφορικά συστήματα	96
5.4 Σενάριο 3 ^ο : Στατικός δέκτης – Δορυφορικός σχηματισμός	108
5.5 Σενάριο 4 ^ο : Κινηματικός δέκτης	110
5.6 Σενάρια για διαφορετικά UERE (User-Equivalent Range Error)	112
6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	127
6.1 Συμπεράσματα	127
6.2 Προτάσεις	130
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	131
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	135

AKPΩNYMIA

Acc	Accuracy
AltBOC	Alternativ Binary Offset Carrier
ARNS	Aeronautical Radio Navigation Service
AS	Anti-Spoofing
BOC	Binary Offset Carrier
C/Nav	Commercial Navigation
CS	Commercial Service
CSA	Canadian Space Agency
DOC	Depth of Coverage
DOP	Dilution of Precision
EC	European Commission
EGNOS	European Geo-stationary Navigation Overlay Service
ESA	European Space Agency
ESTEC	European Space Research and Technology Center
EU	European Union
FF	Fault Free-mode
F/Nav	Freely Accessible Navigation
FOC	Full Operational Capability
GARDA	Galileo Resaerch and Development Activities
GBAS	Ground Based Augmentation System
GCCs	Galileo Control Centers
GEO	GEostationary Orbit
GJU	Galileo Joint Undertaking
GIOVE	Galileo In Orbit Validation Elements
GIS	Geographic Information System
GLONASS	GLObal Navigation Satellite System
GMAS	Galileo Mission Analysis Simulator
G/Nav	Governmental Access Navigation
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
GSSs	Galileo Sensor Stations
GSSF	Galileo System Simulation Facility
GST	Galileo System Time
GSTB	Galileo System Test Bed
GSVF	Galileo Signal Validation Facility
GSVS	Galileo Service Volume Simulator
GTRF	Galileo Terrestrial Rerence Frame
GTR	Galileo Test Receiver
HAL	Horizontal Alert Limit
hNSP	horizontal Navigation System Precision
IERS	International Earth Rotation Service

I/Nav	Integrity Navigation
Int	Integrity
IOV	In Orbit Validation
ITRF	International Terrestrial Reference Frame
ITRS	International Terrestrial Reference System
ITU	International Telecommunications Union
LEO	Low Earth Orbit
MBOC	Multiplexel Binary Offset Carrier
MEO	Medium Earth Orbit
MHz	Megahertz
NSP	Navigation System Precision
OD&TS	Orbit Determination and Time Synchronization
OS	Open Service
PHMI	Probability of Hazardous Misleading Information
PRS	Public Regulated Service
RAIM	Receiver Autonomous Integrity Monitoring
RDG	Raw Data Generation
RINEX	Receiver Independent EXchange format
RNSS	Radio Navigation Satellite Services
SA	Selective Availability
SAR	Search and Rescue
SBAS	Satellite Based Augmentation System
SIS	Signal in Space
SISMA	Signal-in-Space Monitoring Accuracy
SoL	Safety of Life
SVS	Service Volume Simulation
TAI	International Atomic Time
TTA	Time to Alarm
UERE	User Equivalent Range Error
ULS	Up- Link Stations
UTC	Universal Time Co-ordinate
WGS84	World Geodetic System

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Το Σύστημα Galileo

Μόλις πριν από μερικές δεκαετίες η δορυφορική ραδιοπλοήγηση αποτελούσε μακροπρόθεσμο στόχο. Στις μέρες μας, η αξιοποίηση της σύγχρονης τεχνολογίας των παγκόσμιων δορυφορικών συστημάτων πλοήγησης και προσδιορισμού θέσης αποτελεί πραγματική επανάσταση όχι μόνο για τις βασικές γεωδαιτικές και τοπογραφικές εφαρμογές (ίδρυση γεωδαιτικών datum, δίκτυα και πυκνώσεις, τοπογραφικές και υδρογραφικές αποτυπώσεις, χαράξεις έργων, παρακολούθηση μικρομετακινήσεων του γήινου φλοιού και κρίσιμων τεχνικών έργων, εφαρμογές GPS-GIS) αλλά και για πλήθος άλλες μαζικές εφαρμογές όπως είναι η πλοήγηση, η διαχείριση στόλου οχημάτων, οι υπηρεσίες διάσωσης, οι δραστηριότητες αναψυχής, η ασφαλής μεταφορά δεδομένων, κ.α.

Τα υπάρχοντα δορυφορικά συστήματα πλοήγησης GNSS (Global Navigation Satellite Systems), που αποτελούνται από το αμερικάνικο GPS (Global Positioning System) και το ρωσικό GLONASS (GLObal Navigation Satellite System), έχουν αποδείξει την χρησιμότητα των GNSS για χρήστες στη στεριά, στη θάλασσα και στον αέρα. Αυτά δημιουργήθηκαν αποκλειστικά για στρατιωτική χρήση και βρίσκονται ακόμη κάτω από εθνικό έλεγχο. Το GPS τυγχάνει ευρείας αποδοχής και χρήσης με αριθμό πολιτικών χρηστών που ξεπερνά σήμερα κατά πολύ τα 100 εκ. Παρόλα αυτά ορισμένα προβλήματα παραμένουν, όπως η μειωμένη ακρίβεια λόγω της επιλεκτικής διαθεσιμότητας (SA), η αμφίβολη αξιοπιστία, η έλλειψη εγγύησης και ακεραιότητας του συστήματος κ.α. Σε ό,τι αφορά το λιγότερο διαδεδομένο ρωσικό σύστημα GLONASS, αυτό παρουσιάζει επίσης σημαντικές αδυναμίες, παρότι ξεκίνησε με φιλόδοξους στόχους, αντίστοιχους αυτών του GPS. Το GLONASS δεν έχει γίνει μέχρι σήμερα πλήρως επιχειρησιακό έχοντας μέχρι προσφάτως μόνο 13 δορυφόρους σε λειτουργία και διαθεσιμότητα μόλις 56% για ολόκληρη τη γη.

Αυτές οι αδυναμίες που εμφανίζουν τα τρέχοντα δορυφορικά συστήματα GPS και GLONASS τροφοδότησαν την ανάγκη για τη δημιουργία ενός πολιτικού GNSS παγκόσμιας κάλυψης και αποτέλεσαν ισχυρό κίνητρο για την Ευρωπαϊκή Ένωση, ώστε να προχωρήσει στη δημιουργία ενός νέου παγκόσμιου δορυφορικού συστήματος προσδιορισμού θέσης, με την ονομασία Galileo.

Το σύστημα Galileo αποτελεί το πρώτο πολιτικό δορυφορικό σύστημα εντοπισμού θέσης. Είναι μια πρωτοβουλία της Ευρώπης να δημιουργήσει το δικό της ευρωπαϊκό,

ανεξάρτητο δορυφορικό σύστημα που θα εγγυάται υπηρεσίες πολιτικής χρήσης μεγάλης ακρίβειας και παγκόσμιας κάλυψης. Η ιδέα προτάθηκε στις αρχές του '90, αλλά η επίσημη συμφωνία υπεγράφη στις 26 Μαΐου 2003 από την Ευρωπαϊκή Ένωση και την Ευρωπαϊκή Διαστημική Υπηρεσία (ESA). Το Galileo θα αποτελείται από ένα δορυφορικό τμήμα 30 δορυφόρων κατανεμημένων σε τρία τροχιακά επίπεδα, οι οποίοι θα παρέχουν υπηρεσίες δορυφορικής πλοήγησης μεγάλης ακρίβειας και αξιοπιστίας από το 2013. Κάθε χρήστης που θα διαθέτει δέκτη Galileo θα μπορεί να γνωρίζει με μεγάλη ακρίβεια τη θέση του σε πραγματικό χρόνο ακόμη και κάτω από τις πιο ακραίες συνθήκες. Το σύστημα πρόκειται να είναι συμβατό και διαλειτουργικό με τα τρέχοντα συστήματα GPS και GLONASS, εξασφαλίζοντας ακόμη μεγαλύτερη διαθεσιμότητα και ακρίβεια.

Το νέο ευρωπαϊκό δορυφορικό σύστημα Galileo προορίζεται να εξασφαλίσει την ανταγωνιστικότητα της Ευρώπης στο τομέα της δορυφορικής πλοήγησης φιλοδοξώντας να ξεπεράσει τα υπάρχοντα συστήματα με καλύτερες επιδόσεις, ασφάλεια και μεγαλύτερο εύρος εφαρμογών. Κυριότερα πλεονεκτήματα του Galileo θεωρούνται η αμιγώς πολιτική του χρήση και το υψηλό επίπεδο ακρίβειας και αξιοπιστίας των σημάτων, που θα παρέχει ως περισσότερο προηγμένο των άλλων συστημάτων. Γεγονός είναι πως το Galileo επωφελήθηκε της μακράς εμπειρίας και τεχνογνωσίας που η χρήση του προκατόχου του, GPS, έχει αποφέρει. Η ακρίβεια του 1 m που θα προσφέρει, σε αντίθεση με αυτή των 10 m του GPS, δεν έχει προηγούμενο και θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την δορυφορική πλοήγηση αεροπλάνων, πλοίων, τρένων, αυτοκινήτων κ.α.

Το φάσμα των εφαρμογών που ανοίγεται στο σύστημα Galileo είναι εξαιρετικά ευρύ περιλαμβάνοντας τόσο τις ήδη υπάρχουσες όσο και νέες που θα δημιουργηθούν. Αυτές θα αφορούν από τις ασφαλείς και αποτελεσματικές μεταφορές (αεροπορικές, θαλάσσιες, οδικές και σιδηροδρομικές μεταφορές, ακόμη και τις μετακινήσεις με τα πόδια) και τους διάφορους εμπορικούς τομείς (γεωργία, ασφάλεια των οικονομικών συναλλαγών μέσω Διαδικτύου, βέλτιστη μεταφορά ηλεκτρικού ρεύματος στις γραμμές ηλεκτροδότησης, τουρισμός, κτλ.) ως και τη διαχείριση των κρίσεων και των καταστάσεων έκτακτης ανάγκης. Μεγαλύτερη ανάπτυξη αναμένεται να έχει η αγορά των υπηρεσιών μεταφοράς (διαχείριση στόλου, προσδιορισμός και βελτιστοποίηση διαδρομών, προηγμένα βοηθητικά συστήματα οδήγησης κ.α.) όπως και των υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας. Η οικονομική δυνατότητα του συστήματος Galileo, οι προοπτικές για την ευρωπαϊκή βιομηχανία να κερδίσει ένα καλό μερίδιο της αναπτυσσόμενης παγκόσμιας αγοράς των υπηρεσιών πλοήγησης μέσω δορυφόρων καθώς επίσης και οι

προοπτικές για τις σχετιζόμενες με τις παραπάνω εφαρμογές βιομηχανίες εκτιμάται πως θα είναι εξαιρετικές.

1.2 Σκοπός και Στόχοι της Διπλωματικής Εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως κύριο σκοπό να παρουσιάσει το ευρωπαϊκό δορυφορικό σύστημα Galileo που αποτελεί το νέο τεχνολογικό επίτευγμα της δορυφορικής πλοήγησης. Πρόκειται για μια τεχνολογία αιχμής που ακόμη βρίσκεται υπό ανάπτυξη και ως εκ τούτου αποτελεί ενδιαφέρουσα πρόκληση ως πρωτόγνωρο αντικείμενο μελέτης. Για την επίτευξη του σκοπού αυτού τίθενται επιμέρους στόχοι που αφορούν:

- Στη διερεύνηση των βασικών χαρακτηριστικών του Galileo.
- Στη σύγκρισή του με το προϋπάρχον GPS.
- Στην αξιολόγηση του συστήματος για διαφορετικούς χρήστες.

Ως εκ τούτου περιγράφεται πλήρως το σύστημα Galileo βάσει των πιο πρόσφατων ενημερώσεων, με διεξοδικές αναφορές στα βασικά του λειτουργικά χαρακτηριστικά, στον τρόπο λειτουργίας του, στις εφαρμογές που στοχεύει να εξυπηρετήσει κ.ο.κ. Δίνεται έτσι μια πρώτη και ολοκληρωμένη άποψη για το νέο σύστημα, στοχεύοντας σε συγκρίσεις με το προϋπάρχον ευρέως διαδομένο σύστημα GPS. Οι βασικές αυτές συγκρίσεις επιχειρούν να αναδείξουν την χρησιμότητα και αναγκαιότητα ανάπτυξης του Galileo ως τελειότερου συστήματος νέας γενιάς.

1.3 Δομή της Διπλωματικής Εργασίας

Για να καλύψει τους παραπάνω στόχους που τέθηκαν η διπλωματική εργασία αναπτύσσεται σε 5 επιμέρους αλληλοσυμπληρούμενα κεφάλαια.

Στο κεφάλαιο 2 δίνεται μια πλήρης περιγραφή του νέου δορυφορικού συστήματος Galileo. Σε επιμέρους ενότητες γίνεται διεξοδική αναφορά σχετικά με την πορεία της ανάπτυξης του ευρωπαϊκού συστήματος, τον τρόπο λειτουργίας, τις παρεχόμενες υπηρεσίες και τις ποικίλες εφαρμογές του.

Στο κεφάλαιο 3 περιγράφεται ο τρόπος προσομοίωσης των κινήσεων του Galileo, δεδομένου ότι το σύστημα δεν είναι ακόμη πλήρως επιχειρησιακό. Δίνονται τα κεπλέρια

στοιχεία που ορίζουν τις τροχιές των δορυφόρων και οι μαθηματικές σχέσεις που οδηγούν στον υπολογισμό των θέσεων των δορυφόρων. Ακόμη, γίνεται διεξοδική αναφορά στον τρόπο υπολογισμού των συντελεστών εσωτερικής ακρίβειας, DOP, οι οποίοι αποτέλεσαν σημαντικούς ποιοτικούς δείκτες στην αξιολόγηση του τρόπου λειτουργίας του συστήματος που ακολουθεί στο κεφάλαιο 5.

Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζεται το λογισμικό εργαλείο προσομοίωσης Galileo System Simulation Facility (GSSF), το οποίο χρησιμοποιήθηκε για τις δοκιμές και αναλύσεις, τις οποίες η παρούσα εργασία υπαγορεύει. Περιγράφονται εμπειριστικά οι δυνατότητες προσομοίωσης και ανάλυσης που παρέχει, οι βασικές λειτουργίες και το περιβάλλον εργασίας του. Ακόμη, σε ξεχωριστή ενότητα δίνονται οι βασικότερες εντολές χρήσης του προγράμματος.

Στο κεφάλαιο 5 εξετάζεται και διερευνάται η λειτουργικότητα του δορυφορικού συστήματος Galileo. Σε ποιο βαθμό, δηλαδή, αυτό ικανοποιεί τις απαιτήσεις διαθεσιμότητας, ακρίβειας και ακεραιότητας για συνήθεις εφαρμογές, που αφορούν σε διάφορους χρήστες, ποικίλα περιβάλλοντα και συνθήκες. Για τον σκοπό αυτό παρουσιάζεται μια σειρά από διαφορετικά σενάρια χρήσης του συστήματος μέσω του λογισμικού GSSF, τα οποία επιχειρούν να προσομοιώσουν πραγματικές εφαρμογές εντοπισμού θέσης και να αναλύσουν ποιοτικά χαρακτηριστικά του συστήματος. Ακόμη, αποσκοπώντας σε συγκρίσεις που θα έχουν νόημα μεταξύ των δυο συστημάτων Galileo και GPS, εξετάζονται ορισμένα σενάρια, που αφορούν τόσο στο GPS όσο και στον συνδυασμό Galileo/GPS.

Στο κεφάλαιο 6, τέλος, συνοψίζονται όλα τα συμπεράσματα που εξήχθησαν από τα αποτελέσματα της μελέτης που αναπτύχθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια και παρουσιάζονται προτάσεις για μελλοντικές κατευθύνσεις της μελέτης σχετικές πάντα με το αντικείμενό της, που απορρέουν από την πορεία της εργασίας.

2 ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ GALILEO

2.1 Εισαγωγή

Μόλις πριν από μερικές δεκαετίες η δορυφορική ραδιοπλοήγηση αποτελούσε όραμα, που άγγιζε τα όρια της επιστημονικής φαντασίας. Στις μέρες μας, η χρήση των δορυφόρων στον εντοπισμό θέσης είναι πλέον γεγονός με ολοένα και αυξανόμενη αποδοχή, που έχει μάλιστα γενικευτεί σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών. Στο άμεσο μέλλον, η δορυφορική πλοήγηση πρόκειται να διαδοθεί ακόμη περισσότερο βρίσκοντας ποικίλες νέες εφαρμογές έως και στην καθημερινή ζωή. Στην οικογένεια των παγκόσμιων δορυφορικών συστημάτων έρχεται να προστεθεί τώρα το νέο ευρωπαϊκό δορυφορικό σύστημα Galileo, το οποίο φιλοδοξεί να ξεπεράσει τα υπάρχοντα με καλύτερες επιδόσεις, ασφάλεια και μεγαλύτερο εύρος εφαρμογών. Η ακρίβεια του ενός μέτρου που θα προσφέρει, σε αντίθεση με αυτή των 10 μέτρων του GPS, δεν έχει προηγούμενο και θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την δορυφορική πλοήγηση αεροπλάνων, πλοίων, τρένων, αυτοκινήτων κ.α.

Το παρόν κεφάλαιο αποτελεί το κύριο βιβλιογραφικό κομμάτι της παρούσας εργασίας, το οποίο περιγράφει αναλυτικά το νέο δορυφορικό σύστημα εντοπισμού θέσης Galileo. Στις επόμενες ενότητες γίνεται διεξοδική αναφορά στην πορεία της ανάπτυξης, στον τρόπο λειτουργίας, στις παρεχόμενες υπηρεσίες και στις ποικίλες εφαρμογές του συστήματος, το οποίο βρίσκεται ακόμη σε εξελικτικό στάδιο ανάπτυξης και υλοποίησης.

2.2 Πως Ξεκίνησε το Πρόγραμμα Galileo

Τα υπάρχοντα δορυφορικά συστήματα πλοήγησης GNSS (Global Navigation Satellite Systems), που αποτελούνται από το αμερικάνικο GPS (Global Positioning System) και το ρωσικό GLONASS (GLObal Navigation Satellite System), έχουν αποδείξει την χρησιμότητα των GNSS για χρήστες στη στεριά, στη θάλασσα και στον αέρα. Αυτά δημιουργήθηκαν αποκλειστικά για στρατιωτική χρήση και βρίσκονται ακόμη κάτω από εθνικό έλεγχο. Το GPS, που είναι και το πιο δημοφιλές, ανήκει στη δικαιοδοσία του αμερικανικού Υπουργείου Εθνικής Άμυνας. Στα μέσα της δεκαετίας του 1960, γνωστό τότε με την ονομασία Transit System, χρησιμοποιήθηκε ευρέως από το αμερικανικό ναυτικό. Απαιτήθηκαν αρκετές δεκαετίες, μέχρι, δηλαδή, τα μέσα της δεκαετίας του 1990, ώστε το σύστημα GPS να εξελιχθεί, να γίνει περισσότερο ακριβές και να αρχίσει να διατίθεται για ελεύθερη χρήση από το ευρύ κοινό.

Παρόλο όμως που ο αριθμός των πολιτικών χρηστών ξεπερνά σήμερα κατά πολύ τα 100 εκ., ορισμένα προβλήματα παραμένουν και, ως εκ τούτου, εντείνεται η ανάγκη ανάπτυξης ενός νέου συστήματος, το οποίο δεν είναι άλλο από το Galileo. Τα κυριότερα από τα προβλήματα που παρουσιάζει το GPS είναι τα ακόλουθα:

1. η μέτρια ακρίβεια, που μεταβάλλεται ανάλογα με τον τόπο και τον χρόνο.
2. η αμφίβολη αξιοπιστία, ιδίως στις περιοχές που βρίσκονται σε ακραία γεωγραφικά πλάτη (από όπου διέρχονται πολυάριθμοι αεροδιάδρομοι) και σε πυκνές περιοχές των αστικών κέντρων.
3. ο στρατιωτικός χαρακτήρας του GPS, που αφήνει συνεχώς ανοιχτό το ενδεχόμενο να διακοπεί απροειδοποίητα το σήμα για τους πολιτικούς χρήστες σε περίπτωση κρίσης. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η μακράς διάρκειας μειωμένη ακρίβεια στην ευρύτερη περιοχή της νότιας Ιταλίας, ως αποτέλεσμα της επιλεκτικής διαθεσιμότητας (Selective Availability) κατά τη διάρκεια της κρίσης στη Βοσνία.
4. η πλήρης έλλειψη εγγύησης και ακεραιότητας (Integrity) του συστήματος (με τις συνέπειες που μπορεί να φανταστεί κανείς σε περίπτωση αεροπορικού δυστυχήματος ή ναυαγίου ενός πετρελαιοφόρου κοντά σε ακτές).

Σε ό,τι αφορά το λιγότερο διαδεδομένο ρωσικό σύστημα GLONASS, αυτό παρουσιάζει επίσης σημαντικές αδυναμίες, παρότι ξεκίνησε με φιλόδοξους στόχους, αντίστοιχους αυτών του GPS. Κατάφερε να διατηρήσει ικανοποιητικά επίπεδα εξυπηρέτησης και διαθεσιμότητας δορυφόρων μέχρι και το 1995 περίπου, οπότε οι δορυφόροι που είχαν εκτοξευθεί μέχρι το 1991 σταμάτησαν να λειτουργούν. Το GLONASS δεν έγινε μέχρι σήμερα πλήρως επιχειρησιακό, και, ως εκ τούτου, δεν έτυχε της ευρείας αποδοχής και χρήσης, όπως το GPS. Τα τελευταία χρόνια η Ρωσία, αυξάνοντας επιλεκτικά την κάλυψη των δορυφορικών σημάτων, διατηρεί βελτιστοποιημένες τις δορυφορικές τροχιές για τον εντοπισμό θέσης στην περιοχή της Τσετσενίας, γεγονός που υποβαθμίζει την κάλυψη του υπόλοιπου κόσμου. Σύμφωνα με τελευταίες ενημερώσεις, τον περασμένο Ιανουάριο το σύστημα λειτουργούσε με 13 δορυφόρους και η διαθεσιμότητά του ήταν 66.2% για τη Ρωσία και 56% για ολόκληρη τη γη (<http://en.wikipedia.org/wiki/GLONASS>).

Οι παραπάνω αδυναμίες, που εμφανίζουν τα τρέχοντα δορυφορικά συστήματα GPS και GLONASS, τροφοδότησαν την ανάγκη για τη δημιουργία ενός πολιτικού GNSS παγκόσμιας κάλυψης. Δόθηκε έτσι ένα ισχυρό κίνητρο στην Ευρωπαϊκή Ένωση για να προχωρήσει στη δημιουργία ενός νέου παγκόσμιου δορυφορικού συστήματος προσδιορισμού θέσης, με την

ονομασία Galileo. Ονομασία που δόθηκε προς τιμήν του διάσημου Ιταλού επιστήμονα του 17^{ου} αι., Γαλιλαίου (Galileo Galilei, 1564-1642) για τα επιτεύγματά του όχι μόνο στον τομέα της αστρονομίας αλλά και της ναυσιπλοΐας.

Ύστερα από σχεδόν δυο δεκαετίες μονοπωλιακής κυριαρχίας του Αμερικάνικου GPS στον τομέα της δορυφορικής πλοήγησης, γίνεται πρώτη φορά λόγος για ένα **ευρωπαϊκό** δορυφορικό σύστημα πλοήγησης στις αρχές της δεκαετίας του 1990, οπότε και προτάθηκε ως μια πρωτοβουλία ενίσχυσης και αξιοποίησης των οικονομικών και όχι μόνο πλεονεκτημάτων, τα οποία είχαν ήδη αποδειχθεί από τη χρήση του συστήματος GPS.

Περίπου μια δεκαετία χρειάστηκε μέχρι να ωριμάσει η ιδέα και να δρομολογηθεί το πρόγραμμα Galileo, καθώς η ΕΕ δεν βρισκόταν από την αρχή σε ευνοϊκή θέση όσον αφορά στα τρέχοντα συστήματα GNSS, και λειτουργούσε περισσότερο ως απλός καταναλωτής παρά ως δυνάμει συνεργάτης. Σε ό,τι αφορούσε εφαρμογές πολιτικής χρήσης, η ακρίβεια ήταν πολύ περιορισμένη και ολόκληρο το σύστημα ήταν σε στρατιωτικά χέρια. Το οριστικό βήμα έγινε στις 26 Μαρτίου του 2002, οπότε πάρθηκε και η απόφαση από την Ευρώπη να δημιουργήσει το δικό της πολιτικό σύστημα προσδιορισμού θέσης και πλοήγησης, σηματοδοτώντας μια νέα εποχή για αυτόν τον τομέα υψηλής τεχνολογίας (Hein et al., 2006).

2.3 Τι είναι το Galileo

Το σημαντικότερο ίσως γεγονός στον τομέα των δορυφορικών συστημάτων πλοήγησης αποτελεί η προσπάθεια της Ευρωπαϊκής Ένωσης να προχωρήσει στη δημιουργία του πρώτου πολιτικού δορυφορικού συστήματος προσδιορισμού θέσης και πλοήγησης, του Galileo, που αναμένεται περί το 2013, όταν ολοκληρωθεί, να αλλάξει σημαντικά την υπάρχουσα κατάσταση και να άρει τις όποιες ‘στρατιωτικές δεσμεύσεις’ των άλλων συστημάτων. Πρόκειται για ένα νέο παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα πλοήγησης (GNNS) , που θα έχει αμιγώς πολιτικό χαρακτήρα και θα καλύπτει με μεγάλη ακρίβεια σχεδόν το 99% της γήινης επιφάνειας. Θα εγγυάται τη διαθεσιμότητα κάτω και από τις πιο ακραίες καταστάσεις παρατήρησης και θα μπορεί να στέλνει τις απαραίτητες πληροφορίες στους χρήστες του συστήματος μέσα σε λίγα δευτερόλεπτα. Προβλέπεται ότι στις περισσότερες περιοχές θα είναι πάντοτε ορατοί τουλάχιστον έξι έως οκτώ δορυφόροι (Φωτίου & Πικριδάς, 2006).

Το Galileo θα επιτρέψει στους χρήστες, που διαθέτουν δέκτη, να γνωρίζουν με μεγάλη ακρίβεια τη θέση τους σε πραγματικό χρόνο. Χρησιμοποιώντας τον ίδιο δέκτη, ο χρήστης θα είναι σε θέση να προσδιορίσει τη θέση του για οποιουδήποτε από τους δορυφόρους σε κάθε

δυνατό συνδυασμό. Παρέχοντας ως δεδομένες τις διπλές συχνότητες, το σύστημα Galileo, θα προσφέρει ακρίβεια προσδιορισμού θέσης σε πραγματικό χρόνο κάτω του ενός μέτρου, ακρίβεια η οποία είναι πρωτοφανής για ένα διαθέσιμο για πολιτική χρήση σύστημα.

Το Galileo σχεδιάστηκε έχοντας ως καίριο αίτημα αυτό της συμβατότητας και διαλειτουργικότητας με τα δυο άλλα υπάρχοντα συστήματα GPS και GLONASS, έτσι ώστε οι χρήστες να μπορούν να συνδυάζουν τα ξεχωριστά σήματα και να εντοπίζουν τη θέση τους με μεγαλύτερη ακρίβεια. Εντούτοις, η ειδοποιός διαφορά του από τα υπόλοιπα συστήματα είναι πως το πολιτικό σήμα του Galileo θα εκπέμπεται αδιάλειπτα σε κάθε περίπτωση, ακόμη και έπειτα από ενδεχόμενη τρομοκρατική ενέργεια στο έδαφος της Ε.Ε.

Τα τρία φέροντα σήματα, L1=1575.42 MHz (ίδια συχνότητα με την αντίστοιχη του GPS για λόγους συμβατότητας), E5=1207.140 MHz και E6=1278.75 MHz που θα διαμορφώνονται από μερικά σήματα πλοήγησης, θα εξυπηρετούν διάφορες κατηγορίες χρηστών, ανάλογα με τις εφαρμογές. Πρέπει να σημειωθεί ότι ο συνδυασμός του συστήματος μαζί με το σύστημα GPS αναμένεται να προσφέρει κάλυψη σε αστικές περιοχές της τάξης του 95% βελτιώνοντας σημαντικά τις δυνατότητες πλοήγησης σε περιβάλλον πόλης.

Το σύστημα Galileo θα έχει το δικό του σύστημα ελέγχου και το δικό του πλαίσιο αναφοράς GTRF (Galileo Terrestrial Reference Frame) το οποίο θα είναι μια υλοποίηση του συστήματος ITRS (International Terrestrial Reference System) της IERS (International Earth Rotation Service). Η διαφορά από το WGS84 (World Geodetic System) και τα άλλα ITRF πλαίσια (International Terrestrial Reference Frame) θα είναι της τάξης των λίγων εκατοστών του μέτρου, πρακτικά αμελητέα για τις μαζικές εφαρμογές πλοήγησης. Για τον χρόνο, θα υπάρχει το σύστημα GST (Galileo System Time), με συνεχή κλίμακα χρόνου και με διαφορά από τον χρόνο TAI (Temps Atomique International) μικρότερη από περίπου 50 nanoseconds (Φωτίου & Πικριδάς, 2006).

Το Galileo αποτελεί, στην ουσία προϊόν της τεράστιας αύξησης που σημειώθηκε στην υποδομή του παγκόσμιου συστήματος δορυφορικής πλοήγησης (GNSS). Εκτιμάται ότι ο ετήσιος ρυθμός ανάπτυξης αυτής της τεχνολογίας είναι 25% και ότι έως το 2020 οι τοποθετημένοι δέκτες θα αγγίζουν τον αστρονομικό αριθμό των 3 δισεκατομμυρίων. Οι δορυφόροι του Galileo, που θα τεθούν σε τροχιά, θα διπλασιάσουν τον αριθμό της διαθέσιμης υποδομής. Το υπάρχον σύστημα EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service) αναπτύσσεται από το 1993. Πρόκειται, στην ουσία, για το πρώτο βήμα της Ευρώπης στον τομέα της δορυφορικής πλοήγησης, το οποίο χρησιμοποιεί ένα δίκτυο από 40 επίγειους σταθμούς εγκατεστημένους σε ολόκληρη την Ευρώπη, με σκοπό την καταγραφή, την προσαρμογή και τη

βελτίωση δεδομένων, που προέρχονται από το αμερικανικό σύστημα GPS. Τα τροποποιημένα σήματα αναμεταδίδονται έπειτα μέσω των γεωστατικών δορυφόρων στα τερματικά των χρηστών, που προσδιορίζουν την θέση με ακρίβεια καλύτερη από δύο μέτρα, έναντι των 15 – 20 μέτρων, που επιτυγχάνει το GPS. Το Galileo αναπτύχθηκε με τη χρήση και τη βελτίωση αυτής της τεχνολογίας (<http://www.europarl.europa.eu>).

Το νέο ευρωπαϊκό δορυφορικό σύστημα πλοήγησης, αναμένεται να ξεπεράσει σε αποτελεσματικότητα και αξιοπιστία το αμερικανικό παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού θέσης GPS σύμφωνα τις προσδοκίες της Ευρωπαϊκής Επιτροπής. Από το 2013, το Galileo θα παρέχει υπηρεσίες εντοπισμού θέσης, ραδιοπλοήγησης και χρονικού προσδιορισμού στην παγκόσμια αγορά, οι οποίες προβλέπεται να ανοίξουν νέες προοπτικές στους διάφορους εμπορικούς τομείς και να βελτιώσουν την καθημερινή ζωή των πολιτών σε όλο τον πλανήτη. Ο Επίτροπος, αρμόδιος για θέματα μεταφορών, Ζακ Μπαρό, δήλωσε σχετικά: «Η πραγματική αξία σε σχέση με το κόστος και τις προσπάθειες που καταβλήθηκαν να τεθεί σε τροχιά το σύστημα Galileo είναι ότι παρουσιάζει μοναδική ευκαιρία για νέες εφαρμογές, οικονομική ανάπτυξη και δημιουργία θέσεων απασχόλησης στην ΕΕ. Τα οικονομικά αυτά αποτελέσματα είναι πολύ μεγαλύτερα από το κόστος του ίδιου του συστήματος». Το φάσμα των εφαρμογών που ανοίγεται στο σύστημα Galileo είναι εξαιρετικά ευρύ και θα εξαπλωθεί σε διάφορους τομείς της καθημερινής ζωής. Από τις ασφαλείς και αποτελεσματικές μεταφορές (αεροπορικές, θαλάσσιες, οδικές και σιδηροδρομικές μεταφορές, ακόμη και τις μετακινήσεις με τα πόδια) ως τη διαχείριση των κρίσεων και των καταστάσεων έκτακτης ανάγκης και τους διάφορους εμπορικούς τομείς (γεωργία, ασφάλεια των οικονομικών συναλλαγών μέσω Διαδικτύου, βέλτιστη μεταφορά ηλεκτρικού ρεύματος στις γραμμές ηλεκτροδότησης, τουρισμός, κτλ.) (www.kerdos.gr).

2.4 Γιατί το Galileo είναι χρήσιμο για την Ευρώπη

Στις μέρες μας, οι χρήστες της δορυφορικής πλοήγησης στην Ευρώπη δεν έχουν καμία εναλλακτική επιλογή από το να εντοπίσουν τη θέση τους μέσω παρατηρήσεων προς τους δορυφόρους GPS ή GLONASS. Όμως, οι στρατιωτικοί διαχειριστές και των δυο συστημάτων δεν εγγυώνται την παροχή συνεχών και αξιόπιστων υπηρεσιών. Ο εντοπισμός θέσης μέσω δορυφόρων, ως τρόπος πλοήγησης, έχει επικρατήσει ήδη κατά κράτος. Το ενδεχόμενο, να μην είναι διαθέσιμα κάποια στιγμή τα σήματα ναυσιπλοΐας, θα αποτελούσε μεγάλο πρόβλημα για όλους τους χρήστες, οι οποίοι θα έπρεπε να καταφύγουν σε παλιότερες, παραδοσιακές μεθόδους

πλοήγησης. Καθώς η χρήση της δορυφορικής πλοήγησης ολοένα και επεκτείνεται, οι επιπτώσεις μιας ενδεχόμενης αποτυχίας εκπομπής σημάτων θα είναι ακόμη μεγαλύτερες, διακινδυνεύοντας όχι μόνο την αποδοτική λειτουργία των συστημάτων μεταφοράς, αλλά, ακόμη περισσότερο, την ανθρώπινη ασφάλεια.

Η σημερινή εξάρτηση, ιδίως έναντι του GPS που δεσπόζει στην αγορά, εγείρει ζητήματα στρατηγικού χαρακτήρα, δεδομένου ότι τα χρησιμοποιούμενα συστήματα δεν τελούν υπό ευρωπαϊκό έλεγχο. Επομένως, το ζητούμενο είναι να καλυφθούν οι ευρωπαϊκές στρατηγικές ανάγκες, λ.χ. όσον αφορά στην κοινή εξωτερική πολιτική και πολιτική ασφαλείας, χωρίς κίνδυνο ούτε υπερβολικό κόστος.

Ήδη από τη δεκαετία του '90, η Ευρωπαϊκή Ένωση διέκρινε την ανάγκη να έχει η Ευρώπη το δικό της παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα εντοπισμού θέσης. Στο ίδιο πνεύμα είχαν γίνει παλιότερα, στη δεκαετία του '70, κι άλλες ευρωπαϊκές προσπάθειες, όπως το προωθητικό όχημα – πύραυλος Ariane και το Airbus. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή και η Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Διαστήματος ένωσαν τις δυνάμεις τους για να χτίσουν το Galileo, ένα ανεξάρτητο σύστημα, το οποίο θα τελεί υπό πολιτικό έλεγχο και θα εγγυάται συνεχή και απρόσκοπτη λειτουργία. Η ευρωπαϊκή ανεξαρτησία είναι ο κύριος λόγος, για τον οποίο επιχειρείται αυτό το σημαντικό βήμα. Εντούτοις, μερικοί ακόμη λόγοι είναι οι εξής:

- Εξασφαλίζοντας τη συμβατότητα και διαλειτουργικότητα του Galileo με το GPS, το πρώτο θα αποτελέσει τον ακρογωνιαίο λίθο των παγκόσμιων δορυφορικών συστημάτων πλοήγησης. Το σύστημα Galileo θα τελεί υπό πολιτικό έλεγχο και θα επιτρέπει τον προσδιορισμό θέσης με ακρίβεια για τις περισσότερες περιοχές στη γη, ακόμη και για τις πυκνοκατοικημένες πόλεις, όπου τα ψηλά κτίρια αποκόπτουν τα σήματα που εκπέμπουν οι χαμηλοί στον ορίζοντα δορυφόροι. Αυτό θα συμβαίνει επειδή ο αριθμός των διαθέσιμων δορυφόρων για κάθε θέση προβλέπεται να είναι ο διπλάσιος και παραπάνω από ό,τι συνήθως.
- Τοποθετώντας τους δορυφόρους Galileo σε τροχιές με μεγαλύτερη κλίση ως προς το ισημερινό επίπεδο απ' ό,τι το GPS, το Galileo θα επιτυγχάνει καλύτερη κάλυψη στα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη. Αυτό θα το καταστήσει ιδιαίτερα κατάλληλο για τη Βόρεια Ευρώπη, μια περιοχή, δηλαδή, η οποία δεν καλύπτεται καλά από το GPS.

- Με το Galileo η Ευρώπη θα είναι σε θέση να εκμεταλλευτεί στον μέγιστο δυνατό βαθμό τα πλεονεκτήματα και τις δυνατότητες που προσφέρει η δορυφορική πλοήγηση, βρίσκοντας ποικίλες εφαρμογές σε διάφορους τομείς και προσφέροντας νέες εμπορικές ευκαιρίες. Το δορυφορικό σύστημα θα καλύπτει χρήσεις τόσο στρατιωτικές όσο και πολιτικές. Μεταξύ άλλων, θα επιτρέψει την ενίσχυση της ασφάλειας, τη βελτίωση της ροής της κυκλοφορίας, τη μείωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης και των οχλήσεων του περιβάλλοντος, καθώς και την ενίσχυση των συστημάτων μεταφοράς (<http://www.esa.int/esaNA/galileo.html>).

Το πρόγραμμα Galileo αποτελεί πρόκληση για την Ευρώπη. Η πρόκληση αυτή μετριέται τεχνολογικά, οικονομικά, στρατηγικά και πολιτικά.

- Τεχνολογικά

Το Galileo αναμένεται να ενισχύσει την ευρωπαϊκή επιστημονική ταυτότητα και να επιτρέψει την ανάπτυξη της τεχνολογικής ανεξαρτησίας, που η Ευρώπη επιζητά να αποκτήσει στον στρατηγικό τομέα προσδιορισμού της θέσης μέσω δορυφόρων. Είναι ζωτικής σημασίας να μη μείνει απύσχα από έναν, όπως ήδη φαίνεται, από τους κυριότερους βιομηχανικούς τομείς του 21ου αιώνα. Χωρίς το πρόγραμμα Galileo, η ανάπτυξη – ακόμη και η επιβίωση – των ευρωπαϊκών βιομηχανιών νέων τεχνολογιών θα απειληθεί σοβαρά. Με το πρόγραμμα Galileo, το τεχνολογικό προβάδισμα που θα έχουν οι μετέχουσες ευρωπαϊκές βιομηχανίες θα τους δώσει σημαντικό ανταγωνιστικό πλεονέκτημα στο δεδομένο τομέα, αλλά και σε εκείνους πολυάριθμων εφαρμογών που θα προκύψουν (<http://www.europarl.europa.eu>).

- Οικονομικά

Το κόστος του προγράμματος Galileo έχει εκτιμηθεί από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή σε 3,2 δις €. Το Galileo δεν είναι ένα ακριβό πρόγραμμα. Το κόστος του είναι το ίδιο με αυτό της κατασκευής ενός ημιαστικού αυτοκινητόδρομου 150 χιλιομέτρων, ενώ εκτιμάται ότι θα δημιουργήσει περισσότερες από 100.000 θέσεις εργασίας υψηλής εξειδίκευσης στην Ευρώπη.

Από οικονομικής άποψης, το Galileo θα απορροφήσει τεράστια ποσά από την παγκόσμια αγορά υπηρεσιών πλοήγησης, τον εξοπλισμό δορυφορικής ραδιοπλοήγησης και την εξαγωγή από ευρωπαϊκές βιομηχανίες εξοπλισμών, ποσά που μέχρι το 2020 αναμένεται να ξεπεράσουν τα 300 δις ευρώ (<http://www.europarl.europa.eu>).

Σε μια ισχυρή παγκόσμια αγορά, το ζητούμενο είναι η κατάκτηση ενός δίκαιου μεριδίου της αγοράς της δορυφορικής πλοήγησης και των αντίστοιχων θέσεων εργασίας.

- Στρατηγικά και πολιτικά

Μια τεχνολογία αιχμής και μια ισχυρή οικονομία αποτελούν κατά βάση σημαντικά πλεονεκτήματα για την επιρροή και την ελκυστικότητα της Ευρώπης παγκοσμίως. Ως επί το πλείστον, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει επιτρέψει με προθυμία τη συμμετοχή τρίτων χωρών στην έρευνα, ανάπτυξη και λειτουργία του προγράμματος σε βιομηχανικό επίπεδο. Γεγονός, που οπωσδήποτε οδηγεί σε ενίσχυση των δεσμών και των κοινών συμφερόντων με αυτές, πέρα από τη δυνατότητα επιλογών που παρέχεται σε ολόκληρο τον κόσμο.

Ακόμη, το πρόγραμμα Galileo θα υπηρετήσει την κοινή ευρωπαϊκή άμυνα, που τα κράτη μέλη αποφάσισαν να θέσουν σε εφαρμογή. Η ανάληψη μιας δράσης για λόγους ασφαλείας, την οποία οι Ηνωμένες Πολιτείες δεν κρίνουν προς το συμφέρον τους, θα είναι πλέον δυνατή για την Ευρώπη, καθώς οι Ηνωμένες Πολιτείες δε θα ελέγχουν την τεχνολογία της ραδιοναυτιλίας μέσω δορυφόρου, κάτι που μέχρι σήμερα γινόταν. Μολονότι το Galileo έχει σχεδιαστεί πρωτίστως για εφαρμογές πολιτικής χρήσης, θα προσφέρει και δυνατότητες στρατιωτικής χρήσης.

Τέλος, δεν είναι αμελητέα η συνεισφορά του συστήματος στην εφαρμογή της κοινοτικής πολιτικής. Η προσφυγή σε συστήματα πληροφοριών που στηρίζονται σε σήματα εντοπισμού και συγχρονισμού μπορεί να επιτρέψει την παρακολούθηση της τήρησης ορισμένων κοινοτικών κανονιστικών διατάξεων π.χ. σε θέματα αλιείας ή προστασίας του περιβάλλοντος.

Εν κατακλείδι, το Galileo αποτελεί τον πυλώνα της αναδύομενης ευρωπαϊκής διαστημικής πολιτικής και μια πραγματική, ευρωπαϊκή, εναλλακτική λύση στο σύστημα GPS. Οι αλλαγές που θα επιφέρει το Galileo στην καθημερινότητα θα είναι πολλές και σημαντικές, αφού θα δημιουργήσει πληθώρα εφαρμογών προς όφελος όλων των Ευρωπαίων πολιτών σε τομείς όπως οι μεταφορές, οι τηλεπικοινωνίες, η γεωργία, η πυροπροστασία, οι κοινωνικές υπηρεσίες και η αντιμετώπιση καταστάσεων εκτάκτου ανάγκης.

2.5 Οργανωτικός Πυρήνας του Συστήματος

Την ευθύνη για την ανάπτυξη του συστήματος έχει η Ευρωπαϊκή Ένωση και η Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Διαστήματος (ESA: European Space Agency), ενώ την πολιτική ευθύνη έχει η Ευρωπαϊκή Κοινότητα, η οποία εκπροσωπείται από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, και είναι υπεύθυνη να κρατήσει τον πήχη των στόχων του συστήματος ψηλά. Στο θέμα του καθορισμού

και της ανάπτυξης του συστήματος την αποκλειστική ευθύνη έχει η ESA, η οποία πρέπει να εγγυάται τη σωστή λειτουργία του δορυφορικού τμήματος και των σχετικών επίγειων σταθμών. Στο τεχνικό κέντρο της ESA, ESTEC (European Space Research and Technology Centre), το οποίο εδώ και μερικά χρόνια εδρεύει στην Ολλανδία, γίνονται καθημερινά μελέτες για νέες προηγμένες τεχνολογίες που είναι απαραίτητο να εφαρμοστούν στους δορυφόρους του συστήματος. Οι τεχνολογίες αυτές περιλαμβάνουν κυρίως αντικείμενα που αφορούν την ακρίβεια τα χρονόμετρα των δορυφόρων, την εκπομπή σημάτων από τους δορυφόρους, την αποδοτική λειτουργία των κεραιών, των πηγών ενέργειας κ.α., ενώ ξεκίνησε να ασχολείται και με θέματα τεχνολογίας που αφορούν τους δέκτες για το Galileo. Επιπλέον, η Κοινή Επιχείρηση Galileo (Galileo Joint Undertaking – GJU) εξασφαλίζει την ανάπτυξη του προγράμματος και την επιλογή του εμπορικού φορέα, που θα συμβάλλει σημαντικά στην χρηματοδότηση της εγκατάστασης του Galileo και θα παρέχει υπηρεσίες Galileo από το 2013 και μετά (<http://www.insidegnss.com/galileo>) .

2.6 Στόχοι του Προγράμματος

Το πρόγραμμα Galileo είναι εμβληματικό για την ευρωπαϊκή πολιτική διαστήματος. Στόχος του είναι η δημιουργία ενός πολιτικού παγκόσμιου συστήματος προσδιορισμού θέσης, χρόνου και ταχύτητας με πλήθος εφαρμογών: στην πλοήγηση κάθε τύπου οχήματος και πεζοπόρου, στον έλεγχο των μεταφορών, συγκοινωνιών και στη διαχείριση στόλου οχημάτων, στις υπηρεσίες έρευνας και διάσωσης (SAR - Search And Rescue), στην ασφαλή μεταφορά δεδομένων και στην πιστοποίηση του περιβάλλοντος, στις επιστήμες (π.χ. στις γεωδαιτικές), στις κοινωνικές υπηρεσίες (εξυπηρέτηση ηλικιωμένων και ατόμων με αναπηρίες), στη γεωργία (ακριβής διαχείριση των μεγάλων γεωργικών εκτάσεων), στις τηλεπικοινωνίες, στην πολιτική προστασία σε κρίσιμες καταστάσεις κ.α.

Ως εκ τούτου, στοχεύει να εξασφαλίσει τη ρευστότητα, την αποτελεσματικότητα και την ασφάλεια των μεταφορών στην Ευρώπη, να ικανοποιήσει τις ανάγκες των χρηστών, να εξυπηρετήσει άλλες κοινοτικές πολιτικές, να θέσει στο επίκεντρο τις διαστημικές εφαρμογές και να βελτιώσει την ευρωπαϊκή ανταγωνιστικότητα. Κατά αυτόν τον τρόπο, πρόκειται να:

- δοθεί ώθηση στη βιομηχανία και στον τομέα των υπηρεσιών στην Ευρώπη, και να διασφαλιστεί η ανεξαρτησία της Ευρώπης σε μια πραγματικά απαραίτητη τεχνολογία.

- αναπτυχθούν εφαρμογές και υπηρεσίες που χρησιμοποιούν δορυφόρους για τον εντοπισμό θέσης, την πλοήγηση και το χρονισμό ακριβείας.
- αναδειχθεί η ικανότητα της Ευρώπης να παρέχει ασφαλή, οικονομικά και αποτελεσματικά συστήματα εντοπισμού θέσης, χρονισμού ακριβείας και πλοήγησης.
- να επεκταθεί η χρήση των τεχνολογιών πλοήγησης
- να καλυφθεί το κενό που αφήνουν τα άλλα δύο υπάρχοντα συστήματα πλοήγησης:
 - ο το ρωσικό GLONASS χρησιμοποιείται μόνο για στρατιωτικούς σκοπούς
 - ο ενώ το αμερικανικό GPS παρουσιάζει προβλήματα αξιοπιστίας, ακρίβειας και ασφάλειας καθώς δίνει προτεραιότητα στη χρήση για στρατιωτικούς σκοπούς.

Σύμφωνα με τους υποστηρικτές του Galileo, η διαχείριση της υποδομής των ευρωπαϊκών μεταφορών – σιδηροδρομικά, οδικά και θαλάσσια δίκτυα – μπορεί να καταστεί αποτελεσματικότερη με τη χρήση της δορυφορικής τεχνολογίας. Επιπλέον, η τεχνολογία αυτή έχει εφαρμογή στους τομείς των τηλεπικοινωνιών και της πολιτικής προστασίας, πράγμα που μπορεί με τη σειρά του να οδηγήσει σε διάφορες εμπορικές χρήσεις της, οι οποίες ενδεχομένως θα αποφέρουν τα απαραίτητα έσοδα για τη διατήρηση του Galileo. Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, η οποία είναι αρμόδια για τον συντονισμό του προγράμματος, τα σχετικά οφέλη του Galileo συνίστανται στο ότι θα παράσχει πραγματικές δημόσιες υπηρεσίες, θα είναι ειδικά σχεδιασμένο για πολιτική χρήση και θα εξασφαλίζει μεγαλύτερη ακρίβεια, χάρη σε μια πλειάδα δορυφόρων και επίγειων δεκτών.

2.7 Χρονοδιάγραμμα Υλοποίησης Προγράμματος Galileo

Το πρόγραμμα Galileo υλοποιείται σε τέσσερις φάσεις:

1) Καθορισμός του συστήματος (1999 – 2003)

Στη φάση αυτή, η οποία έχει ολοκληρωθεί, πραγματοποιήθηκε ο προσδιορισμός

- των απαιτήσεων του συστήματος, και
- της εφικτότητας του προγράμματος.

2) Ανάπτυξη και επικύρωση του συστήματος (2003 – 2009)

Αυτή η φάση στοχεύει στην επικύρωση τροχιάς του συστήματος χρησιμοποιώντας έναν μερικό σχηματισμό τεσσάρων δορυφόρων (που είναι ο ελάχιστος αριθμός, για τον οποίο

εγγύαται η παροχή ακρίβειας στον προσδιορισμού θέσης και χρόνου για τις περιοχές δοκιμής) σε συνδυασμό με διάφορους σχετικούς επίγειους σταθμούς.

Μέρος της φάσης επικύρωσης τροχιάς του προγράμματος αποτελούν οι δύο δοκιμαστικοί δορυφόροι του ευρωπαϊκού συστήματος πλοήγησης Galileo, ο GIOVE-A και ο GIOVE-B (Galileo In-Orbit Validation Element), οι οποίοι έχουν ως πρώτη και βασική αποστολή τους να κατοχυρώσουν τη χρήση συγκεκριμένων συχνοτήτων από την International Telecommunications Union (ITU), και να ελέγξουν τον ζωτικής σημασίας τεχνολογικό εξοπλισμό, όπως είναι τα ατομικά ρολόγια. Πρώτος εκτοξεύθηκε ο GIOVE-A από το κοσμοδρόμιο Baikonur του Καζακστάν με το Ρωσικό όχημα-πύραυλο Soyuz και τέθηκε επιτυχώς σε τροχιά στα 23.258 km πάνω από τη γη, στις 28 Δεκεμβρίου 2005 (βλ. Εικ. 2.1). Τα πρώτα σήματα Galileo εκπέμφθηκαν επιτυχώς στις 12 Ιανουαρίου 2006. Ο GIOVE-A φέρει κάποιες νέες τεχνολογίες Galileo, όπως 2 μικρά χρονόμετρα ρουβιδίου και χρήση δυο καναλιών εκπομπής σήματος, που θα χρησιμοποιούν την L συχνότητα. Ο δορυφόρος παραμένει ακόμη σε τροχιά, παρότι έχει φθάσει στο τέλος της διετούς ζωής σχεδιασμού του (<http://www.giove.esa.int>).



Εικόνα 2.1 Ο δορυφόρος GIOVE-A σε τροχιά

(Πηγή: http://www.esa.int/SPECIALS/GIOVE-B_launch/SEM5FB3XQEF_1.html#subhead2)

Στις 27 Απριλίου του 2008, τέθηκε σε τροχιά και ο δεύτερος δοκιμαστικός δορυφόρος, GIOVE-B (βλ. Εικ. 2.2), ο οποίος φέρει το πιο ακριβές ατομικό χρονόμετρο (hydrogen maser clock) που έχει βρεθεί ποτέ στο διάστημα, με 10 φορές μεγαλύτερη χρονική ακρίβεια σε σχέση με αυτή που παρέχει το ατομικό ρολόι του GPS. Ύστερα από την επιτυχή εκτόξευσή του από το κοσμοδρόμιο Baikonur του Καζακστάν, εξέπεμψε σήμα στις 7 Μαΐου 2008. Αυτό αποτελεί ένα ιστορικό βήμα για τον τομέα της δορυφορικής πλοήγησης, δεδομένου ότι ο GIOVE-B, τώρα, για πρώτη φορά, εκπέμπει το κοινό σήμα Galileo – GPS χρησιμοποιώντας ένα συγκεκριμένο

βελτιστοποιημένο κύμα φορέα, MBOC (Multiplexed Binary Offset Carrier), σύμφωνα με τη συμφωνία που έγινε μεταξύ των Η.Π.Α. και της Ε.Ε. τον Ιούλιο του 2007 για τα αντίστοιχα συστήματά τους, το μελλοντικό GPS III και το Galileo (<http://www.esa.int/esaNA/galileo.html>).



Εικόνα 2.2 Ο GIOVE-B υπό δοκιμή σε διαστημικές εγκαταστάσεις

(Πηγή: http://www.esa.int/esaCP/SEMQGHK26DF_index_0.html)

Αυτά τα σήματα του GIOVE-B, θα παρέχουν την υψηλότερη ακρίβεια σε περιβάλλοντα, όπου το σφάλμα πολλαπλών διαδρομών (multipath) και η παρεμβολή επιδρούν, καθώς και καλύτερη διείσδυση σε κλειστούς χώρους. Το γεγονός αυτό καταδεικνύει πως τα συστήματα Galileo και GPS είναι πράγματι συμβατά και διαλειτουργικά, και ότι οι παρεχόμενες υπηρεσίες προσδιορισμού θέσης θα ωφελήσουν όλους τους χρήστες παγκοσμίως.

Πέρα από το GIOVE-B, το επόμενο βήμα είναι η εκτόξευση των τεσσάρων λειτουργικών δορυφόρων IOV (In – Orbit Validation), οι οποίοι θα είναι μέρος του συνόλου των 30, με σκοπό την ολοκλήρωση των ελέγχων και την επικύρωση της διαστημικής και επίγειας υποδομής του Galileo. Οι τέσσερις αυτοί δορυφόροι αναμένεται να εκτοξευθούν το 2009. Έχοντας έναν μερικό δορυφορικό σχηματισμό και ένα επίσης μερικό επίγειο σύστημα ελέγχου, θα δοθεί μια πραγματική εικόνα της μεταφοράς από τη θεωρία στην πράξη για την υποδομή του Galileo. Μόλις ολοκληρωθεί αυτή η φάση επικύρωσης τροχιάς (IOV), θα εκτοξευθούν και οι υπόλοιποι 26 δορυφόροι για να επιτευχθεί η πλήρης επιχειρησιακή τους ικανότητα (FOC – Full Operational Capability) και να μπει πλέον το πρόγραμμα στη φάση της πλήρους εφαρμογής του (<http://www.esa.int>).

3) Εγκατάσταση του συστήματος (2009 – 2013)

Περιλαμβάνει:

- την κατασκευή
- την εκτόξευση 26 δορυφόρων
- και την πλήρη συγκρότηση του επίγειου τμήματος

4) Εμπορική εκμετάλλευση (από το 2013)

Περιλαμβάνει:

- την εμπορική εκμετάλλευση του συστήματος
- την ανανέωση των δορυφόρων
- τη λειτουργία των Κέντρων και
- τη συντήρηση.

2.8 Τα Μέρη του Συστήματος

Το σύστημα Galileo αποτελείται από τρία επιμέρους τμήματα, όπως ακριβώς και το GPS. Αυτά είναι:

- 1) Το δορυφορικό τμήμα
- 2) Το τμήμα ελέγχου
- 3) Το τμήμα χρηστών

2.8.1 Το δορυφορικό τμήμα

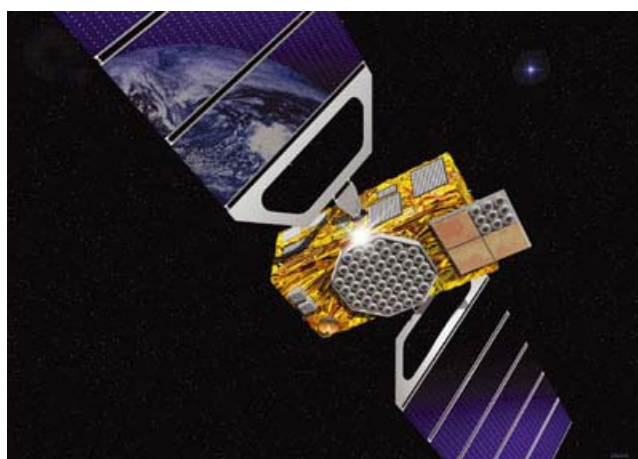
Το ευρωπαϊκό σύστημα Galileo αποτελείται συνολικά από 30 δορυφόρους (27 + 3 εφεδρικούς) τοποθετημένους σε 3 τροχιακά επίπεδα σε μέση γήινη τροχιά (MEO – Medium Earth Orbit) με γωνία κλίσης 56° και περίοδο περιστροφής 14 ώρες και 4 λεπτά (βλ. Εικ. 2.3). Κάθε τροχιακό επίπεδο περιλαμβάνει 9 δορυφόρους σε λειτουργία, ίσα κατανεμημένους ανά 40° , συν έναν εφεδρικό. Ο εφεδρικός δορυφόρος εξασφαλίζει ότι σε περίπτωση βλάβης ο δορυφορικός σχηματισμός μπορεί να επισκευαστεί γρήγορα με άμεση κίνηση του εφεδρικού για την αντικατάσταση του προβληματικού δορυφόρου. Αυτό είναι θέμα ημερών, σε αντίθεση με μια νέα εκτόξευση δορυφόρου, που θα μπορούσε να χρειαστεί πολλούς μήνες. Επιπλέον, η διαθεσιμότητα των τριών ενεργών εφεδρικών δορυφόρων, θα εξασφαλίσει το ότι η απώλεια ενός δορυφόρου δεν θα έχει καμία ευδιάκριτη επίδραση στο χρήστη.



Εικόνα 2.3 Δορυφορικός σχηματισμός Galileo

(Πηγή: http://www.esa.int/esaNA/ESAazz6708D_galileo_1.html)

Το ύψος της τροχιάς των δορυφόρων (βλ. Εικ. 2.4), που θα είναι 23222 km, συνεπάγεται την επανάληψη του δορυφορικού σχηματισμού κάθε περίπου 10 ημέρες, κατά την διάρκεια των οποίων κάθε δορυφόρος θα ολοκληρώνει 17 περιστροφές. Κάθε δορυφόρος θα είναι εφοδιασμένος με δυο πολύ μεγάλης ακρίβειας ατομικά ρολόγια μέτρησης του χρόνου, που θα επιτρέπουν τον εντοπισμό θέσης κάθε κινούμενου ή ακίνητου αντικειμένου με ακρίβεια μέτρου. Η μέση διάρκεια ζωής των δορυφόρων του Galileo θα είναι περίπου 12 έτη, ενώ οι συσσωρευτές τους θα παρέχουν ενέργεια περίπου 1500 W.



Εικόνα 2.4 Δορυφόρος Galileo

(Πηγή: http://www.esa.int/esaNA/SEM1MURMD6E_galileo_1.html)

Στον πίνακα 2.5 συγκεντρώνονται τα κυριότερα λειτουργικά χαρακτηριστικά του συστήματος Galileo αλλά και των GPS και GLONASS.

	GPS	GLONASS	GALILEO
Αριθμός Δορυφόρων	21+3 28 (Δεκ. 2005)	21+3 13 (Δεκ. 2005)	27+3
Αριθμός Τροχιακών Επιπέδων	6 ανά 60°	3 ανά 120°	3 ανά 40°
Χρόνος Ζωής Δορυφόρων	GPSIIR: 10 yrs	GLONASS: 3 yrs GLONASS-M: 7 yrs GLONASS-K: 10-12 yrs	>12 yrs
Βάρος Δορυφόρων	GPSIIR: ~2000 kg	GLONASS/ GLONASS-M: 1415 kg GLONASS-K: 850 kg	~ 700 kg
Συχνότητες	L1, L2, L5 (=E5a)	L1,L2	L1, E6, E5a (=E5), E5b
Ύψος Τροχιάς	~20200 km (LOW)	~19100 km	~ 23200 km (MEO)
Γωνία Κλίσης	55°	64,8°	56°
Εμπορική Χρήση	OXI	OXI	NAI
Εκπομπή Στοιχείων Ακεραιότητας	OXI (GPSIII: NAI)	OXI (GLONASS-K: NAI)	NAI

Πίνακας 2.5 Λειτουργικά χαρακτηριστικά δορυφορικών συστημάτων

(Πηγή: Hein & Rodriguez, 2006)

Οι αρμόδιοι σχεδιαστές και μηχανικοί της ESA μελέτησαν διεξοδικά τον δορυφορικό σχηματισμό του Galileo με στόχο την βελτιστοποίησή του. Οι τροχιές των δορυφόρων, η κλίση και ο αριθμός τους είναι τέτοιοι, ώστε να καλύπτεται σε μόνιμη βάση το σύνολο της υδρογείου. Με 30 δορυφόρους σε ένα τέτοιο ύψος, είναι πολύ μεγάλη η πιθανότητα (περισσότερο από 90%) για οποιονδήποτε δέκτη οπουδήποτε στον κόσμο να βρίσκεται πάντα στη θέα τουλάχιστον τεσσάρων δορυφόρων και ως εκ τούτου να είναι σε θέση να προσδιορίσει τη θέση του.

Στην πράξη, λόγω της συγκεκριμένης κλίσης οι δορυφόροι MEO θα επιτυγχάνουν καλύτερη κάλυψη στα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη μέχρι και πέρα από τις 75° βόρεια (Βόρειο Ακρωτήριο) απ' ότι στον ισημερινό. Η κλίση των τροχιών επιλέχτηκε έτσι ώστε να εξασφαλίσει καλή κάλυψη των πολικών γεωγραφικών πλατών, τα οποία δεν εξυπηρετούνται επαρκώς από το αμερικάνικο σύστημα GPS. Αυτή η δυνατότητα του συστήματος Galileo εξετάζεται με σχετικές δοκιμές στο κεφάλαιο 5 (σελ. 102). Από τις περισσότερες θέσεις, έξι έως οκτώ δορυφόροι θα είναι πάντα ορατοί, επιτρέποντας τον εντοπισμό θέσης με πολύ καλή ακρίβεια. Ακόμη και για τα πυκνοκατοικημένα αστικά κέντρα με τα ψηλά κτίρια και τα πολλά εμπόδια ο δορυφορικός

σχηματισμός έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να παρέχει τη μέγιστη δυνατή διαθεσιμότητα (<http://www.esa.int>).

Λόγω προβλημάτων που προέκυψαν κατά τη διάρκεια της δεύτερης φάσης του προγράμματος Galileo, έχει καθυστερήσει η εγκατάσταση του δορυφορικού σχηματισμού, που αναμένεται πλέον να ολοκληρωθεί μέχρι το 2013.

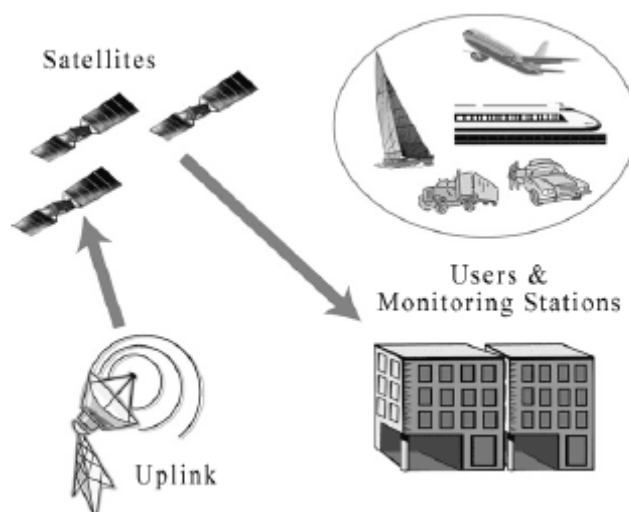
2.8.2 Το τμήμα ελέγχου

Ένα παγκόσμιο δίκτυο επίγειων σταθμών, αποτελούμενο από σταθμούς παρακολούθησης, κέντρα ελέγχου και σταθμούς τηλεπικοινωνιών up-link θα υποστηρίζει τη λειτουργία του δορυφορικού τμήματος. Είκοσι επίγειοι σταθμοί παρακολούθησης θα ελέγχουν αδιάλειπτα τους δορυφόρους Galileo και θα διαχειρίζονται με συνέπεια τα εκπεμπόμενα από αυτούς μηνύματα ναυσιπλοΐας. Στη συνέχεια, οι σταθμοί αυτοί (GSSs – Galileo Sensor Stations) θα μεταβιβάζουν τα δεδομένα των δορυφόρων στα δυο κέντρα ελέγχου (GCCs – Galileo Control Centers), για περαιτέρω επεξεργασία. Εκεί, με χρήση προηγμένου λογισμικού θα υπολογίζονται τα στοιχεία των δορυφορικών τροχιών και άλλες χρήσιμες ποσότητες, όπως οι παράμετροι διόρθωσης του δορυφορικού χρόνου. Τα δεδομένα αυτά θα μεταβιβάζονται στους δορυφόρους κάθε 2 ώρες μέσω των κεραιών τηλεπικοινωνίας και θα αναμεταδίδονται στη συνέχεια από τους δορυφόρους στο τμήμα των χρηστών, δηλαδή στους δέκτες, οι οποίοι θα τα χρησιμοποιούν στους αλγόριθμους υπολογισμού της θέσης τους. Η τόσο συχνή ενημέρωση μηνύματος ναυσιπλοΐας θα συμβάλλει στην επίτευξη υψηλής ακρίβειας εντοπισμού θέσης, γεγονός που αποτελεί σημαντική απαίτηση του συστήματος Galileo. Τα κέντρα ελέγχου θα υπολογίζουν, επίσης, τα στοιχεία ακεραιότητας, τα οποία θα μεταβιβάζονται στους δορυφόρους ακόμη πιο συχνά από εκείνα των τροχιών και του χρόνου. Σε περίπτωση συναγερμού, π.χ. λόγω δυσλειτουργίας των σημάτων, το σύστημα θα είναι σε θέση να ειδοποιεί τους χρήστες με καθυστέρηση μόλις 6 – 10 δευτερολέπτων.

Η ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ των σταθμών παρακολούθησης και των δορυφόρων θα πραγματοποιείται μέσω τηλεπικοινωνιακών σταθμών up-link (ULS). Για τον σκοπό αυτό θα εγκατασταθούν σε όλη την έκταση της υδρογείου 15 τέτοιοι σταθμοί, εκ των οποίων οι 5 θα μεταδίδουν στην περιοχή των κυμάτων S, και οι 10 στην C, αντίστοιχα (Enderle, 2003).

Τα δεδομένα για την ακεραιότητα του συστήματος, που θα προσφέρουν τα κέντρα ελέγχου, θα είναι διαθέσιμα σε όλους τους χρήστες παγκοσμίως, καθώς αυτά βασίζονται σε μετρήσεις του δικτύου των σταθμών παρακολούθησης, το οποίο καλύπτει σφαιρικά όλη τη γη.

Εντούτοις, θα δίνεται η δυνατότητα στους περιφερειακούς φορείς παροχής υπηρεσιών να αναπτύξουν τα δίκτυά τους δίκτυα σταθμών παρακολούθησης, για να υπολογίζουν την ακεραιότητα των σημάτων Galileo για την περιοχή τους. Αυτά τα ‘περιφερειακά’ στοιχεία ακεραιότητας θα μπορούν να τεθούν στην διάθεση των χρηστών μέσω των εξουσιοδοτημένων καναλιών ακεραιότητας uplink, που παρέχονται στους δορυφόρους Galileo. Εναλλακτικά, θα μπορούν επίσης να σταλούν στα κέντρα ελέγχου για να ενσωματωθούν με τα υπόλοιπα στοιχεία ακεραιότητας. Στην εικόνα 2.6 διακρίνονται σχηματικά τα όσα περιγράφηκαν παραπάνω.



Εικόνα 2.6 Ροή πληροφορίας μεταξύ δορυφόρων και σταθμών παρακολούθησης

(Πηγή: http://paul.luminos.nl/download/document/satellite_navigation.pdf)

Ένα από τα εμπόδια που εμφανίστηκαν κατά την εφαρμογή του Galileo είναι το ποια χώρα – μέλος θα κέρδιζε την έδρα του συστήματος. Έπειτα από διαπραγματεύσεις τριών περίπου μηνών συμφωνήθηκε, στο τέλος του 2005, η έδρα του Galileo να είναι στη Γαλλία και τα δυο κέντρα ελέγχου, που αποτελούν τον πυρήνα του τμήματος ελέγχου, να εγκατασταθούν στη Γερμανία και την Ιταλία (<http://www.dlr.de/en/desktopdefault.aspx>).

2.8.3 Το τμήμα χρηστών

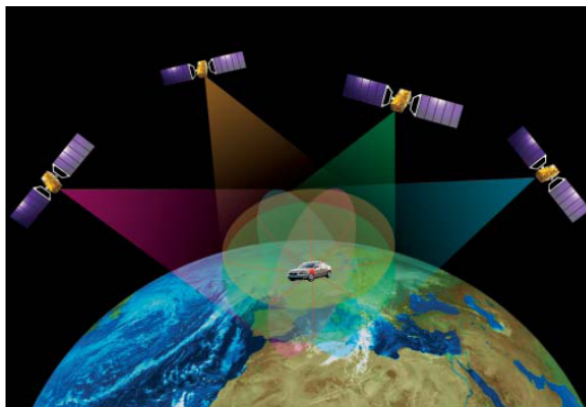
Το Galileo είναι ένα πρόγραμμα, που βρίσκεται σε εξέλιξη. Ως εκ τούτου και όντας στη φάση ανάπτυξης των δορυφόρων, δεν υπάρχει ακόμη πλήρης εικόνα για τα στοιχεία των δεκτών και των συσκευών χρήσης του συστήματος. Είναι όμως γεγονός, πως το σύστημα Galileo πρόκειται να υιοθετήσει πολλές νέες μεθόδους και τεχνολογίες, προκειμένου να προσφέρει την καλύτερη δυνατή απόδοση και αξιοπιστία. Προς αυτήν την κατεύθυνση, έχουν ξεκινήσει και

βρίσκονται υπό εξέλιξη τρεις δραστηριότητες ανάπτυξης δεκτών, που απευθύνονται στις διαφορετικές ανάγκες, οι οποίες προκύπτουν κατά τη διαδικασία ανάπτυξης του συστήματος. Αυτές καλύπτουν τον τομέα των σημάτων και των υπηρεσιών που θα παρέχει το σύστημα αναπτύσσοντας τα εξής:

- Δοκιμαστικό τμήμα δεκτών, για την επικύρωση του συστήματος και την αναμετάδοση των σημάτων
- Δέκτες συμβατούς με τα σήματα που εκπέμπονται από τους πρώτους πειραματικούς δορυφόρους GIOVE
- Υψηλής απόδοσης και αξιοπιστίας δέκτες για τον εξοπλισμό των σταθμών παρακολούθησης του τμήματος ελέγχου.

2.9 Δορυφορικός Προσδιορισμός Θέσης με το Σύστημα Galileo

Ο προσδιορισμός της θέσης ενός δέκτη με το σύστημα Galileo δεν διαφέρει σε τίποτε από εκείνον με το GPS. Οι δορυφόροι Galileo διαθέτουν ένα ατομικό χρονόμετρο, που μετρά το χρόνο με εξαιρετική ακρίβεια. Εκπέμποντας εξατομικευμένα σήματα δείχνουν τον ακριβή χρόνο που το σήμα αφήνει το δορυφόρο. Ο επίγειος δέκτης, ο οποίος μπορεί να είναι ενσωματωμένος π.χ. σε ένα κινητό τηλέφωνο, έχει αποτυπωμένες στη μνήμη του τις ακριβείς συντεταγμένες των τροχιών όλων των δορυφόρων. Διαβάζοντας το εισερχόμενο σήμα, αναγνωρίζει τον δορυφόρο-πομπό, προσδιορίζει το χρόνο που χρειάστηκε το σήμα για να φτάσει μέχρι αυτόν και, κατά συνέπεια, υπολογίζει την απόσταση που τον χωρίζει από το δορυφόρο. Μόλις ένας επίγειος δέκτης λάβει ταυτόχρονα τα σήματα τουλάχιστον τεσσάρων δορυφόρων, είναι σε θέση να υπολογίσει την ακριβή θέση του (βλ. Εικ. 2.7).



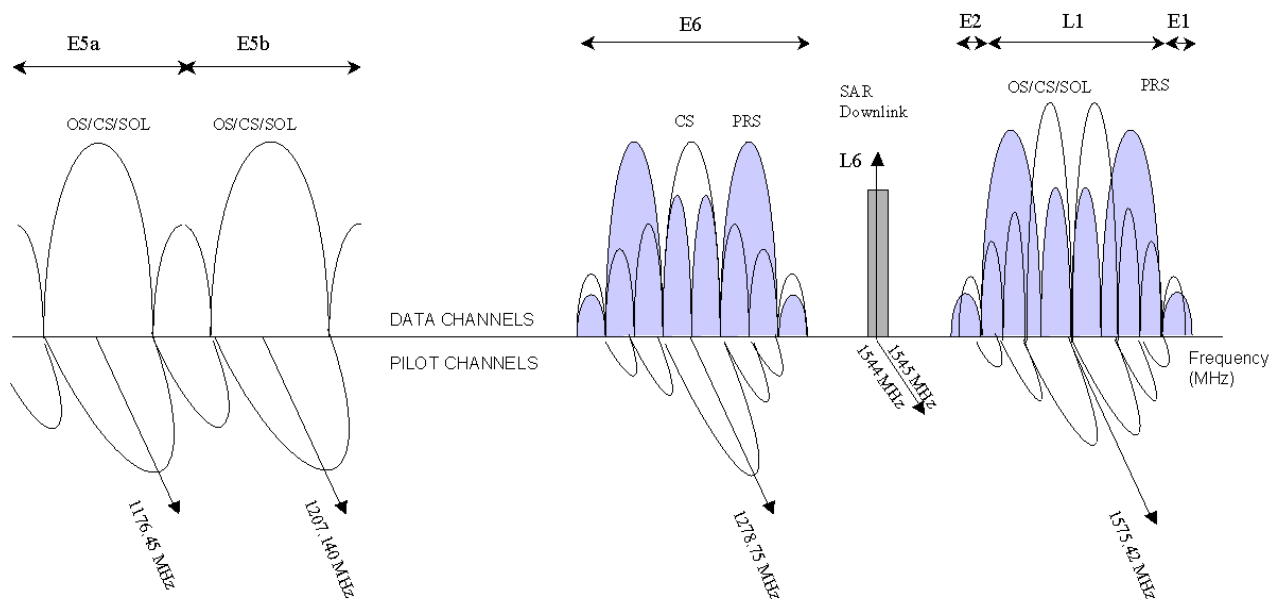
Εικόνα 2.7 Απόλυτος προσδιορισμός θέσης μέσω ταυτόχρονων παρατηρήσεων προς 4 δορυφόρους
(Πηγή: <http://www.esa.int/esapub/br/br251/br251.pdf>)

Η ακρίβεια προσδιορισμού της θέσης εξαρτάται από την ακρίβεια της μέτρησης του χρόνου. Μόνο τα ατομικά χρονόμετρα παρέχουν την απαιτούμενη ακρίβεια, της τάξης των νανοδευτερολέπτων. Με τέτοια χρονόμετρα ακριβείας είναι εφοδιασμένοι οι δορυφόροι του Galileo. Για αυτό και το σύστημα θα επιτυγχάνει απόλυτο εντοπισμό θέσης ακρίβειας της τάξης περίπου του 1 m, σε αντίθεση με αυτή των 10 μέτρων του GPS.

2.10 Σήματα Galileo

Οι δορυφόροι του Galileo σχεδιάστηκαν να εκπέμπουν σήματα σε ένα ευρύτερο φάσμα συχνοτήτων από ότι οι δορυφόροι του GPS, όχι μόνο με στόχο να βελτιωθεί η λήψη τους, αλλά κυρίως για να μπορέσουν να υποστηρίξουν τις πολυάριθμες υπηρεσίες που το σύστημα Galileo θα παρέχει. Οι υπηρεσίες αυτές αναφέρονται διεξοδικά στην ενότητα 2.13.

Το σύστημα Galileo θα εκπέμπει 10 διαφορετικά σήματα πλοήγησης (βλ. Σχ. 2.8).

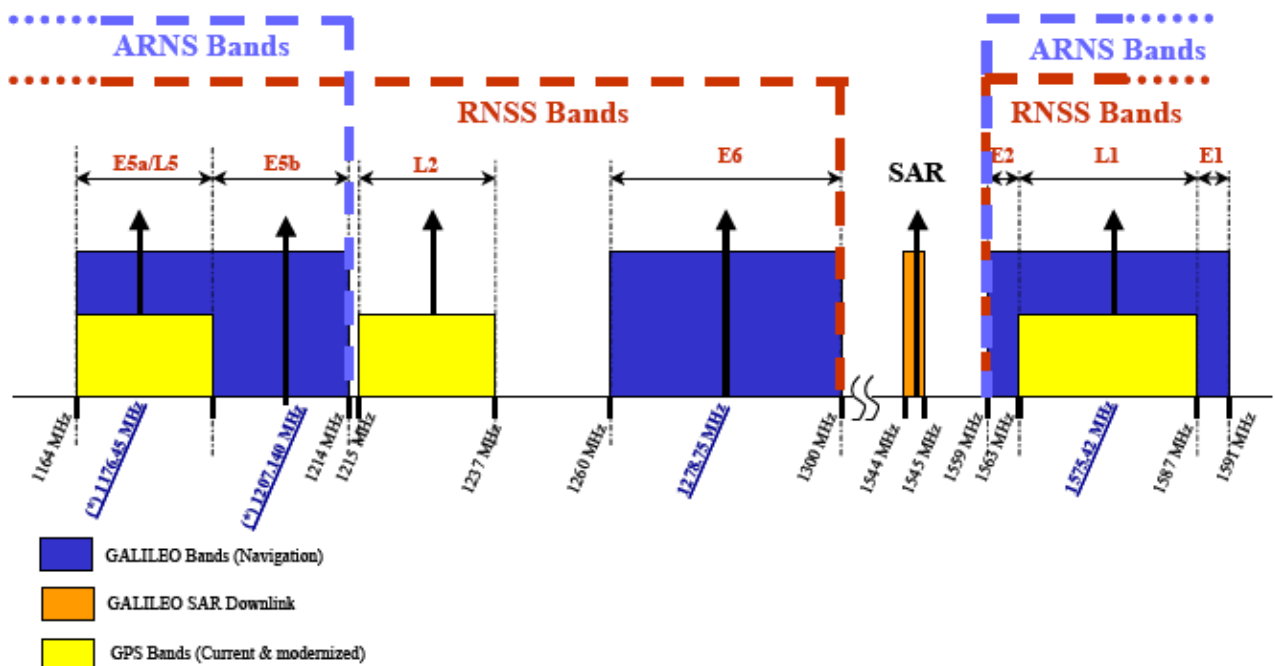


Σχήμα 2.8 Τα 10 διαφορετικά σήματα πλοήγησης

(Πηγή: http://www.esa.int/esaNA/SEM86CSMD6E_galileo_1.html)

Γίνεται διάκριση μεταξύ των σημάτων, που περιέχουν δεδομένα πλοήγησης (data channels) και εκείνων, που δεν περιέχουν καθόλου (pilot channels). Αυτό επισημαίνεται στο παραπάνω σχήμα, σχεδιάζοντας τα κανάλια των δεδομένων και τα πειραματικά κανάλια σε επίπεδα κάθετα μεταξύ τους. Έτσι υποδηλώνεται η διαφορά φάσης 90° που έχουν μεταξύ τους τα σήματα των καναλιών αυτών, πράγμα που επιτρέπει με ευκολία τον διαχωρισμό τους κατά την λήψη από τους δέκτες.

Από το σύνολο των δέκα σημάτων ναυσιπλοΐας, έξι θα εξυπηρετούν τις υπηρεσίες ανοικτής πρόσβασης (OS) και ασφάλειας ζωής (SoL), δύο θα εξυπηρετούν τις εμπορικές υπηρεσίες (CS) και τα άλλα δύο θα υποστηρίζουν τις δημόσια ελεγχόμενες υπηρεσίες (PRS). Τα σήματα αυτά θα μεταδίδονται από ένα αρκετά ευρύ φάσμα τεσσάρων ζωνών συχνοτήτων, που θα βρίσκεται μεταξύ των 1.1 και 1.6 GHz. Αυτές οι τέσσερις ζώνες συχνοτήτων είναι οι E5a, E5b, E6 και E2-L1-E1, οι οποίες διακρίνονται με μπλε χρώμα στο σχήμα που ακολουθεί (Σχ. 2.9).



Σχήμα 2.9 Οι 4 ζώνες συχνοτήτων του Galileo

(Πηγή: Galileo Joint Undertaking, (2005))

Οι ζώνες συχνοτήτων έχουν επιλεγθεί μέσα από το διατιθέμενο φάσμα των υπηρεσιών ραδιοπλοήγησης δορυφόρων (Radio Navigation Satellite Services – RNSS) και, εκτός από αυτό, οι συχνότητες E5a, E5b και L1 συμπεριλαμβάνονται και στο φάσμα των υπηρεσιών αεροναυτικής ραδιοπλοήγησης (Aeronautical Radio Navigation Services – ARNS), που χρησιμοποιείται από χρήστες πολιτικής αεροπορίας, και επιτρέπει της ασφάλεια κρίσιμων εφαρμογών.

Στον πίνακα 2.10 συγκεντρώνονται οι φέρουσες συχνότητες για κάθε μια από τις ζώνες συχνοτήτων.

Frequency Band	Carrier Frequency
E5a/L5 Band	1176.450 MHz
E5b band	1207.140 MHz
E5 band (E5a+E5b)	1191.795 MHz
E6 band	1278.75 MHz
E2-L1-E1 band	1575.42 MHz

Πίνακας 2.10 Φέρουσες συχνότητες
(Πηγή: Galileo Joint Undertaking, (2005))

Κάθε δορυφόρος Galileo μεταδίδει έξι σήματα πλοήγησης, τα οποία ονομάζονται L1F, L1P, E6C, E6P, E5A, και E5B:

- Σήμα L1F: είναι ένα σήμα ανοικτής πρόσβασης, που εκπέμπεται στην ζώνη L1, και περιλαμβάνει ένα κανάλι δεδομένων και ένα πειραματικό κανάλι (οι L1-B και L1-C συνιστώσες του σήματος αντίστοιχα). Έχει μη κρυπτογραφημένους κώδικες μετάδοσης και μηνύματα πλοήγησης, τα οποία είναι προσιτά σε όλους τους χρήστες. Το L1F σήμα πλοήγησης αντιστοιχεί σε έναν I/Nav (Integrity Navigation) τύπο μηνυμάτων και περιέχει μηνύματα ακεραιότητας, καθώς επίσης και κρυπτογραφημένα εμπορικά στοιχεία.
- Σήμα L1P: είναι ένα σήμα περιορισμένης πρόσβασης, που εκπέμπεται στο κανάλι L1-A. Οι κώδικες μετάδοσης και τα μηνύματα πλοήγησης είναι κρυπτογραφημένα με χρήση ενός κυβερνητικού αλγόριθμου κρυπτογράφησης. Το L1P σήμα πλοήγησης αντιστοιχεί σε έναν G/Nav (Governmental Access Navigation) τύπο μηνυμάτων.
- Σήμα E6C: είναι ένα σήμα εμπορικής πρόσβασης, που εκπέμπεται στη ζώνη E6, και περιλαμβάνει ένα κανάλι δεδομένων και ένα πειραματικό κανάλι (οι E6-B και E6-C συνιστώσες του σήματος αντίστοιχα). Οι κώδικες μετάδοσης και τα μηνύματα πλοήγησης είναι κρυπτογραφημένα με χρήση ενός εμπορικού αλγόριθμου. Το E6C σήμα πλοήγησης αντιστοιχεί στον C/ Nav (Commercial Navigation) τύπο μηνυμάτων.
- Σήμα E6P: είναι ένα σήμα περιορισμένης πρόσβασης, που εκπέμπεται στο κανάλι σημάτων E6-A. Οι κώδικες μετάδοσης και τα μηνύματα πλοήγησης είναι κρυπτογραφημένα με χρήση ενός κυβερνητικού αλγόριθμου κρυπτογράφησης. Το E6P

σήμα πλοήγησης αντιστοιχεί σε έναν G/Nav (Governmental Access Navigation) τύπο μηνυμάτων.

- Σήμα E5a: είναι ένα σήμα ανοικτής πρόσβασης, που εκπέμπεται στη E5 ζώνη και περιλαμβάνει ένα κανάλι δεδομένων και ένα πειραματικό κανάλι (οι E5a-I και E5a-Q συνιστώσες του σήματος αντίστοιχα). Έχει μη κρυπτογραφημένους κώδικες μετάδοσης και μηνύματα πλοήγησης, τα οποία είναι προσιτά σε όλους τους χρήστες. Το E5a σήμα πλοήγησης αντιστοιχεί σε έναν F/Nav (Freely Accessible Navigation) τύπο μηνυμάτων και εκπέμπει τα βασικά δεδομένα για να μπορεί να υποστηρίζει τις λειτουργίες ναυσιπλοΐας και συγχρονισμού.
- Σήμα E5b: είναι ένα σήμα ανοικτής πρόσβασης, που εκπέμπεται στην E5 ζώνη και περιλαμβάνει ένα κανάλι δεδομένων και ένα πειραματικό κανάλι (οι E5b-I και E5b-Q συνιστώσες του σήματος αντίστοιχα). Έχει μη κρυπτογραφημένους κώδικες μετάδοσης και μηνύματα πλοήγησης, τα οποία είναι προσιτά σε όλους τους χρήστες. Το E5b σήμα πλοήγησης αντιστοιχεί σε έναν I/Nav (Integrity Navigation) τύπο μηνυμάτων και περιέχει μηνύματα ακεραιότητας καθώς επίσης και κρυπτογραφημένα εμπορικά στοιχεία.

Τα σήματα E5a και E5b είναι διαμορφωμένα πάνω σε έναν ενιαίο φορέα E5 με τη χρήση της γνωστής τεχνικής AltBOC. Αυτό το σήμα είναι γνωστό ως E5, και μπορεί να επεξεργαστεί ως ένα ενιαίο σήμα από έναν κατάλληλο δέκτη. Στον πίνακα 2.11 συνοψίζονται τα παραπάνω.

Galileo Signals	RF channels	Nav. Message type	Description	Ranging Code Encryption	Data Encryption
L1F Signal	L1-B L1-C	I/Nav	Open access code signal carrying integrity data.	No	Partial ¹
L1P Signal	L1-A	G/Nav	Restricted access code and data signal.	Governmental	Governmental
E6C Signal	E6-B E6-C	C/Nav	Controlled access code carrying encrypted commercial data.	Commercial	Commercial
Galileo Signals	RF channels	Nav. Message type	Description	Ranging Code Encryption	Data Encryption
E6P Signal	E6-A	G/Nav	Restricted access code and data signal.	Governmental	Governmental
E5a Signal	E5a-I E5a-Q	F/Nav	Open access code.	No	No
E5b Signal	E5b-I E5b-Q	I/Nav	Open access code signal carrying integrity data.	No	Partial ¹
E5 Signal	Combination of E5a and E5b signals				

Πίνακας 2.11 Χαρακτηριστικά των δορυφορικών σημάτων Galileo

(Πηγή: Galileo Joint Undertaking, (2005))

Η επιλογή του αριθμού των σημάτων του Galileo βασίζεται στο ότι υπάρχουν στην πραγματικότητα πολλά και ποικίλα περιβάλλοντα, όπως και τύποι δεκτών. Επομένως η καλύτερη δυνατή λύση είναι αυτή που προσφέρει εναλλακτικούς κώδικες με διαφορετικά χαρακτηριστικά για τα διάφορα σήματα.. Για παράδειγμα, ένας στατικός δέκτης σε κλειστό χώρο εξυπηρετείται σαφώς καλύτερα από έναν μακρύ κώδικα, απ' ό,τι ένας κινητός δέκτης στην ύπαιθρο, που μπορεί να αρκестεί σε έναν βραχύτερο. Αυτός είναι ένας από τους λόγους ύπαρξης πολλών σημάτων Galileo.

Ένας άλλος λόγος είναι η ανάγκη εξάλειψης του σφάλματος λόγω της ιονοσφαιρικής καθυστέρησης. Αυτό το σφάλμα προκύπτει από την καθυστέρηση (διάθλαση) της διάδοσης του σήματος καθώς αυτό ταξιδεύει μέσα στην ιονόσφαιρα. Η καθυστέρηση αυτή μεταφράζεται για τον δέκτη σε μεγαλύτερη απ' ό,τι είναι στην πραγματικότητα απόσταση, σφάλμα που αν δεν διορθωθεί θα εισαγάγει μεγάλη αβεβαιότητα στον προσδιορισμό της θέσης του δέκτη. Όμως, η καθυστέρηση είναι ανάλογη προς τη συχνότητα του σήματος. Έτσι, τα σήματα χαμηλότερης συχνότητας επιδέχονται μεγαλύτερη καθυστέρηση από τα σήματα υψηλότερης συχνότητας. Επομένως, με παρατηρήσεις ως προς τον ίδιο δορυφόρο σε δύο διαφορετικές συχνότητες είναι δυνατό να παραχθεί μια άλλη μέτρηση, όπου το ιονοσφαιρικό σφάλμα θα έχει ουσιαστικά απαλειφτεί. Αυτή η απαλοιφή γίνεται αποτελεσματικότερη, καθώς ο χωρισμός μεταξύ των δύο συχνοτήτων αυξάνεται. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο οι υπηρεσίες του Galileo χρησιμοποιούν γενικότερα συνδυασμούς συχνοτήτων (βλ. Πιν. 2.12)

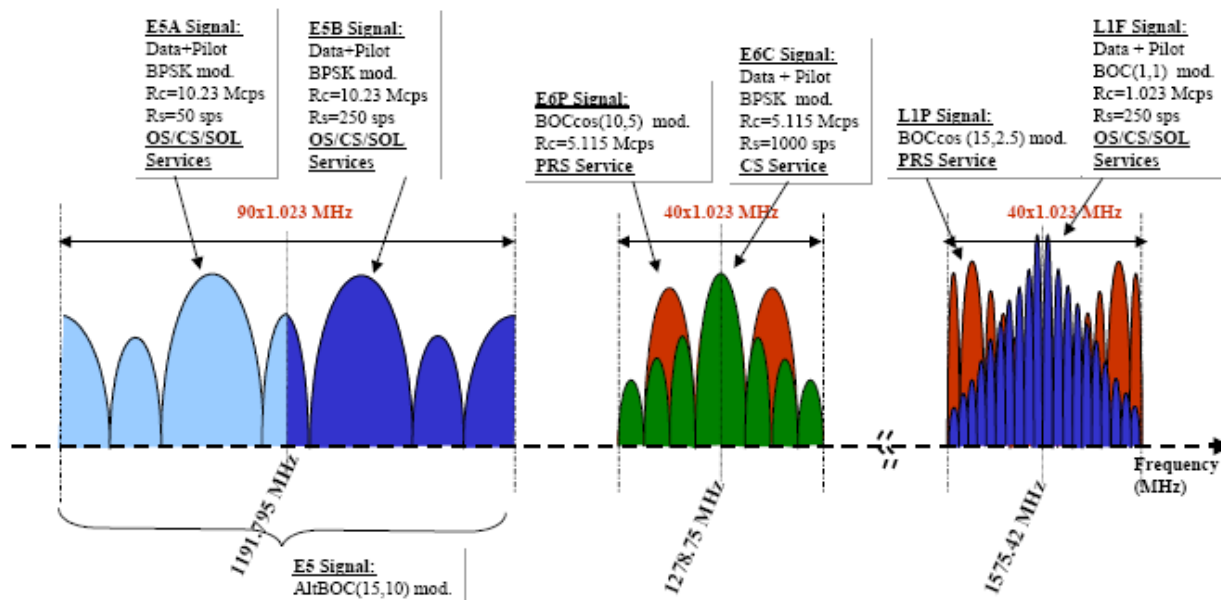
Signals	Open Service Users	Safety-Of-life Service Users	Commercial Service Users	Public Regulated Service Users
L1F	x(*)	x(*)	x(*)	
L1P				x
E6C			x	
E6P				x
E5a	x	x	x	
E5b	x(*)	x(*)	x	

(*) with no access to encrypted commercial data

Εικόνα 2.12 Οι Υπηρεσίες Galileo και τα Σήματα που χρησιμοποιούν

(Πηγή: Galileo Joint Undertaking, (2005))

Στο σχήμα 2.13 δίνεται μια επισκόπηση των όσων περιγράφηκαν για τα δορυφορικά σήματα Galileo, για τις διαθέσιμες συχνότητες και για τη σχέση που τις συνδέει με τις υπηρεσίες του συστήματος.



Σχήμα 2.13 Συνοπτικό διάγραμμα δορυφορικών σημάτων και συχνοτήτων Galileo

(Πηγή: Galileo Joint Undertaking, (2005))

Σε ό,τι αφορά στην ακρίβεια που θα επιτυγχάνει το σύστημα Galileo, αυτό εξαρτάται από τον συνδυασμό των παραπάνω συχνοτήτων. Για δέκτη μονής συχνότητας (L1, E5a, E5b ή E5a και E5b μαζί – AltBOC) αναμένεται οριζοντιογραφική και υψομετρική ακρίβεια καλύτερη από 15m και 35m αντίστοιχα, ακρίβεια ταχύτητας καλύτερη από 50cm/s, και ακρίβεια συγχρονισμού καλύτερη από 100 ns. Για έναν δέκτη διπλής συχνότητας, (L1 και E5a ή L1 και E5b), οι αντίστοιχες ακρίβειες θα είναι 7 m, 15 m, 20 cm/s, και 100 ns. Επίσης, για εφαρμογές όπου απαιτείται πολύ μεγάλη ακρίβεια (ακρίβεια cm), υπάρχει και η δυνατότητα χρήσης τριπλής συχνότητας (L1, E5a και E5b)

2.11 Δέκτες Galileo

Λόγω της διαφορετικής δομής των σημάτων του Galileo (Signal-In-Space), οι δέκτες του πρέπει να είναι κατάλληλοι, ώστε να λαμβάνουν και να εκπέμπουν σήματα πλοήγησης τα οποία έχουν ουσιώδεις διαφορές από εκείνα του κώδικα C/A του GPS, ως προς τον ψηφιακό τους ρυθμό (chipping rate), τη διαμόρφωση κ.α. Καθώς οι πρώτοι δορυφόροι του Galileo τίθενται

επιτυχώς σε τροχιά και εκπέμπουν τα πρώτα τους σήματα, είναι απαραίτητο για το τμήμα των χρηστών να αναπτυχθούν δέκτες συμβατοί με το σύστημα Galileo. Και ενώ το σύστημα δεν είναι ακόμη πλήρως επιχειρησιακό, η ανάπτυξη κατάλληλων δεκτών έχει ξεκινήσει ήδη και παράλληλα με την ανάπτυξη του δορυφορικού σχηματισμού. Η Κοινή Επιχείρηση Galileo (GJU) έχει αναθέσει από το 2003 την έρευνα, τον σχεδιασμό και την ανάπτυξη των απαραίτητων τεχνολογιών, συστατικών μερών, εφαρμογών και υπηρεσιών του τμήματος χρηστών του Galileo στις εξής τρεις οργανώσεις:

- στην Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Διαστήματος (ESA), η οποία είναι υπεύθυνη για την ανάπτυξη δεκτών κατάλληλων για χρήση από τους δοκιμαστικούς δορυφόρους GIOVE και IOV και ακολούθως για επικύρωση των εκπεμπόμενων από αυτούς σημάτων. Σε αυτούς τους δέκτες περιλαμβάνεται ο GETR (Galileo Experimental Test Receiver), που κατασκευάστηκε από τις εταιρείες Septentrio και Thales Avionics.
- στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή (EC), η οποία επιχορηγεί τα προγράμματα GARDA (Galileo user Receiver Development Activities) και Safety of Life για την ανάπτυξη δεκτών κατάλληλων για βιομηχανικές εφαρμογές από την ιταλική εταιρεία Alcatel Alenia Space. Στα πλαίσια του προγράμματος GARDA αναπτύσσεται ένα πρότυπο δέκτη ικανού να λαμβάνει σήματα στις συχνότητες L1, E5a/E5b και E6 του Galileo, αλλά και στην L1 του GPS. (Marradi L. et al., 2006. The GARDA Project, Building a Galileo Receiver. Journal “Inside GNSS”, Nov – Dec). Αυτός ο δέκτης αντιπροσωπεύει έναν από τους πρώτους δέκτες που θα είναι συμβατοί και με τα δυο δορυφορικά συστήματα. Επίσης, πρόκειται να χρησιμοποιηθεί στον εξοπλισμό των επίγειων σταθμών παρακολούθησης για την εκπομπή δεδομένων σχετικών με τον καθορισμό των τροχιών του Galileo, με την ακεραιότητα του συστήματος και τις παραμέτρους του χρόνου.
- στην Καναδέζικη Υπηρεσία Διαστήματος (Canadian Space Agency – CSA), η οποία επιχορηγεί την ανάπτυξη του Galileo Test Receiver (GTR) (βλ. Εικ. 2.14). από την εταιρεία NovAtel. Ο δέκτης αυτός έχει τη δυνατότητα να λαμβάνει σήματα είτε στις συχνότητες L1/E5a του Galileo είτε στις L1/L2 του GPS. Ο δέκτης αναπτύσσεται περαιτέρω για μελλοντική δυνατότητα ανίχνευσης σημάτων στις συχνότητες E5b και E6. Στις 30 Μαΐου 2005 η CSA παρουσίασε με επιτυχία τον

δέκτη GTR, ο οποίος αποτελεί τον πρώτο λειτουργικό δέκτη διπλού τύπου και διπλής συχνότητας για την Βόρεια Αμερική (Gerein N. et al., 2005, “NovAtel’s Galileo Test Receiver”, Proc of ION GNSS 2005, Long Beach, California, 13-16 September).



Εικόνα 2.14 Galileo Test Receiver (GTR) (αριστερά) και Προσομοιωτής Galileo (δεξιά)
(Πηγή: www.gpsworld.com)

2.12 Σφάλματα και Πηγές Σφαλμάτων

Τα σφάλματα που επηρεάζουν τη λειτουργία του συστήματος Galileo είναι τα ίδια που υπεισέρχονται στις μετρήσεις και για τα υπόλοιπα δορυφορικά συστήματα πλοήγησης (GPS, GLONASS). Διακρίνουμε μια σειρά σφαλμάτων, συστηματικού κυρίως χαρακτήρα (systematic errors, biases), που επηρεάζουν τον προσδιορισμό θέσης (και χρόνου κατά περίπτωση) με παρατηρήσεις Galileo. Τα τυχαία σφάλματα (random errors), που προφανώς είναι αναπόφευκτα κατά την εκτέλεση των μετρήσεων, αποκαλούνται συνήθως ως θόρυβος (noise, white noise).

Τα σφάλματα Galileo μπορούν να χωρισθούν σε τρεις βασικές κατηγορίες με τις επιμέρους κατηγορίες τους:

1. Σφάλματα δορυφόρων:

- a. σφάλμα χρονομέτρου δορυφόρου,
οφείλεται στον μη συγχρονισμό του ατομικού χρονομέτρου του κάθε δορυφόρου ως προς το χρόνο Galileo, που αποτελεί την κλίμακα χρόνου του συστήματος.

- b. σφάλμα τροχιάς δορυφόρου,
είναι η συστηματική παρέκκλιση της θέσης (και της ταχύτητας) του δορυφόρου από την πραγματική θέση, την θέση που είναι γνωστή με βάση τις παρατηρήσεις για τον υπολογισμό τροχιών και των μαθηματικών μοντέλων που χρησιμοποιούνται.
- c. σφάλμα επιλεκτικής διαθεσιμότητας,
είναι μια μέθοδος σκόπιμης μείωσης της ακρίβειας του συστήματος, που επιβάλλεται με δυο διαφορετικές τεχνικές, είτε μειώνοντας την ακρίβεια των παραμέτρων της εκπεμπόμενης δορυφορικής εφημερίδας είτε μέσω μεταβολής της συχνότητας εξόδου του δορυφορικού χρονομέτρου.

2. Σφάλματα δεκτών

- a. σφάλμα χρονομέτρου δέκτη,
οφείλεται στον μη συγχρονισμό του χρονομέτρου του δέκτη με την κλίμακα χρόνου Galileo.
- b. τυχαίο σφάλμα παρατήρησης ή θόρυβος,
είναι αναπόφευκτο σε κάθε παρατήρηση Galileo. Ο όρος τυχαίο πολύ απλά αντανακλά το σφάλμα που κατά μέσο όρο τείνει στο μηδέν όσο αυξάνονται οι επαναλήψεις της μέτρησης κάτω από τις ίδιες συνθήκες.

3. Σφάλματα διάδοσης σήματος

- a. τροποσφαιρικό σφάλμα,
προκύπτει από την επίδραση του χαμηλότερου τμήματος ($H < 50\text{m}$) της ατμόσφαιρας στη διαδρομή του δορυφορικού τμήματος. Η τροποσφαιρική διάθλαση καθυστερεί χρονικά τη διάδοση του σήματος λόγω αλλαγής της κατεύθυνσης του σήματος σε σχέση με την ευθύγραμμη διαδρομή στο κενό.
- b. ιονοσφαιρικό σφάλμα,
προκύπτει από την επίδραση του τμήματος της ατμόσφαιρας, που εκτείνεται από περίπου 50 έως 1000 km από τη γήινη επιφάνεια, στη διάδοση του δορυφορικού σήματος. Η ύπαρξη ελευθέρων φορτισμένων σωματιδίων στην ιονόσφαιρα

μεταβάλλει την ταχύτητα, τη διεύθυνση και την πολικότητα με μεγαλύτερη την επίδραση στην ταχύτητα και συνεπώς στην απόσταση δορυφόρου – δέκτη.

c. σφάλμα πολυανάκλασης,

προκύπτει όταν το ίδιο δορυφορικό σήμα λαμβάνεται και από άλλη ή άλλες έμμεσες διαδρομές εκτός από την κανονική του πορεία, εξαιτίας της ανάκλασής του σε γειτονικές επιφάνειες, π.χ. επιφάνειες κτιρίων. Έτσι, το σήμα ακολουθώντας μεγαλύτερη διαδρομή από την κανονική, καθυστερεί και επηρεάζει τις παρατηρήσεις Galileo.

d. σφάλμα ολίσθησης κύκλων,

οφείλεται σε περιπτώσεις εμποδίων στην πορεία του σήματος, σε αδυναμία των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων του δέκτη ή και υψηλής ιονοσφαιρικής δραστηριότητας, που έχουν ως αποτέλεσμα την απώλεια λήψης. Μετά την απώλεια λήψης σήματος, από τη στιγμή επανεγκλωβισμού του σήματος από τον δέκτη όλες οι επόμενες μετρήσεις είναι επηρεασμένες κατά τον ίδιο ακέραιο αριθμό κύκλων, που μεσολάβησαν στο διάστημα της αδυναμίας λήψης.

2.13 Υπηρεσίες Galileo

Το 2010, με την ολοκλήρωση της εγκατάστασης των 4 αρχικών δορυφόρων της φάσης επικύρωσης τροχιάς (IOV phase) θα αρχίσουν σταδιακά να παρέχονται οι υπηρεσίες του προγράμματος Galileo. Αυτό προσφέρει πέντε επίπεδα υπηρεσιών ελεύθερης ή περιορισμένης πρόσβασης, με μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό ακριβείας, με χρέωση ή χωρίς. Αυτά είναι τα εξής:

1. Η **Open Service (OS) ή Υπηρεσία Ανοιχτής Πρόσβασης**, η οποία προορίζεται κυρίως για εφαρμογές της μαζικής αγοράς. Πρόκειται για την υπηρεσία στην οποία μπορούν να έχουν δωρεάν και ελεύθερη πρόσβαση όλοι οι χρήστες, που είναι εξοπλισμένοι με έναν δέκτη μονής, διπλής ή και τριπλής συχνότητας. Η υπηρεσία προσφέρει πληροφορίες προσδιορισμού θέσης, πλοήγησης και χρόνου για όλο τον κόσμο με βάση σήματα, που διαμορφώνονται πάνω σε δυο φέρουσες συχνότητες. Οι ραδιοσυχνότητες που χρησιμοποιεί η OS είναι είτε μια εκ των τριών E2-L1-E1 είτε, εάν απαιτείται μεγαλύτερη ακρίβεια, χρησιμοποιεί επιπρόσθετα μια εκ των E5a-E5b. Οι δέκτες χρησιμοποιώντας τις συχνότητες της OS θα επιτυγχάνουν οριζοντιογραφικά

ακρίβεια μικρότερη των 4 m, ενώ η αντίστοιχη υψομετρική ακρίβεια θα είναι κάτι λιγότερο από 8 m. Η ακρίβεια που θα επιτυγχάνουν οι δέκτες χρησιμοποιώντας μόνο μια ραδιοσυχνότητα, θα είναι της τάξης των 15m οριζοντίως και 35m κατακορύφως (βλ. Πιν. 2.15). Η υπηρεσία μπορεί να συνδυαστεί με το GPS για βελτιστοποίηση της κάλυψης. Δεν παρέχει, όμως, πληροφορίες σχετικές με την ακεραιότητα του συστήματος και έτσι προσδιορισμός της ποιότητας των σημάτων επαφίεται αποκλειστικά στους ίδιους τους χρήστες. Ωστόσο, ορισμένες πληροφορίες ακεραιότητας μπορούν να παραχθούν μέσω αυτόνομων τεχνικών ελέγχου ακεραιότητας δεκτών (RAIM – Receiver Autonomous Integrity Monitoring), οι οποίες βασίζονται κυρίως σε αληθοφανή κριτήρια, που αρκούν για τις περισσότερες εφαρμογές.

		Open Service (positioning)	
Type of Receiver	Carriers	Single Frequency	Dual-Frequency
	Computes Integrity	No	
	Ionospheric correction	Based on simple model	Based on dual-frequency measurements
Coverage		Global	
Accuracy (95%)		H: 15 m V: 35 m	H: 4 m V: 8m
Integrity	Alarm Limit	Not Applicable	
	Time-To-Alarm		
	Integrity risk		
Availability		99.8 %	

Πίνακας 2.15 Κύρια χαρακτηριστικά υπηρεσίας OS

(Πηγή: http://ec.europa.eu/dgs/energy_transport/galileo/doc/galileo_hld_v3_23_09_02.pdf)

2. Η **Commercial Service (CS) ή Εμπορική Υπηρεσία**, η οποία θα καταστήσει δυνατή την ανάπτυξη εφαρμογών αποκλειστικά για επαγγελματικούς σκοπούς, παρέχοντας υπηρεσίες καλύτερης ακρίβειας από την OS. Η υπηρεσία θα χρησιμοποιεί κρυπτογραφημένα σήματα και θα διατίθεται έναντι χρέωσης. Η CS θα προσφέρει αυξημένες επιδόσεις ακριβείας, μικρότερες της τάξης του ενός μέτρου. Τα σήματα αυτής της υπηρεσίας θα εκπέμπονται σε τρεις ραδιοσυχνότητες, τις δύο συχνότητες της OS, και μια ακόμη συχνότητα, την E6, η οποία θα φέρει, εκτός από το μήνυμα ναυσιπλοΐας, ορισμένα εμπορικά στοιχεία με πληροφορίες προστιθέμενης αξίας (added- value information).

3. Η **Safety of Life Service (SoL) ή Δημόσια Ελεγχόμενη Υπηρεσία και Υπηρεσία Ασφάλειας Ζωής**, η οποία προορίζεται για κρίσιμες υπηρεσίες ασφαλείας, όπως οι αστυνομικές

αρχές, ο στρατός, η πυροσβεστική, η αεροπλοΐα και άλλες υπηρεσίες που προϋποθέτουν άριστης ποιότητας σήμα στο πλαίσιο της εξασφάλισης της ασφάλειας της ανθρώπινης ζωής. Η υπηρεσία αυτή πρόκειται να προσφέρει ακρίβεια συγκρίσιμη με αυτήν της υπηρεσίας ανοιχτής πρόσβασης, πλην όμως με επιπλέον ασφάλεια από τις παρεμβολές και δυνατότητα ταχείας αναγνώρισης προβλημάτων. Βασικό μέλημα των χρηστών αυτής της υπηρεσίας είναι η αξιοπιστία και η αποφυγή παρεμβολών. Για τον λόγο αυτό θα χρησιμοποιεί κρυπτογραφημένα σήματα. Η βελτίωση της ακρίβειας πραγματοποιείται μέσω της παροχής εγκαίρων προειδοποιήσεων στον χρήστη, όταν ξεπερνιούνται κάποια ορισμένα μέτρα ακεραιότητας. Η υπηρεσία θα εκπέμπει σήματα στις 2 συχνότητες E5b και E5a για εφαρμογές ακριβείας, ενώ με πρόσθετη χρήση του σήματος E2-L1-E1-SoL θα αντισταθμίζονται οι ιονοσφαιρικές διαταραχές. Για το κρίσιμο επίπεδο (critical level), το οποίο θα καλύπτει εφαρμογές κρίσιμου χρόνου, όπως αυτή της αεροπλοΐας, θα παρέχεται ακρίβεια της τάξης των 4 m οριζοντίως και 8m κατακορύφως. Ενώ για το μη κρίσιμο επίπεδο (non-critical level), το οποίο θα καλύπτει εφαρμογές λιγότερο κρίσιμες ως προς τον χρόνο, όπως αυτή της πλοήγησης σε ανοιχτή θάλασσα, η ακρίβεια θα είναι της τάξης των 220 m (βλ. Πιν. 2.16).

		<i>Safety-Of-Life Service</i>	
<i>Type of Receiver</i>	<i>Carriers</i>	<i>Three Frequencies</i>	
	<i>Computes Integrity</i>	<i>Yes</i>	
	<i>Ionospheric correction</i>	<i>Based on dual-frequency measurements</i>	
<i>Coverage</i>		<i>Global</i>	
		<i>Critical level</i>	<i>Non-critical level</i>
<i>Accuracy (95%)</i>		<i>H: 4 m V: 8 m</i>	<i>H: 220 m</i>
<i>Integrity</i>	<i>Alarm Limit</i>	<i>H: 12 V 20 m</i>	<i>H: 556 m</i>
	<i>Time-To-Alarm</i>	<i>6 seconds</i>	<i>10 seconds</i>
	<i>Integrity risk</i>	<i>3.5x10⁻⁷ / 150 s</i>	<i>10⁻⁷/hour</i>
<i>Continuity Risk</i>		<i>10⁻⁵/15 s</i>	<i>10⁻⁴/hour – 10⁻³/hour</i>
<i>Certification/Liability</i>		<i>Yes</i>	
<i>Availability of integrity</i>		<i>99.5%</i>	
<i>Availability of accuracy</i>		<i>99.8 %</i>	

Πίνακας 2.16 Κύρια χαρακτηριστικά υπηρεσίας SoL

(Πηγή: http://ec.europa.eu/dgs/energy_transport/galileo/doc/galileo_hld_v3_23_09_02.pdf)

Επίσης, θα δίνονται πληροφορίες, ακεραιότητας χωρίς κόστος για τον χρήστη και μπορεί οριστεί περιορισμένη προσβασιμότητα για ορισμένες ομάδες χρηστών (π.χ. πολιτική

αεροπορία). Σημαντικό είναι επίσης και το γεγονός, πως στην υπηρεσία SoL θα ενσωματωθούν οι υπηρεσίες του ενισχυτικού ευρωπαϊκού προγράμματος EGNOS, ώστε να παρέχονται ανεξάρτητα και συμπληρωματικά δεδομένα ακεραιότητας για τα συστήματα GPS και GLONASS.

4. Η **Public Regulated Service (PRS)** ή **Δημόσια Ρυθμιζόμενες Υπηρεσίες**, που είναι μια αξιόπιστη και ελεγχόμενη υπηρεσία, που προορίζεται για εξουσιοδοτημένες κυβερνητικές εφαρμογές. Αυτή η υπηρεσία θα καλύψει κυρίως τις δημόσιες εφαρμογές, που αφορούν στις ευρωπαϊκές ή/και εθνικές δυνάμεις ασφάλειας, όπως την πολιτική προστασία και τις κυβερνητικές υπηρεσίες. Θα βρίσκεται πάντα και κάτω από όλες τις περιστάσεις σε λειτουργία, ακόμη και σε περίοδο κρίσης. Λόγω του ισχυρού κρυπτογραφημένου σήματός του θα προστατεύεται από τις παρεμβολές (jamming) και τις τεχνικές «αντί - εξαπάτησης» (AS – Anti-Spoofing). Πρόκειται για μια υπηρεσία, η οποία σκοπεύει στην διασφάλιση της συνεχούς εκπομπής σημάτων σε περιπτώσεις μπλοκαρίσματος των συχνοτήτων της υπηρεσίας ανοιχτής προσβασιμότητας. Η PRS χρησιμοποιεί σήματα των συχνοτήτων E6-PRS και E2-L1-E1-PRS. Μια ακόμη εφαρμογή της είναι η διασφάλιση της συνέχειας εκπομπής των σημάτων για κρίσιμες εφαρμογές, που απαιτούν ασφάλεια, ακρίβεια και συγχρονισμό, όπως τα συστήματα ενέργειας, μεταφορών και τηλεπικοινωνιών καθώς επίσης και οι οικονομικές και βιομηχανικές δραστηριότητες, που είναι στρατηγικής σημασίας για την Ευρώπη. Για αυτές τις εφαρμογές θα παρέχει οριζοντιογραφική ακρίβεια της τάξης των 6,5 m και υψομετρική της τάξης των 12 m (βλ. Πιν. 2.17).

Public-Regulated Service		
Type of Receiver	Carriers	<i>Dual-Frequency</i>
	Computes Integrity	<i>Yes</i>
	Ionospheric correction	<i>Based on dual-frequency measurements</i>
Coverage		<i>Global</i>
Accuracy (95%)		<i>H: 6.5 m V: 12 m</i>
Integrity	Alarm Limit	<i>H:20-V:35</i>
	Time-To-Alarm	<i>10 s</i>
	Integrity risk	<i>$3.5 \times 10^{-7}/150 \text{ sec}$</i>
Continuity Risk		<i>$10^{-5}/15 \text{ s}$</i>
Timing Accuracy w.r.t. UTC/TAI		<i>100 nsec</i>
Availability		<i>99.5 %</i>

Πίνακας 2.17 Κύρια χαρακτηριστικά υπηρεσίας PRS

(Πηγή: http://ec.europa.eu/dgs/energy_transport/galileo/doc/galileo_hld_v3_23_09_02.pdf)

Τέλος, η συγκεκριμένη υπηρεσία και η λειτουργική υποδομή της θα είναι υπό τον έλεγχο της Ευρωπαϊκής Κοινότητας και των κρατών – μελών της. Οι PRS δέκτες θα κατασκευάζονται από ειδικά εξουσιοδοτημένους κατασκευαστές και θα είναι διαθέσιμοι μόνο σε εξουσιοδοτημένες ομάδες χρηστών.

5. Η Search and Rescue (SAR) ή Υπηρεσία Έρευνας και Διάσωσης, που αποτελεί την συμβολή της Ευρώπης στην διεθνή προσπάθεια ανάπτυξης ανθρωπιστικών δράσεων έρευνας και διάσωσης. Η υπηρεσία θα επιτρέψει σημαντικές βελτιώσεις στο υπάρχον σύστημα SAR, που δεν είναι άλλο από το COSPAS-SARSAT. Μεταξύ άλλων είναι οι εξής: 1) λήψη μηνυμάτων κινδύνου από οπουδήποτε στη γη σε πραγματικό χρόνο (μέσος χρόνος αναμονής η μια ώρα), 2) ακριβής θέση των alert limits (ακρίβεια της τάξης των μερικών μέτρων, αντί για την τρέχουσα που είναι 5 km), 3) πολλαπλή δορυφορική ανίχνευση (multiple satellite detection) για την υπέρβαση εμποδίων σε δυσμενείς συνθήκες, 4) αυξημένη διαθεσιμότητα του διαστημικού τμήματος (30 δορυφόροι μέσης γήινης τροχιάς (MEO – Medium Earth Orbit), συν άλλοι τέσσερις χαμηλής γήινης τροχιάς (LEO – Low Earth Orbit) και τρεις γεωστατικοί δορυφόροι του τρέχοντος συστήματος COSPAS-SARSAT).

2.14 Εφαρμογές Συστήματος Galileo

Οι προηγμένες τεχνολογίες Galileo θα βελτιώσουν σημαντικά τα συστήματα καθοδήγησης, την πρόληψη ατυχημάτων, την αποδοτικότητα της πολιτικής προστασίας (κλήσεις εκτάκτου ανάγκης ή SOS) και την προστασία του περιβάλλοντος. Χαρακτηριστικό είναι ότι οι εφαρμογές του Galileo έως το έτος 2015 αναμένεται να φτάσουν τις 400.000. Οι πιο συνήθεις χρήσεις του συστήματος Galileo είναι όμοιες με αυτές του συστήματος GPS. Η βασική τους όμως διαφορά έγκειται στο γεγονός ότι το Galileo παρέχει στίγμα μεγαλύτερης ακρίβειας και αξιοπιστίας. Σε αυτό το σημείο θα αναφερθούν ενδεικτικά παραδείγματα και θα αποτυπωθούν εφαρμογές που τα έως σήμερα συστήματα πλοήγησης δεν μπορούσαν να αποδώσουν.

Αναλυτικότερα, μερικές από τις εφαρμογές του συστήματος Galileo αναφέρονται παρακάτω.

2.14.1 Μεταφορές



Εικόνα 2.18 Το Galileo ευνοεί τις μεταφορές

(Πηγή: http://www.esa.int/esaCP/SEM48VTZJND_France_1.html)

Οι μεταφορές στο σύνολό τους, εναέριες, θαλάσσιες, οδικές και σιδηροδρομικές (βλ. Εικ. 2.18), αναμένεται να είναι ο τομέας που θα επωφεληθεί περισσότερο από κάθε άλλον από την λειτουργία του Galileo. Κάθε ομάδα χρηστών έχει τις χαρακτηριστικές ανάγκες της, και το Galileo είναι σχεδιασμένο για να μπορεί να τις καλύψει όλες. Το ευρωπαϊκό σύστημα αποτελεί την απάντηση στα σημερινά προβλήματα των μεταφορών και αναμένεται να βελτιώσει την ασφάλεια και την άνεση στις μεταφορές.

❖ Οδικές μεταφορές



Στις οδικές μεταφορές άρχισαν να χρησιμοποιούνται συστήματα πλοήγησης πριν από μερικά χρόνια. Είναι ένας τομέας που τώρα βρίσκεται στην κύρια φάση της ανάπτυξής του. Δέκτες GPS εγκαθίστανται πλέον σε κάθε όχημα κινούμενο στον δρόμο (βλ. Εικ. 2.19). Υπολογίζεται ότι μέχρι το 2010 πάνω από 900.000.000 οχήματα και 33.000.000 λεωφορεία και φορτηγά στην Ευρώπη, θα έχουν εγκατεστημένους δέκτες συστημάτων ραδιοπλοήγησης (http://ec.europa.eu/dgs/energy_transport/galileo/applications).

Εικόνα 2.19 Βελτίωση των οδικών μεταφορών

(Πηγή: http://www.esa.int/esaCP/SEM48VTZJND_France_1.html)

Στις μέρες μας, η κυκλοφοριακή συμφόρηση δημιουργεί τεράστιους περιορισμούς στην καθημερινή κινητικότητα των ατόμων με πάνω από 10% των οδικών δικτύων να είναι κορεσμένα. Η βελτίωση των οδικών συστημάτων μεταφοράς απαιτεί τη συστηματική χρήση πληροφοριών σχετικών με τη θέση και την ταχύτητα των οχημάτων. Ένας οδηγός, που θα χρησιμοποιεί έναν δέκτη Galileo, θα λαμβάνει σταθερά τις πληροφορίες, που θα του επιτρέπουν να καθορίσει τη θέση του και να βρει την βέλτιστη διαδρομή για τον προορισμό του. Επομένως, το σύστημα θα πραγματοποιεί την καλύτερη διαχείριση κυκλοφορίας των οχημάτων (π.χ. taxis, φορτηγά, λεωφορεία), την εύρεση της βέλτιστης διαδρομής και την βελτιστοποίηση της κυκλοφορίας.

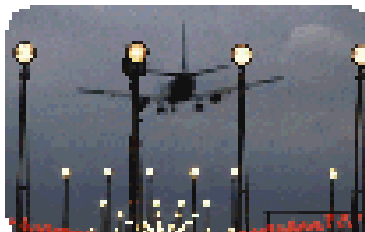
Γεγονός αποτελεί ο αριθμός των 40.000 θανάτων και των 1.300.000 τραυματισμών από τροχαία ατυχήματα στους ευρωπαϊκούς δρόμους. Προς την κατεύθυνση μείωσης των παραπάνω αριθμών το Galileo προβλέπεται να παίξει πρωταγωνιστικό ρόλο. Από την χρήση των δεδομένων του Galileo αναμένεται η μείωση των τροχαίων ατυχημάτων και της κυκλοφοριακής συμφόρησης. Το σύστημα θα είναι σε θέση με την δημιουργία ψηφιακών χαρτών και την αποθήκευση δεδομένων να παρέχει πληροφορίες χρήσιμες στον οδηγό για την κατάσταση του οδικού δικτύου, την κίνηση, τις κακοτεχνίες, την ολισθηρότητα, τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες. Επίσης σχετικές πληροφορίες θα μειώσουν τον χρόνο μετακίνησης και την κατανάλωση καυσίμου ενώ πολλά από τα κενά στην χαρτογράφηση (τούνελ, μικρά δρομάκια κ.α.) και την πλοήγηση θα καλυφθούν και αυτά (http://ec.europa.eu/dgs/energy_transport/galileo).

Οι εταιρίες οδικών μεταφορών θα μπορούν να παρακολουθούν καλύτερα τις κινήσεις των φορτηγών τους και των εμπορευμάτων τους, ενώ ταυτόχρονα θα μπορούν να καταπολεμούν αποτελεσματικά τις κλοπές. Τέλος, οι εταιρίες ταξί έχουν ήδη αρχίσει να χρησιμοποιούν συστήματα ραδιοπλοήγησης ώστε οι οδηγοί τους να μην χάνουν χρόνο και ταυτόχρονα να προσφέρουν ταχύτερη και πιο αξιόπιστη εξυπηρέτηση στους πελάτες τους. Οι πελάτες από την πλευρά τους, έχοντας ένα κινητό τηλέφωνο με ενσωματωμένη συσκευή Galileo, θα μπορούν να καλούν ταξί με το πάτημα ενός πλήκτρου ενώ στην συνέχεια θα εντοπίζεται η κλήση από τον οδηγό του ταξί.

❖ Εναέριες μεταφορές

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση υπάρχουν πάνω από 5.000 πολιτικά αεροσκάφη και περίπου 30.000 μικρά αεροσκάφη αναψυχής. Ο αριθμός είναι πολύ μεγάλος και απόρροια αυτού είναι η συμφόρηση της κυκλοφορίας των αεροδιαδρόμων. Το Galileo σε αυτό το σημείο θα βοηθήσει

στην διερεύνηση του εναέριου χώρου ενώ παράλληλα θα επιτρέπει μεγαλύτερο αριθμό αεροσκαφών κινούμενων στα ίδια αεροπορικά δίκτυα.



Εικόνα 2.20 Εναέριες μεταφορές

(Πηγή: http://ec.europa.eu/dgs/energy_transport/galileo/applications/aviation_en.htm)

Με αυτόν τον τρόπο θα περιοριστούν οι καθυστερήσεις των πτήσεων, ενώ παράλληλα θα μειωθούν και τα ατυχήματα που οφείλονται σε λόγους ανακρίβειας στίγματος των αεροσκαφών. Οι προσγειώσεις – απογειώσεις θα γίνονται με μεγαλύτερη ασφάλεια και ακρίβεια (βλ. Εικ. 2.20). Οι πιλότοι έχοντας ακριβείς συντεταγμένες για την θέση τους ανά πάσα στιγμή και ώρα, θα έχουν πλήρη εικόνα του αεροσκάφους σε κάθε τους κίνηση, ενώ παράλληλα θα δέχονται λιγότερες καθοδηγήσεις από το έδαφος, πράγμα που σημαίνει λιγότερο εξοπλισμό εδαφικών υποδομών, άρα και μικρότερο κόστος.

❖ Θαλάσσιες μεταφορές

Στις θαλάσσιες εφαρμογές το Galileo θα αποτελέσει ένα εργαλείο που θα φέρει πολλές καινοτομίες και προόδους στον τομέα της ναυσιπλοΐας, της ωκεανογραφίας και των θαλάσσιων ερευνών. Ο αριθμός των πλοίων που ανήκουν σε χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι πάνω από 10.000. Τα ποσοστά που δίνονται, διαπιστώνουν πως το 80% των ατυχημάτων οφείλονται σε λάθη του ανθρώπινου παράγοντα. Γι' αυτό τον λόγο λοιπόν, η καλή απόδοση σε όλους τους τομείς και κυρίως η ασφάλεια των πλοίων αποτελούν καίριες απαιτήσεις για τις θαλάσσιες μεταφορές. Στις αρχές αυτές δείχνει να μπορεί να ανταποκριθεί το Galileo με την αυξημένη ακρίβεια καθώς και αξιοπιστία των μετρήσεων του. Από τις βασικές εφαρμογές, που ήδη προσφέρονται από το GPS, το Galileo θα μειώσει τον αριθμό των ατυχημάτων που οφείλονται σε ανακριβή δεδομένα και λανθασμένες συντεταγμένες. Ο έλεγχος της κίνησης των σκαφών αλιείας και η παρακολούθηση των εμπορικών πλοίων θα συνδράμουν προς αυτή την κατεύθυνση. Η μείωση των συγκρούσεων των πλοίων κατά την είσοδο και έξοδο από τα λιμάνια αναμένεται επίσης να σημειωθεί. Το Galileo όμως δεν σταματά εδώ. Θα προσφέρει υπηρεσίες

και σε περιπτώσεις πλοήγησης σε στενά ποτάμια, κανάλια, λίμνες, όπου η ακρίβεια του στίγματος αποτελεί ουσιώδη προτεραιότητα (βλ. Εικ. 2.21).



Εικόνα 2.21 Πλοήγηση σε ποτάμι με το Galileo

(Πηγή: http://ec.europa.eu/dgs/energy_transport/galileo/applications/maritime_en.htm)

❖ Σιδηροδρομικές μεταφορές

Πολλά ήταν τα οφέλη για τις σιδηροδρομικές μεταφορές από την χρήση συστημάτων πλοήγησης. Το GPS είναι το σύστημα που κατά πλειοψηφία χρησιμοποιείται μέχρι σήμερα από τα τρένα. Το Galileo θα μπει δυναμικά σε αυτόν τον τομέα και αυτά που θα προσφέρει είναι ο καλύτερος έλεγχος της κυκλοφορίας των τρένων, η αποδοτικότερη διαχείριση του στόλου των τρένων (θα μειώσει ακόμα περισσότερο τις αποστάσεις μεταξύ των συρμών, άρα θα αυξήσει τα δρομολόγια) και η σωστή και έγκαιρη ενημέρωση των επιβατών για τους χρόνους άφιξης – αναχώρησης των συρμών. Επιπλέον το Galileo αναμένεται να βελτιώσει την επικοινωνία μεταξύ των αμαξοστοιχιών με αποτέλεσμα να μειωθεί ο αριθμός των ατυχημάτων μεταξύ συρμών, αλλά και με οχήματα σε διασταυρώσεις με δρόμους.



Εικόνες 2.22 - 2.23 Αποδοτικότερη και ασφαλέστερη μετακίνηση των επιβατών υπόσχεται το Galileo

(Πηγή: http://ec.europa.eu/dgs/energy_transport/galileo/applications/maritime_en.htm)

2.14.2 Τηλεπικοινωνίες

Το να γνωρίζεις την θέση κάποιου μπορεί καμιά φορά να μην είναι τόσο σημαντικό αν δεν μπορείς να επικοινωνήσεις μαζί του. Για τον λόγο αυτό μικρά chips του Galileo θα τοποθετούνται εντός των συσκευών της κινητής τηλεφωνίας (κινητή τηλεφωνία τρίτης γενιάς), και ο χρήστης θα μπορεί να ξέρει που βρίσκεται με μεγάλη ακρίβεια και να σχεδιάζει τις κινήσεις του, π.χ. αποφυγή κυκλοφοριακής συμφόρησης, κάλεσμα ταξί, κάλεσμα για βοήθεια. Το Galileo θα μπορεί, επίσης, να χρησιμοποιείται λόγω της ακρίβειάς του σε πραγματικό χρόνο για διάφορες άμεσες επικοινωνιακές τεχνικές, που προκύπτουν σε περιπτώσεις τραπεζικών συναλλαγών, μηχανημάτων ΑΤΜ, για το internet κλπ. Με αυτό τον τρόπο, δεν θα υπάρχει η ανάγκη εγκατάστασης ακριβών ατομικών ρολογιών, καθώς η ακρίβεια πληροφορίας αλλά και η χρονική ακρίβεια των μετρήσεων του Galileo θα είναι πολύ υψηλού επιπέδου.

2.14.3 Περιβάλλον

Το Galileo αναμένεται να αποτελέσει βασικό εργαλείο στα χέρια της επιστημονικής κοινότητας. Η δυνατότητα λήψης νέων συχνοτήτων σήματος, η καλύτερη απόδοση κάλυψης και τα διαφορετικά σήματα που θα εκπέμπει το νέο σύστημα, θα είναι ο λόγος που ίσως προτιμηθεί έναντι του GPS. Επίσης η συνεχόμενη λήψη σημάτων και δεδομένων, θα έχει εφαρμογές σε πολλά νέα θέματα περιβαλλοντικής έρευνας.

Τα θέματα αυτά θα έχουν να κάνουν με έρευνες ωκεανογραφίας, παρατηρήσεις της στάθμης του νερού, μόλυνσης των υδάτων και εντοπισμός της περιοχής μόλυνσης (βλ. Εικ. 2.24), ανάλυσης υδάτινων δειγμάτων, μετακινήσεις παγόβουνων και πολλές άλλες σχετικές εφαρμογές.



Εικόνα 2.24 Εντοπισμός περιοχών μόλυνσης από παραβάσεις πετρελαιοφόρων

(Πηγή: http://ec.europa.eu/dgs/energy_transport/galileo/applications/maritime_en.htm)

Επιπλέον το Galileo αναμένεται να προτιμηθεί σε θέματα που αφορούν την παρακολούθηση – εποπτεία της ατμόσφαιρας για την πρόβλεψη καιρού, την αλλαγή των

κλιματολογικών συνθηκών, τις μετρήσεις διαφόρων αερίων, αλλά και την παρακολούθηση ηφαιστειών, την σεισμική δραστηριότητα, τις φυσικές καταστροφές, την έρευνα φυσικών πόρων, κ.α. Το σύστημα θα μπορεί να βρει εφαρμογή ακόμη και σε θέματα παρακολούθησης και εντοπισμού άγριων ζώων για την προστασία τους.

2.14.4 Γεωργία

Στον τομέα της γεωργίας τα συστήματα ραδιοπλοήγησης κάνουν την εμφάνισή τους τα τελευταία χρόνια (βλ. Εικ. 2.25). Το υπάρχον GPS αναλαμβάνει πρωτοβουλίες και δίνει λύσεις κυρίως με την ονομαζόμενη «γεωργία ακριβείας». Οι ευρωπαίοι προσδοκούν την ανάμειξη και του Galileo σε παρόμοιες εφαρμογές για καλύτερη διαχείριση της γης, όπως προσαρμογή της δόσης των σπόρων ή των φυτοφαρμάκων ανάλογα με το έδαφος, πότισμα ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες σε νερό, που παρουσιάζει κάθε έκταση του αγροτεμαχίου. Οι λύσεις αυτές θα έχουν ως αποτέλεσμα μια πιο παραγωγική σοδειά με μικρότερο κόστος. Τα πλεονεκτήματα από την χρήση του Galileo σε αυτόν τον τομέα αναμένεται να είναι μια αυτοματοποιημένη διαδικασία με κέρδος τις ακριβέστερες μετρήσεις.



Εικόνα 2.25 Το Galileo στη γεωργία

(Πηγή: http://www.esa.int/esaCP/SEM48VTZJND_France_1.html)

2.14.5 Υπηρεσίες βοηθειών, έρευνας και διάσωσης – Διαχείριση κρίσεων.

Μια από τις βασικές παραμέτρους, όπου ήθελαν να δώσουν έμφαση οι ευρωπαίοι με την λειτουργία του Galileo, ήταν και είναι η ασφάλεια του ανθρώπου και η όσο το δυνατόν πιο αποτελεσματική αντιμετώπιση δύσκολων καταστάσεων έρευνας και διάσωσης. Οι λειτουργίες, λοιπόν, του Galileo, οι οποίες βασίστηκαν πάνω σε υποδομές με γνώμονα την ακρίβεια και την

αξιοπιστία των μετρήσεών του, θα είναι και ο βασικός λόγος που αυτό θα χρησιμοποιείται στον τομέα των υπηρεσιών βοήθειας έρευνας και διάσωσης, αλλά και σε άλλες περιπτώσεις διαχείρισης δύσκολων περιστάσεων.

Το νέο ευρωπαϊκό σύστημα ραδιοπλοήγησης Galileo, θα χρησιμοποιείται σε μεγάλο βαθμό από τις υπηρεσίες της πυροσβεστικής, της αστυνομίας (για τον εντοπισμό υπόπτων και την καταπολέμηση της εγκληματικότητας), των επειγόντων ιατρικών περιστατικών, από τα σωστικά συνεργεία αλλά και από υπηρεσίες φύλαξης των συνόρων. Το πλεονέκτημα του GPS θα είναι ότι θα μειώσει τον χρόνο παρέμβασής τους καθώς θα εντοπίζουν με μεγαλύτερη ακρίβεια το συμβάν, άρα θα φτάνουν πιο σύντομα στο ακριβές σημείο. Χαρακτηριστικό στατιστικό στοιχείο αποτελεί το γεγονός ότι το 40% των τηλεφωνημάτων που γίνονται στην Ευρώπη σήμερα για κάποια διάσωση, δεν καθίσταται δυνατόν να εντοπιστεί με ακρίβεια το σημείο του συμβάντος για διάφορους λόγους.

Τέλος, χρήση του Galileo θα μπορούν να κάνουν άτομα με κάποιες ιδιαιτερότητες – αναπηρίες. Αυτή την στιγμή πάνω από 37.000.000 συνάνθρωποί μας έχουν κάποια μορφή αναπηρίας, με άλλα λόγια ο ένας στους δέκα ανθρώπους. Το Galileo υπόσχεται να βοηθήσει τα άτομα αυτά με πολλούς και ποικίλους τρόπους, καθώς θα επιτυγχάνει καλύτερη κάλυψη και αποτύπωση του χώρου. Έως σήμερα αντίστοιχα συστήματα πλοήγησης δεν κατάφεραν να ανταποκριθούν στο δύσκολο αυτό έργο. Οι δέκτες σημάτων Galileo ευελπιστούν να αποτελέσουν τα μάτια για την καθοδήγηση τυφλών και να δώσουν μια ανακουφιστική λύση στα άτομα, που έχουν προσβληθεί από την νόσο Alzheimer και υποφέρουν από απώλεια μνήμης. Οι μετακινήσεις τους θα γίνονται με ευκολία χρησιμοποιώντας μόνο ένα δέκτη χειρός (βλ. Εικ. 2.26).



Εικόνα 2.26 Το Galileo χρήσιμο εργαλείο για τους πολυτραυματίες

(Πηγή: http://ec.europa.eu/dgs/energy_transport/galileo/applications/maritime_en.htm)

2.14.6 Έρευνα και επιστήμη

Ο τομέας της έρευνας εμπεριέχει πολλούς επιμέρους τομείς. Μερικοί από αυτούς είναι η θαλάσσια – ωκεανογραφική έρευνα, η χαρτογραφική, η υδρογραφική, η έρευνα φυσικών πόρων, η έρευνα στην γεωδαισία, η σεισμική έρευνα και πολλές ακόμη. Το ζητούμενο όλων αυτών των επιστημονικών πεδίων χαρακτηριστικό είναι η υψηλή ακρίβεια στον εντοπισμό των σημείων. Μέχρι σήμερα χρησιμοποιούνταν διάφορες τεχνικές βελτίωσης της ακρίβειας των μετρήσεων GPS. Με την λειτουργία όμως του Galileo θα ανοιχτούν νέοι ορίζοντες , καθώς αυτό εξασφαλίζει: α) την μεγαλύτερη ακρίβεια και β) παγκόσμια κάλυψη από τους 30 δορυφόρους του συστήματος. Για παράδειγμα, οι έρευνες για την ανεύρεση φυσικών πόρων θα στηριχθούν κατά πολύ στο Galileo. Το πετρέλαιο ή κάποιο άλλο ορυκτό θα εντοπίζεται με πολύ μικρή απόκλιση σφάλματος, πράγμα που σημαίνει αποδοτικότερες γεωτρήσεις, σωστά σημεία εκσκαφών αλλά και μικρότερο κόστος διαδικασιών προερχόμενα από λανθασμένες μετρήσεις.

2.14.7 Αναψυχή

Στον τομέα της αναψυχής, ο χρήστης ορισμένες φορές πρέπει να γνωρίζει το στίγμα του για συγκεκριμένες διαδρομές, αλλά και για λόγους ασφαλείας του ιδίου ή της ομάδας στην οποία ανήκει. Ο πεζοπόρος φυσιολάτρης θα προτιμήσει το Galileo για λόγους μεγαλύτερης ακρίβειας, καλύτερου σήματος σε παγκόσμιο εύρος και αξιοπιστίας των μετρήσεών του. Το Galileo θα αποτελέσει την «διαστημική πυξίδα» του οδοιπόρου, του εξερευνητή, των πληρωμάτων σκαφών αναψυχής, σε μέρη άγνωστα γι' αυτούς ώστε να προσανατολίζονται σωστά. Τα τελευταία χρόνια έχει αναπτυχθεί ιδιαίτερα και το κυνήγι θησαυρού στην Αμερική αλλά και στην Ευρώπη, спор που θα αποτελέσει άλλο ένα πεδίο ανάπτυξης χρήσεων Galileo. Ο ταξιδιώτης στις διάφορες περιηγήσεις του σε άγνωστες πόλεις, θα μπορεί να έχει την συσκευή Galileo ως οδηγό σε κάθε μετακίνησή του με γρήγορο και ασφαλή εντοπισμό του προορισμού του.



Εικόνα 2.27 Χρήσιμο το Galileo στις δραστηριότητες αναψυχής

(Πηγή: http://ec.europa.eu/dgs/energy_transport/galileo/applications/maritime_en.htm)

2.14.8 Τοπογραφικές μελέτες

Οι μελέτες ενός τοπογράφου και πολιτικού μηχανικού απαιτούν ακρίβεια και αξιοπιστία στις μετρήσεις τους. Οι δύο αυτοί παράγοντες αυξάνουν τα ποσοστά ασφάλειας αλλά και κόστους σε ορισμένες περιπτώσεις έργων. Το Galileo κατοχυρώνοντας τα δύο αυτά χαρακτηριστικά, θα αποτελέσει σίγουρα ένα γερό χαρτί στα χέρια των μηχανικών και θα βελτιώσει ορισμένες προδιαγραφές σε πολλούς τομείς.



Εικόνα 2.28 Παρακολούθηση γέφυρας μέσω δεκτών Galileo

(Πηγή: http://ec.europa.eu/dgs/energy_transport/galileo/applications/maritime_en.htm)

Για παράδειγμα, δέκτες του ευρωπαϊκού συστήματος αναμένεται να τοποθετηθούν πάνω και γύρω από γέφυρες (βλ. Εικ. 2.28), σε ιστορικά μνημεία, σε φαράγγια, σε δρόμους, σε σιδηροδρομικές γραμμές, ώστε να παρατηρούνται μετακινήσεις ή παραμορφώσεις με μεγαλύτερη ακρίβεια από ό,τι γινόταν μέχρι σήμερα με το GPS. Επίσης, πολλές γέφυρες, παλαιότερων ίσως κατασκευών, θα μπορούν να παρακολουθούνται ώστε το βάρος των διερχόμενων οχημάτων να μην υπερβαίνει τα όρια αντοχής της γέφυρας και να μην υπάρχει κίνδυνος κατάρρευσης.

2.15 Σύγκριση GPS – Galileo

Τα δυο δορυφορικά συστήματα GPS και Galileo διέπονται από τις ίδιες αρχές λειτουργίας και τα ίδια βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά, όπως, για παράδειγμα, τον τρόπο εντοπισμού θέσης (ταυτόχρονη λήψη σήματος από τουλάχιστον 4 δορυφόρους), τα επιμέρους μέρη τους (δορυφορικό τμήμα, τμήμα ελέγχου, τμήμα χρηστών), κ.α. Είναι γεγονός πως το σύστημα Galileo βασίστηκε σε μεγάλο βαθμό στην εμπειρία και τεχνογνωσία που αποκτήθηκε

ύστερα από 30 χρόνια χρήσης του GPS και με κατάλληλες βελτιώσεις και σύγχρονες τεχνικές σχεδιάστηκε έτσι ώστε να παρέχει ακόμη καλύτερες υπηρεσίες.. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την αποφυγή τυχόν σφαλμάτων, τη μείωση του κόστους και του όγκου των δοκιμών-πειραματισμών σε θέματα έρευνας, όπως επίσης κι έναν γρηγορότερο ρυθμό ανάπτυξης. Χαρακτηριστικό είναι πως το GPS ως πρωτοπόρο στον τομέα της πλοήγησης χρειάστηκε περίπου 16 χρόνια (1978-1994) σε αντίθεση με το Galileo που αναμένεται να λειτουργήσει πλήρως από την πρώτη επιτυχή εκτόξευση δορυφόρου μέσα σε 8 χρόνια (2005-2013).

Συνεπώς, πέρα από τις ομοιότητες που έχουν ως δορυφορικά συστήματα παρουσιάζουν και ορισμένες διαφορές ως προς τις τεχνικές τους προδιαγραφές, οι οποίες είναι μάλιστα και εκείνες που τα διαφοροποιούν ως προς τις αποδόσεις τους. Τα διαφορετικά τεχνικά χαρακτηριστικά που έχουν οι δορυφόροι του Galileo έναντι των δορυφόρων του GPS (π.χ. μικρότερο βάρος, μεγαλύτερη διάρκεια ζωής), η διαφορετική γεωμετρική τους διάταξη (3 τροχιακά επίπεδα ανά 40° σε γωνία κλίσης 56° για το Galileo αντί για 6 ανά 60° σε γωνία κλίσης 55° για το GPS), καθώς και το διαφορετικό δίκτυο των επίγειων σταθμών (20 σταθμοί παρακολούθησης για το Galileo σε αντίθεση με τους 5 για το GPS) έχουν ως αποτέλεσμα σημαντικές διαφορές των δυο συστημάτων.

Οι διαφορές αυτές εντοπίζονται στην ακρίβεια του στίγματος και του χρόνου, στην αξιοπιστία των μετρήσεων, καθώς και στην κάλυψη σε όλα τα πλάτη και μήκη της γης. Το Galileo είναι κατά πολύ βελτιωμένο ως προς τα χαρακτηριστικά αυτά. Η ακρίβεια στίγματος που προσφέρει είναι της τάξης του 1 m έναντι των 10 m που προσφέρει το GPS. Η ακρίβεια των μετρήσεων σε πραγματικό χρόνο για το Galileo είναι 10 φορές καλύτερη από αυτή για το GPS κυρίως λόγω του hydrogen-maser ατομικού χρονομέτρου που οι δορυφόροι του πρώτου διαθέτουν σε αντίθεση με τα ατομικά χρονόμετρα καισίου ή ρουβιδίου του δεύτερου. Το hydrogen-maser χρονόμετρο αποτελεί μια από τις προηγμένες τεχνολογίες Galileo, που του εξασφαλίζουν πολύ καλή χρονική ακρίβεια της τάξης του 1 nsec σε αντίθεση με αυτή των 10 nsec των χρονομέτρων του GPS. (http://www.cere.gr/upload/APOPSEIS_20061110.pdf)

Ακόμη, η κάλυψη του GPS παγκοσμίως ποικίλει από περιοχή σε περιοχή ενώ εξαρτάται και από την ώρα της ημέρας. Προβλήματα αξιοπιστίας στις μετρήσεις εμφανίζονται στο περιβάλλον των πόλεων όπως επίσης και στις περιοχές σε ακραία γεωγραφικά πλάτη (π.χ. σκανδιναβικές χώρες). Σημαντικό μειονέκτημα αποτελούν επίσης τα σφάλματα της κατάστασης 'SA' (επιλεκτική διαθεσιμότητα) που υπεισέρχονται στις πολιτικές χρήσεις του συστήματος GPS καθώς ανά πάσα στιγμή (π.χ. κάποια στιγμή κρίσης) το σύστημα μπορεί να επιβάλλει σκόπιμη μείωση της ακρίβειας με όλα τα επακόλουθα που αυτό μπορεί να έχει. Αντιθέτως, το

Galileo παρουσιάζει καλύτερη παγκόσμια κάλυψη (99% γήινης επιφάνειας) και απόδοση ισχυρότερου σήματος στα πυκνοκατοικημένα κέντρα των πόλεων και στις περιοχές μεγάλου γεωγραφικού πλάτους. Επίσης, το Galileo δεν παρουσιάζει το μειονέκτημα της επιλεκτικής διαθεσιμότητας, αλλά εγγυάται τη συνεχή και απρόσκοπτη λειτουργία. Τέλος, η αξιοπιστία που παρουσιάζει το σήμα του Galileo είναι σαφώς μεγαλύτερη, καθώς οι δορυφόροι του έχουν τη δυνατότητα εκπομπής ενός σήματος ακεραιότητας (integrity message), το οποίο μεταβιβάζεται εντός 6 sec στον χρήστη. Βάσει αυτού μπορεί ο χρήστης στη συνέχεια να αξιολογεί την αξιοπιστία των μετρήσεων που λαμβάνει.

Το εύρος των εφαρμογών του Galileo δεν διαφέρει σε τίποτε από εκείνο του GPS. Και τα δυο συστήματα καλύπτουν τις ίδιες ανάγκες και απαιτήσεις της αγοράς. Όμως, το Galileo υπερέχει έναντι του GPS στον πραγματικό εντοπισμό θέσης με δέκτη μονής συχνότητας. Αυτό πρακτικά σημαίνει πως για το πλήθος των μαζικών εφαρμογών (π.χ. δέκτες χειρός) το ευρωπαϊκό σύστημα θα είναι καταλληλότερο.

Εν κατακλείδι, είναι σημαντικό να αναφερθεί πως αν και το σύστημα Galileo από μόνο του αποδεικνύεται πολύ λειτουργικό και αποδοτικό, ο σχεδιασμός του να είναι συμβατό με το GPS είναι κεφαλαιώδους σημασίας, αφού με διπλάσιο αριθμό διαθέσιμων δορυφόρων ο εντοπισμός θέσης θα επιτυγχάνεται με πολύ καλή ακρίβεια και αξιοπιστία για οποιονδήποτε χρήστη σε οποιαδήποτε περιοχή πάνω στη γη.

3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΡΟΧΙΩΝ & ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΘΕΣΗΣ

3.1 Εισαγωγή

Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 2, το δορυφορικό σύστημα Galileo δεν είναι ακόμη πλήρως επιχειρησιακό. Μέχρι σήμερα μόνο δυο (GIOVE-A και GIOVE-B) από τους τριάντα δορυφόρους του εκπέμπουν σήμα. Ως εκ τούτου, χωρίς να είναι ακόμη διαθέσιμες στους χρήστες πραγματικές μετρήσεις για το Galileo δεν είναι εύκολο να γίνει αξιολόγησή του παρά μόνο μέσω προσομοιωμένων δεδομένων μπορεί να δοθεί μια ρεαλιστική εκτίμηση για τη λειτουργία του συστήματος. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε το περιβάλλον GSSF, που έχει δημιουργηθεί από την ESA και για το οποίο εκτενέστερη αναφορά γίνεται στο κεφάλαιο 4.

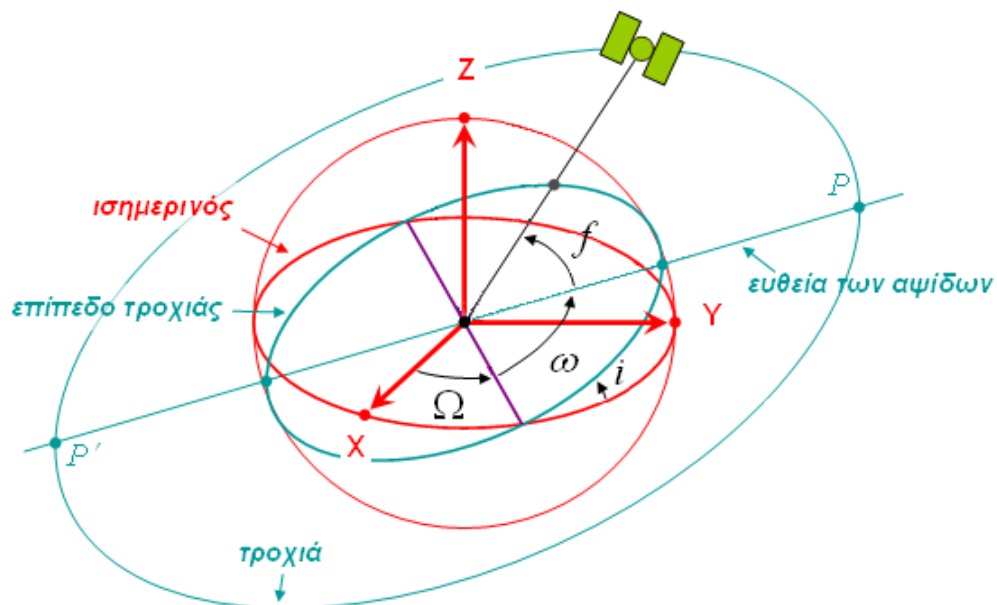
Στο παρόν κεφάλαιο προσεγγίζεται θεωρητικά η διαδικασία με την οποία προσομοιώνονται οι μετρήσεις θέσης από τους δορυφόρους και είναι η ίδια για όλα τα δορυφορικά συστήματα εντοπισμού θέσης όπως το GPS. Το περιβάλλον GSSF χρησιμοποιεί το μαθηματικό μοντέλο που περιγράφεται εδώ και βασίζεται στον προσδιορισμό της θέσης των δορυφόρων βάσει των κεπλέρων στοιχείων των τροχιών. Έτσι, δεδομένα εισαγωγής στο μοντέλο προσομοίωσης αποτελούν τα κεπλέρια στοιχεία των τροχιών, που είναι γνωστά για το κάθε σύστημα. Η δεύτερη ενότητα του κεφαλαίου αναφέρεται στους συντελεστές εσωτερικής ακρίβειας, DOP (Dilution of Precision), οι οποίοι αποτέλεσαν σημαντικούς ποιοτικούς δείκτες στην αξιολόγηση του τρόπου λειτουργίας του συστήματος (βλ. Κεφ. 5).

3.2 Στοιχεία Τροχιών Δορυφόρων Galileo

Οι τροχιές των δορυφόρων περιγράφονται από ένα απλό μοντέλο κεπλέριας έλλειψης, το οποίο είναι το ίδιο για όλα τα δορυφορικά συστήματα πλοήγησης (π.χ. GPS). Τα στοιχεία κάθε τροχιάς αποτελούνται από τις παραμέτρους του Kepler (στοιχεία μέσης ελλειπτικής τροχιάς), τις διαταρακτικές παραμέτρους που περιγράφουν την απόκλιση της τροχιάς από τη μέση ελλειπτική τροχιά, καθώς και τις παραμέτρους που απαιτούνται για τη διόρθωση του ονομαστικού χρόνου του χρονομέτρου των δορυφόρων σε χρόνο Galileo.

Στο σχήμα 3.1 φαίνεται η ελλειπτική τροχιά και οι παράμετροι – βασικά Κεπλέρια στοιχεία που την ορίζουν. Ο προσανατολισμός του τροχιακού επιπέδου ορίζεται από τη γωνία κλίσης (i) ως προς το ισημερινό επίπεδο και την ορθή αναφορά (Ω) του συνδέσμου ανάβασης. Ο σύνδεσμος ανάβασης είναι το σημείο τομής της ελλειπτικής τροχιάς με το ισημερινό επίπεδο

καθώς ο δορυφόρος περνά από το Νότιο στο Βόρειο ημισφαίριο. Παρόμοια ορίζεται ο σύνδεσμος κατάβασης (καθώς ο δορυφόρος περνά από το Βόρειο στο Νότιο ημισφαίριο) και συνεπώς ορίζεται η γραμμή των συνδέσμων. Μετά τον προσανατολισμό του τροχιακού επιπέδου η έλλειψη πάνω στο επίπεδο αυτό ορίζεται από το όρισμα του περιγείου (ω) που είναι η γωνία μεταξύ της γραμμής των συνδέσμων και της γραμμής των αφίδων (ευθεία που ορίζεται από το περίγειο και απόγειο) μετρημένη με αφετηρία τη διεύθυνση του συνδέσμου ανάβασης προς τη διεύθυνση του περιγείου (διεύθυνση μεγάλου άξονα έλλειψης). Ορίζοντας το σχήμα και το μέγεθος της έλλειψης (a , e) απομένει να ορισθεί η θέση του δορυφόρου πάνω στην έλλειψη για κάποια εποχή (t), που επιτυγχάνεται με την αληθή ανωμαλία (γωνία f) ή την εκκεντρική ανωμαλία E ή την μέση ανωμαλία M (Φωτίου & Πικριδάς, 2006).



Σχήμα 3.1 Η κεπλέρια έλλειψη και τα στοιχεία της

(Πηγή: http://der.topo.auth.gr/RF/ReferenceFrames_2007-08_11.pps)

Αναλυτικά, τα στοιχεία της τροχιάς που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό των συντεταγμένων των δορυφόρων στη μορφή που δίνονται από το αρχείο της εκπεμπόμενης εφημερίδας περιγράφονται από τις εξής 17 παραμέτρους:

α) 2 Χρονικές παράμετροι

t_{oe} : εποχή αναφοράς για τις παραμέτρους της εφημερίδας

IOD_{nav} : διορθώσεις εφημερίδας και χρόνου

β) 6 Παράμετροι Kepler

$\sqrt{a}$: τετραγωνική ρίζα μεγάλου ημιάξονα της ελλειπτικής τροχιάς

e : εκκεντρότητα της ελλειπτικής τροχιάς

i_0 : γωνία κλίσης κατά την εποχή αναφοράς

Ω_0 : μήκος συνδέσμου ανάβασης κατά την εποχή αναφοράς

ω : όρισμα του περιγείου

M_0 : μέση ανωμαλία κατά την εποχή αναφοράς

γ) 9 Διαταρακτικές παράμετροι

Δn : διόρθωση μέσης κίνησης

$\dot{\Omega}$: ρυθμός μεταβολής της ορθής αναφοράς του συνδέσμου ανάβασης

$\dot{i}$: ρυθμός μεταβολής της γωνίας κλίσης

C_{us}, C_{uc} : συντελεστές διόρθωσης στο όρισμα του πλάτους u

C_{is}, C_{ic} : συντελεστές διόρθωσης στη γωνία κλίσης i

C_{rs}, C_{rc} : συντελεστές διόρθωσης στην ακτίνα της τροχιάς (γεωκεντρική απόσταση)

Το συνολικό μέγεθος των παραμέτρων στο αρχείο της εφημερίδας είναι 363 bits. Τα χαρακτηριστικά των παραμέτρων της εφημερίδας για κάθε δορυφόρο Galileo δίνονται στον πίνακα 3.2.

Parameter	No. of Bits	Scale Factor	Unit
μ_0	32	2^{-31}	semicircle
Δn	16	2^{-43}	semicircle/s
e	32	2^{-33}	dimensionless
$\sqrt{a}$	32	2^{-19}	m ^{1/2}
Ω_0	32	2^{-31}	semicircle
i_0	32	2^{-31}	semicircle
ω	32	2^{-31}	semicircle
$\dot{\Omega}$	24	2^{-43}	semicircle/s
$\dot{i}$	14	2^{-43}	semicircle/s
C_{uc}	16	2^{-29}	radian
C_{us}	16	2^{-29}	radian
C_{rs}	16	2^{-6}	m
C_{rc}	16	2^{-6}	m
C_{ic}	16	2^{-29}	radian
C_{is}	16	2^{-29}	radian
t_{oe}	14	60	s
IOD _{nav}	9	—	—

Πίνακας 3.2 Παράμετροι εφημερίδας Galileo

Πηγή: <http://www.galileoic.org/la/files/Galileo%20OS%20SIS%20ICD%20230506.pdf>

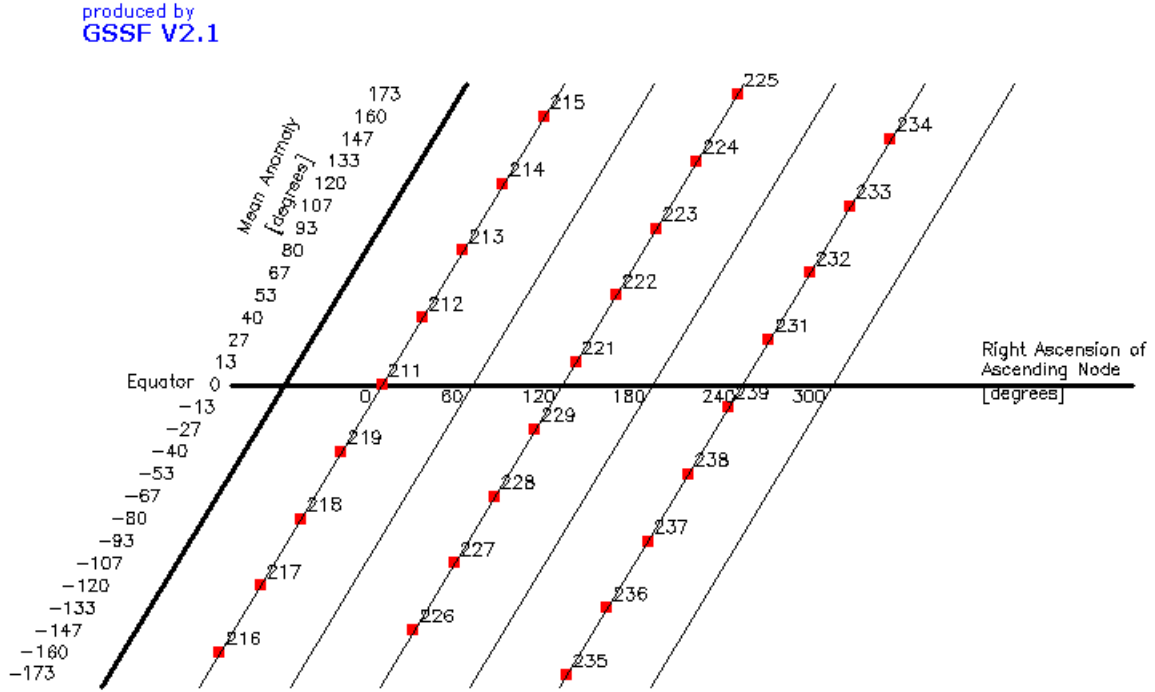
Οι τιμές των βασικών κεπλέρων στοιχείων του Galileo δίνονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Παράμετρος	Ορισμός	Τιμή
α	Μεγάλος ημιάξονας έλλειψης	29600.318 km
i	Γωνία κλίσης	56°
e	Εκκεντρότητα	0.0
Ω_0	Μήκος συνδέσμου ανάβασης	0°, 120°, 240°
$\dot{\Omega}$	Ρυθμός μεταβολής συνδέσμου ανάβασης	0.0°/day
Ω	Όρισμα περιγείου	0.0°
M_0	Μέση ανωμαλία (1 st orbit plan)	-160°, -120°, ..., 120°, 160°

Πίνακας 3.3 Βασικά κεπλέρια στοιχεία για το Galileo

Στην εικόνα 3.4 διακρίνονται τα τρία τροχιακά επίπεδα του δορυφορικού σχηματισμού Galileo με τους αντίστοιχους δορυφόρους κατανεμημένους σε αυτά ανά 40° (Mean Anomaly), από -160° έως 160° για το πρώτο τροχιακό επίπεδο και αντίστοιχα για τα άλλα δύο. Φαίνεται

ακόμη το μήκος συνδέσμου ανάβασης σε μοίρες (Right Ascension of Ascending Node) βάσει του οποίου είναι ίσα κατανεμημένα τα τροχιακά επίπεδα.



Εικόνα 3.4 Επίπεδη απεικόνιση δορυφορικού σχηματισμού Galileo
(Πηγή: Πρόγραμμα GSSF)

3.3 Υπολογισμός Τροχιών

Η θέση του κάθε δορυφόρου Galileo μπορεί να υπολογισθεί χρησιμοποιώντας τις 17 παραμέτρους της τροχιάς. Οι γεωκεντρικές συντεταγμένες (X^k, Y^k, Z^k) του δορυφόρου k στον χρόνο t_j δίνονται από την σχέση

$$\begin{bmatrix} X^k(t_j) \\ Y^k(t_j) \\ Z^k(t_j) \end{bmatrix} = R_3(-\Omega_j^k) R_1(-i_j^k) R_3(-\omega_j^k) \begin{bmatrix} r_j^k \cos f_j^k \\ r_j^k \sin f_j^k \\ 0 \end{bmatrix}$$

Εξίσωση 3.5 Συντεταγμένες δορυφόρου

Για τον ορισμό των παραμέτρων Ω , i , ω και f βλ. Σχήμα 3.1. Τα μεγέθη $r_j^k = \|r(t_j)\|$, a , e , και E υπολογίζονται συναρτήσει του t σύμφωνα με την παρακάτω διαδικασία:

Χρόνος από την εποχή αναφοράς της εφημερίδας

$$t_j = t - t_{oe}$$

Μέση ανωμαλία

$$\mu_j = \mu_0 + \left(\sqrt{GM/a^3} + \Delta n \right) t_j$$

Βαρυτική σταθερά

$$GM = 3.986005 \cdot 10^{14} \text{ m}^3/\text{sec}^2$$

Υπολογισμός της εκκεντρικής ανωμαλία μέσω διαδοχικών επαναλήψεων (μέχρι η τιμή της E να γίνει μικρότερη από 10^{-8} ή μέχρι μέγιστο αριθμό 25 επαναλήψεων):

Εκκεντρική ανωμαλία

$$E_j = \mu_j + e \cdot \sin E_j$$

Αληθής ανωμαλία

$$f_j = \arctan \frac{\sqrt{1-e^2} \sin E_j}{\cos E_j - e}$$

Υπολογισμός δευτέρων διαταρακτικών αρμονικών:

Μήκος συνδέσμου ανάβασης

$$\Omega_j = \Omega_0 + (\dot{\Omega} - \omega_e) t_j - \omega_e t_{oe}$$

Ρυθμός περιστροφής της Γης

$$\omega_e = 7.292115147 \cdot 10^{-5} \text{ rad/sec}$$

Διορθωμένο όρισμα περιγείου $\omega_j = \omega + f_j + C_{uc} \cos 2(\omega + f_j) + C_{us} \sin 2(\omega + f_j)$

Διορθωμένη ακτίνα $r_j = a(1 - e \cos E_j) + C_{rc} \cos 2(\omega + f_j) + C_{rs} \sin 2(\omega + f_j)$

Διορθωμένη κλίση $i_j = i_0 + \dot{i} t_j + C_{ic} \cos 2(\omega + f_j) + C_{is} \sin 2(\omega + f_j)$

Εφόσον υπολογιστούν μέσω της εξίσωσης 3.5 οι συντεταγμένες του δορυφόρου το ζητούμενο είναι να υπολογιστούν οι μετρήσεις ψευδοαπόστασης μεταξύ δορυφόρου - δέκτη με δεδομένα εισαγωγής τα δεδομένα του δέκτη X_A, Y_A, Z_A . Σύμφωνα με τη μέθοδο των εξισώσεων παρατηρήσεων (βλ. Παραδείσης, 2000), η εξίσωση παρατήρησης της ψευδοαπόστασης μεταξύ κάθε δορυφόρου (k) και του σημείου A γράφεται:

$$pr_A^k = \sqrt{(X^k - X_A)^2 + (Y^k - Y_A)^2 + (Z^k - Z_A)^2} - c \cdot (\delta\tau_A - \delta t^k) + d_{iono} + d_{tropo}$$

Εξίσωση 3.6 Εξίσωση παρατήρησης ψευδοαπόστασης

Για την περίπτωση του λογισμικού GSSF τα ατμοσφαιρικά σφάλματα, d_{iono} και d_{tropo} , καθώς και τα σφάλματα των χρονομέτρων υπολογίζονται με τη χρήση μοντέλων που

προσομοιώνουν το περιβάλλον (ατμόσφαιρας, χρόνος) και εκφράζονται με τις προκαθορισμένες θεωρητικές τιμές UERE (User Equivalent Range Error).

Η παραπάνω διαδικασία υπολογισμού είναι παρόμοια με εκείνη για το GPS.

3.4 Σφάλματα και Πηγές Σφαλμάτων

Με ορισμένες τις τροχιές των δορυφόρων και τις θέσεις τους πάνω σε αυτές για κάθε χρονική στιγμή, ένας δέκτης μπορεί με κατάλληλες παρατηρήσεις να υπολογίσει τη θέση του. Σε αυτές τις μετρήσεις όμως υπεισέρχονται σφάλματα που μειώνουν την ακρίβεια του εντοπισμού θέσης του δέκτη. Για αυτά γίνεται διεξοδική αναφορά στο κεφάλαιο 2, ενότητα 12.

3.5 Αρχεία Εφημερίδων και Παρατηρήσεων (RINEX)

Με την ίδια μέθοδο που δημιουργούνται τα προσομοιωμένα δεδομένα (βλ. μετρήσεις θέσης) δημιουργούνται και τα πραγματικά αρχεία μετρήσεων, όπως δίνονται στα αρχεία RINEX, μόνο που δεν είναι error-free. Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται απόσπασμα αρχείου παρατηρήσεων Galileo (observation file) σε RINEX format (βλ. Πιν. 3.7). Πρόκειται για την νέα έκδοση 3.00 (Gurtner & Estey, 2007) η οποία βασίζεται στην προηγούμενη (RINEX Version 2.0) και με κατάλληλες τροποποιήσεις στοχεύει να καλύψει τις ανάγκες του συστήματος Galileo αλλά και τις νέες και μελλοντικές αναβαθμίσεις των GPS και GLONASS. Εκτός από το αρχείο παρατηρήσεων, στο ίδιο format εξάγεται και το αρχείο του μηνύματος πλοήγησης (navigation file).

TABLE A7 OBSERVATION DATA FILE - EXAMPLE															
----- ---1 0--- ---2 0--- ---3 0--- ---4 0--- ---5 0--- ---6 0--- ---7 0--- ---8															
3.00 OBSERVATION DATA M (MIXED) RINEX VERSION / TYPE															
BLANK OR G = GPS, R = GLONASS, E = GALILEO, M = MIXED COMMENT															
XXRINEXO V9.9 AIUB 24-MAR-05 14:43 PGM / RUN BY / DATE															
EXAMPLE OF A MIXED RINEX FILE COMMENT															
A 9080 MARKER NAME															
9080.1.34 MARKER NUMBER															
GEODETIC MARKER TYPE															
BILL SMITH ABC INSTITUTE OBSERVER / AGENCY															
X1234A123 XX ZZZ REC # / TYPE / VERS															
234 YY ANT # / TYPE															
4375274. 587466. 4589095. APPROX POSITION XYZ															
.9030 .0000 .0000 ANTENNA: DELTA H/E/N															
NO CLOCK OFFSET APPLIED COMMENT															
0 RCV CLOCK OFFS APPL															
MIXED FILE GPS/SBAS/GALILEO/GLONASS COMMENT															
G 8 C1P L1P C2C C2P L2P C5Q L5Q S1P SYS / # / OBS TYPES															
S 2 C1C L1C SYS / # / OBS TYPES															
E 4 C1C L1C C5Q L5Q SYS / # / OBS TYPES															
R 4 C1P L1P C2P L2P SYS / # / OBS TYPES															
P-code based L2 phases of six GPS satellites in half wavel. COMMENT															
G L2P 6 G14 G15 G16 G17 G18 G19 SYS / HALF CYCLES															
P-code based L1 phases of all GPS satellites in half wavel. COMMENT															
G L1P SYS / HALF CYCLES															
E 10 2 L1C L5Q SYS / SCALE FACTOR															
30.000 INTERVAL															
2005 3 24 13 10 36.0000000 GPS TIME OF FIRST OBS															
END OF HEADER															
05 3 24 13 10 36.0000000 0 3G12S20E11R21 -.123456789															
21456789.123 .123 7 21456789.231 21456789.321 -.123 7															
21456789.312 .321 7 123.213															
40123456.789 -.987 8															
26789012.345 -.435 9 26789012.543 .453 9															
19876543.210 .012 6 19876543.021 -.120 6															
4 3															
The first two lines contain the 8 observations of G12 COMMENT															
The third line contains the 2 observations of S20 COMMENT															
The fourth line contains the 4 observations of E11, etc COMMENT															

Πίνακας 3.7 Απόσπασμα αρχείου RINEX

(Πηγή: Gurtner & Estey L., (2005))

Εκτός όμως από το RINEX αρχείο που προβλέπεται και για τα τρία συστήματα μαζί δίνεται ένα ίδιο αντιπροσωπευτικό μόνο για το σύστημα Galileo (βλ. Πίν 3.8)

RINEX 3.00 File generated with GSSF

3.00	O	M	RINEX VERSION / TYPE	
GSSF	GSSF Community	25-May-05 06:57	PGM / RUN BY / DATE	
RINEX file generated by GSSF			COMMENT	
KOUR			MARKER NAME	
0			MARKER NUMBER	
svaradarajulu	GSSF Community		OBSERVER / AGENCY	
RX9	GSSF RDG	GSSF V2.0	REC # / TYPE / VERS	
RX9	GSSF RDG		ANT # / TYPE	
3839248.0513 -5059856.0467 579716.8603			APPROX POSITION XYZ	
Approx coords replaced by True simulation coords			COMMENT	
0.0000 0.0000 0.0000			ANTENNA: DELTA H/E/N	
1 2			WAVELENGTH FACT L1/2	
E 4 D1A L1A C1A S1A			SYS / # / TYPES OF OBSERV	
300.000			INTERVAL	
2003 6 20 9 0 0.0000000 GPS			TIME OF FIRST OBS	
			END OF HEADER	
03 06 20 09 00 0.0000000 0 9E11E12E19E25E26E27E32E33E34				
-214.53000	123807764.36800	23559839.38400	61.69200	
-2145.90000	137840533.57800	26230191.16700	58.67600	
1994.99300	127883428.09300	24335412.70900	62.19600	
-596.85200	135983233.72200	25876756.53200	58.90600	
-1763.99700	134236494.87000	25544362.26800	57.29200	
-1943.90400	144863861.91100	27566686.14000	51.98300	
1078.54800	141732024.51300	26970718.41600	56.01100	
883.16100	134814499.04800	25654354.50600	57.64600	
210.85700	140097889.15200	26659752.86000	57.08100	

Πίνακας 3.8 Αρχείο RINEX Galileo

(Πηγή: Zimmermann et al, (2005))

Χωρίς να υπεισέλθουμε σε αναλυτική περιγραφή της μορφής του αρχείου (βλ. βιβλιογραφικές αναφορές: Gurtner W., Mader G., (1990), “RINEX: The Receiver Independent Exchange Format Version 2.10”, Sep/Oct. και Scott, V.D., Clynych J. (1986), “A Proposed Standardized Exchange Format for Navstar GPS Geodetic Data”, Proceedings of the Fourth International Geodetic Symposium on Satellite Systems, pp. 513ff, Austin, Texas) δίνονται στη συνέχεια μερικά γενικά σχόλια.

Στο πρώτο μέρος του αρχείου – παραδείγματος (Πιν. 3.8), δίνονται οι σχετικές πληροφορίες για τα δεδομένα: Το όνομα του σημείου (KOUR), η ταυτότητα του δέκτη (RX 9) και της κεραίας (RX 9), οι προσεγγιστικές συντεταγμένες για κάθε σημείο που στήθηκε ο δέκτης και έλαβε μετρήσεις (3839248.0513 -5059856.0467 579716.8603), τα στοιχεία εκκεντρότητας της κεραίας σε μέτρα [Η το ύψος κεραίας (0.0000) έως το γεωμετρικό κέντρο ARP, (N, E) οι μεταθέσεις του ARP από το σημείο μέτρησης κατά ‘βορρά’ (.0000) και ‘ανατολή’ (.0000)], τα είδη των παρατηρήσεων (E 4 D1A L1A C1A S1A), ο ρυθμός καταγραφής (300 sec), ο χρόνος πρώτης καταγραφής των παρατηρήσεων (2003 6 20) και ο συνολικός αριθμός των παρατηρηθέντων δορυφόρων (9). Επίσης, στη συνέχεια δίνεται και ο συνολικός αριθμός των παρατηρήσεων από κάθε δορυφόρο PRN.

Στο δεύτερο μέρος του αρχείου – παραδείγματος (Πιν. 3.8) δίνονται οι τιμές των παρατηρήσεων όπως περιγράφηκαν παραπάνω. Κάθε ‘παράγραφος’ αρχίζει με μια σειρά που αφορά στην εποχή καταγραφής, τον αριθμό των λαμβανομένων δορυφόρων και τον αριθμό PRN του κάθε δορυφόρου. Για παράδειγμα η πρώτη σειρά της παραγράφου

03 06 20 09 00 00.0000000 0 9E11E12E19E25E26E27E32E33E34

σημαίνει: ημερομηνία 20-06-03 (03 06 20) στη μορφή ‘yyymmdd’, εποχή καταγραφής $9^h 0^m 0^s$ (09 00 0.0000000), κωδικός (epoch flag) με τιμές 0 αν όλα είναι εντάξει με τη λειτουργία του δέκτη και ≥ 1 εάν υπάρχει κάποιο πρόβλημα ή κάποια αλλαγή κατά τη συλλογή δεδομένων (π.χ. στην κινηματική διαδικασία τίθεται ο κωδικός 2), ο συνολικός αριθμός των λαμβανομένων δορυφόρων (9) για την τρέχουσα εποχή και οι PRN αριθμοί των δορυφόρων (E11E12E19E25E26E27E32E33E34) για τους οποίους με τη σειρά που δίνονται καταγράφονται σε κάθε επόμενη σειρά της παραγράφου οι παρατηρήσεις (D1A, L1A, C1A, S1A). Ακολουθούν οι εννέα σειρές των παρατηρήσεων για τη συγκεκριμένη εποχή και για κάθε δορυφόρο.

Οι επόμενες παράγραφοι (όσες και οι εποχές παρατηρήσεων) επαναλαμβάνονται με την ίδια λογική μέχρι το τέλος των παρατηρήσεων για το συγκεκριμένο σημείο. Αν στο ίδιο αρχείο υπάρχουν παρατηρήσεις και για και άλλα σημεία μέτρησης επαναλαμβάνονται όλα τα προηγούμενα στοιχεία από την αρχή, τόσες φορές όσα είναι τα επιπλέον σημεία.

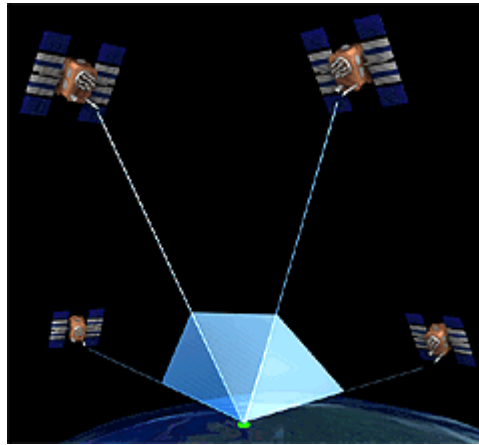
Τέλος, στο παράρτημα Β παρατίθεται ολόκληρο το αρχείο παρατηρήσεων Galileo (observation file) σε RINEX format.

3.6 Ορισμός DOP

Ο αριθμός των δορυφόρων που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της θέσης και η γεωμετρία τους στον ορίζοντα προσδιορίζουν το σφάλμα υπολογισμού θέσης ενός χρήστη. Για παράδειγμα, αν τέσσερις δορυφόροι είναι συγκεντρωμένοι σε κάποιο σημείο του ορίζοντα, τότε ένα μέτρο σφάλματος στον υπολογισμό των αποστάσεων προς αυτούς είναι πιθανό να εισάγει δεκάδες ή εκατοντάδες μέτρα σφάλματος στον υπολογισμό της θέσης. Αν όμως αρκετοί δορυφόροι είναι διασκορπισμένοι στον ορίζοντα τότε το σφάλμα στον υπολογισμό της θέσης είναι πιθανό να είναι μικρότερο από 1.5m (εκτίμηση για GPS) για κάθε μέτρο σφάλματος στον υπολογισμό των αποστάσεων προς τους δορυφόρους. Η επίδραση της γεωμετρίας των δορυφόρων στο σφάλμα υπολογισμού της θέσης ονομάζεται GDOP (Geometric Dilution of

Precision) και μπορεί χονδρικά να ερμηνευτεί ως ο λόγος του σφάλματος υπολογισμού της θέσης με το σφάλμα υπολογισμού των αποστάσεων προς τους δορυφόρους.

Στην εικόνα 3.9 φαίνεται ένα τετράεδρο το οποίο σχηματίζεται από τις γραμμές που συνδέουν τον δέκτη-κεραία με τους δορυφόρους. Όσο μεγαλύτερος είναι ο όγκος αυτού του τετραέδρου τόσο μικρότερο (καλύτερο) είναι το GDOP. Στις περισσότερες περιπτώσεις όσους περισσότερους δορυφόρους λαμβάνουμε τόσο καλύτερο είναι το GDOP.



Εικόνα 3.9 Γεωμετρία δορυφόρων

(Πηγή: <http://www.cmtinc.com/gpsbook/chap7.html>)

Οι συντελεστές γεωμετρικής ακρίβειας DOP υπολογίζονται για n πομπούς $T_i (i = \{1; 2; \dots; n\})$ των οποίων η θέση περιγράφεται από το διάνυσμα $\bar{T}_i$ συντεταγμένων T_{xi}, T_{yi}, T_{zi} και για έναν δέκτη $\bar{R}$ συντεταγμένων R_x, R_y, R_z . Η απόσταση ρ_i από τον δέκτη στον πομπό είναι:

$$\rho_i = \|\bar{T}_i - \bar{R}_i\| = \sqrt{(T_{xi} - R_x)^2 + (T_{yi} - R_y)^2 + (T_{zi} - R_z)^2}$$

Στη συνέχεια, οι συντεταγμένες του μοναδιαίου διανύσματος είναι οι D_{xi}, D_{yi}, D_{zi} :

$$D_{xi} = \frac{T_{xi} - R_x}{\rho_i}, D_{yi} = \frac{T_{yi} - R_y}{\rho_i}, D_{zi} = \frac{T_{zi} - R_z}{\rho_i},$$

ενώ για τον χρόνο είναι $D_{ti} = -1$

Ο πίνακας παρατηρήσεων είναι ο εξής:

$$A = \begin{pmatrix} D_{x1} & D_{y1} & D_{z1} & D_{t1} \\ D_{x2} & D_{y2} & D_{z2} & D_{t2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ D_{xn} & D_{yn} & D_{zn} & D_{tn} \end{pmatrix}$$

και ο πίνακας βαρών P: $P = (A^T A)^{-1}$

Τότε οι συντελεστές DOP ορίζονται ως εξής:

$$GDOP = \sqrt{P_{1,1} + P_{2,2} + P_{3,3} + P_{4,4}} \quad \text{Geometric DOP}$$

$$PDOP = \sqrt{P_{1,1} + P_{2,2} + P_{3,3}} \quad \text{Position DOP}$$

$$HDOP = \sqrt{P_{1,1} + P_{2,2}} \quad \text{Horizontal DOP}$$

$$VDOP = \sqrt{P_{3,3}} \quad \text{Vertical DOP}$$

$$TDOP = \sqrt{P_{4,4}} \quad \text{Time DOP}$$

4 ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ GSSF

4.1 Εισαγωγή

Ήδη από την έναρξη του προγράμματος Galileo και στο πλαίσιο της φάσης καθορισμού του έχουν αναπτυχθεί από την ESA διάφορα εργαλεία σχεδιασμού και προσομοίωσης συστημάτων καθώς και πειραματικές πλατφόρμες λογισμικού, προκειμένου να σχεδιασθεί το σύστημα τηρώντας τις απαιτήσεις διαθεσιμότητας (availability), συνέχειας (continuity) και ακεραιότητας (integrity). Αυτά είναι κυρίως τα ακόλουθα εργαλεία: 1) το Galileo Mission Analysis Simulator (GMAS), που αφορά στο σχεδιασμό του Τμήματος του Διαστήματος, 2) το Galileo Service Volume Simulator (GSVS), που αναλύει το σύνολο των απαιτήσεων απόδοσης βάσει αναλύσεων κάλυψης για διαφορετικά επίπεδα υπηρεσιών, 3) το Galileo Signal Validation Facility (GSVF), που αξιολογεί τη δομή των δορυφορικών σημάτων και μηνυμάτων, και, τέλος, 4) το Galileo System Simulation Facility (GSSF), που αξιολογεί τη χρήση του συστήματος για μια μεγάλη ποικιλία χρηστών κάτω από διαφορετικές συνθήκες. Και τα τέσσερα λογισμικά πακέτα είναι διαθέσιμα με παροχή άδειας χρήσης από την ESA.

Στο παρόν κεφάλαιο περιγράφονται εμπεριστατωμένα οι βασικές λειτουργίες του τελευταίου εκ των άνω λογισμικών πακέτων, καθώς αυτό συγκεντρώνει όλα εκείνα τα εργαλεία και τις δυνατότητες, που χρησιμοποιήθηκαν για τις δοκιμές και αναλύσεις, τις οποίες η παρούσα εργασία υπαγορεύει. Η ανάγκη χρήσης ενός τέτοιου λογισμικού προσομοίωσης προκύπτει από το γεγονός ότι, παρά τα αρχικά σχέδια, το σύστημα Galileo δεν έχει ακόμη τεθεί πλήρως σε λειτουργία, καθώς μόνο 2 από το σύνολο των 30 δορυφόρων έχουν εκτοξευθεί επιτυχώς και έχουν μεταδώσει σήμα. Χωρίς να είναι διαθέσιμες πραγματικές μετρήσεις για το Galileo δεν είναι δυνατό να γίνει κανενός είδους αξιολόγησή του, πράγμα που αποτελεί κύριο στόχο της παρούσας μελέτης. Μέσω όμως προσομοιωμένων δεδομένων μπορεί να δοθεί μια ρεαλιστική εκτίμηση για τη λειτουργία του συστήματος. Ως εκ τούτου γίνεται αντιληπτός ο λόγος για τον οποίο αφιερώνεται ένα σημαντικό κομμάτι του πονήματος αυτού στην περιγραφή και ανάπτυξη του προγράμματος GSSF. Ακόμη κρίθηκε σκόπιμο να περιγραφούν οι βασικότερες εντολές του προγράμματος, οι οποίες δίνονται σε ξεχωριστή ενότητα του κεφαλαίου.

4.2 Το Λογισμικό GSSF

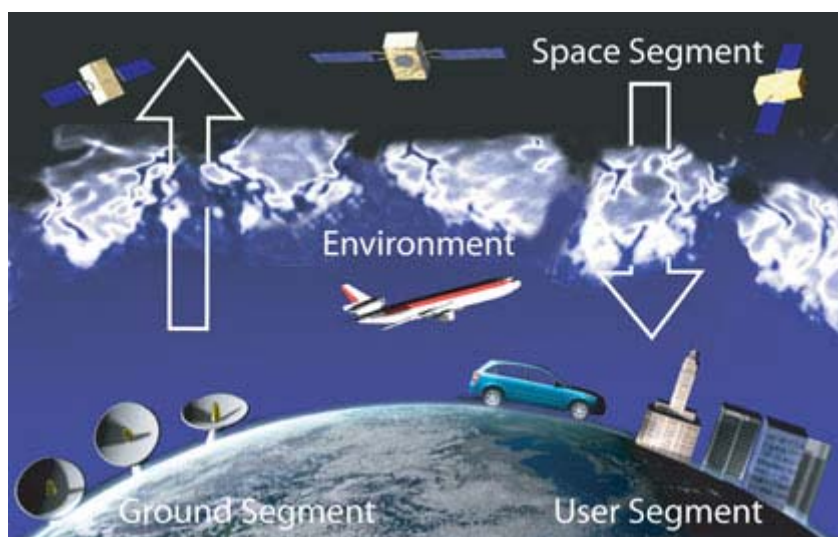
Το GSSF είναι ένα λογισμικό εργαλείο, το οποίο δίνει τη δυνατότητα προσομοίωσης του δορυφορικού συστήματος πλοήγησης Galileo, αναπαράγοντας τον τρόπο λειτουργίας και την ποιότητα του συστήματος. Ως περιβάλλον προσομοίωσης παρέχει την απαιτούμενη ευελιξία, ώστε να υποστηρίζονται οι ανάγκες προσομοίωσης του συστήματος καθ' όλη τη διάρκεια κύκλου ζωής του προγράμματος. Αναπτύχθηκε για λογαριασμό της ESA / ESTEC (European Space Research and Technology Center) με σκοπό να αποτελέσει την κεντρική υποδομή επικύρωσης σχεδιασμού του συστήματος Galileo στο στάδιο που προηγείται της υλοποίησης του. Η επίσημη ιστοσελίδα για το πρόγραμμα GSSF είναι η www.gssf.info.

4.3 Δυνατότητες Προσομοίωσης και Ανάλυσης

Το GSSF παρέχει στον χρήστη τη δυνατότητα να δημιουργήσει μοντέλα που να προσομοιώνουν τη λειτουργικότητα του Galileo, η οποία εκφράζεται μέσω της ακρίβειας στον εντοπισμό θέσης (navigational accuracy), της ακεραιότητας των δεδομένων (data integrity), της επίδρασης του περιβάλλοντος στην πλοήγηση και της λειτουργίας του τμήματος ελέγχου (ground segment performance). Το πρόγραμμα GSSF διαθέτει μοντέλα που εξομοιώνουν τα επιμέρους τμήματα τόσο του συστήματος Galileo όσο και των GPS και EGNOS. Αυτά, όπως φαίνονται στην Εικόνα 4.1, είναι τα ακόλουθα:

- Δορυφορικό Τμήμα (Space Segment): σχετικά μοντέλα προσομοιώνουν τον δορυφορικό σχηματισμό του κάθε συστήματος.
- Τμήμα Χρηστών (User Segment): προκειμένου να αναλυθεί η απόδοση του εντοπισμού θέσης και της ακεραιότητας σε επίπεδο χρήστη, το GSSF μοντελοποιεί τον δέκτη του χρήστη και τους εσωτερικούς αλγόριθμους, που υπολογίζουν τους ποιοτικούς δείκτες του εντοπισμού.
- Τμήμα Ελέγχου (Ground Segment): παρέχονται μοντέλα που υποστηρίζουν αναλύσεις σχετικές με τη θέση των σταθμών και τον καθορισμό των δορυφόρων.
- Περιβάλλον (Environment): οι διαταρακτικές παράμετροι προστίθενται στο σενάριο ώστε να προσομοιωθεί η επίδραση της ατμόσφαιρας, της πολυανάκλασης

(multipath) και του θορύβου του δέκτη στην διαδικασία του εντοπισμού θέσης του χρήστη.



Εικόνα 4.1 Επιμέρους τμήματα δορυφορικού συστήματος
(Πηγή: <http://www.gssf.info/GSSF%20subpage%20GSSF%20models.htm>)

Όπως διακρίνεται στην παραπάνω εικόνα, τα επιμέρους τμήματα ενός δορυφορικού συστήματος σχετίζονται άμεσα μεταξύ τους. Το δορυφορικό τμήμα είναι εκείνο που αποτελείται από τους δορυφόρους που βρίσκονται σε καθορισμένες τροχιές και εκπέμπουν τα σήματα ραδιοπλοήγησης προς τους δέκτες του τμήματος χρηστών. Ανάμεσα στα δύο τμήματα παρεμβάλλεται όμως το περιβάλλον, που περιέχει την τροπόσφαιρα, την ιονόσφαιρα, τα φυσικά εμπόδια (urban canyon) κ.ά. Συνεπώς, τα σήματα φτάνουν στους δέκτες με σφάλματα που προκύπτουν από την επίδραση όλων αυτών των διαταρακτικών παραμέτρων. Αυτά τα σφάλματα και οι παράμετροι εξετάζονται και ελέγχονται από το τμήμα ελέγχου και αποστέλλονται πάλι πίσω στους δορυφόρους σε μορφή εφημερίδων, ώστε τα εκπεμπόμενα σήματα να είναι διορθωμένα. Όλη αυτή τη διαδικασία μοντελοποιεί το πρόγραμμα GSSF.

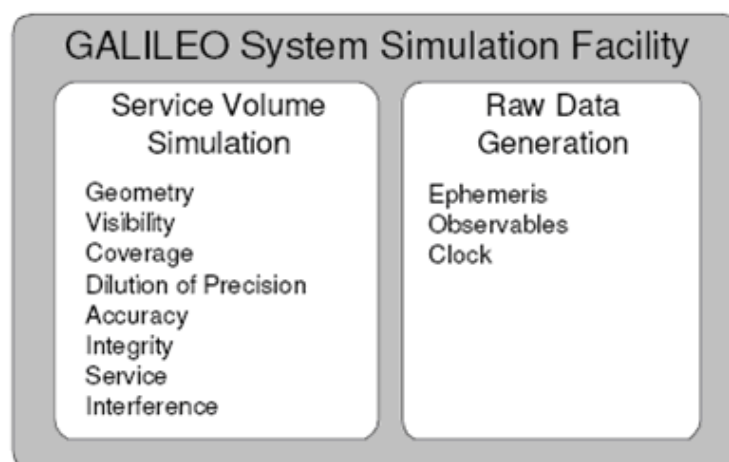
Προσφέρει, επίσης, ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον προσομοίωσης, το οποίο χρησιμοποιεί εναλλακτικά μοντέλα ανάλογα με τον τύπο ανάλυσης που ο τελικός χρήστης επιθυμεί να εκτελέσει. Παρέχει έτσι περισσότερη ευελιξία από τα παραδοσιακά εργαλεία προσομοίωσης διαστημικών συστημάτων, γεγονός που βασίζεται στον σχεδιασμό του σε δυο επιμέρους στοιχεία :

1. στο λειτουργικό τμήμα Service Volume Simulation (SVS), που επιτρέπει την ανάλυση της απόδοσης του προσδιορισμού θέσης για μεγάλα χρονικά διαστήματα και για διάφορες γεωγραφικές περιοχές. Συγκεκριμένα ο χρήστης μπορεί να προσδιορίσει ποιοτικούς δείκτες για επίπεδο περιοχής (global ή regional grid) ή για μεμονωμένες θέσεις. Τέτοιοι δείκτες είναι η ορατότητα (Visibility), η κάλυψη (Coverage), η γεωμετρία (Geometry), το μέτρο ακρίβειας DOP (Dilution of Precision), η ακρίβεια της πλοήγησης (Navigation Precision), η ακεραιότητα (Integrity) και η υπηρεσία που περιλαμβάνει τους κρίσιμους δορυφόρους (Critical Satellites), καθώς επίσης και τις σχετικές αναλύσεις διαθεσιμότητας (Availability) και συνέχειας (Continuity). Επιπλέον παρέχει τη δυνατότητα ανάλυσης της παρεμβολής (Interference) των GPS/Galileo σε παγκόσμια κλίμακα, όπως και αναλύσεις σφαλμάτων (Error Budget Analyses)

και

2. στο λειτουργικό τμήμα Raw Data Generation (RDG), που αναπαράγει τα πρωτογενή δεδομένα (raw data) GPS και Galileo και δημιουργεί τις παρατηρήσεις σε μορφή Rinx χρησιμοποιώντας υψηλής ακρίβειας μοντέλα μέσω των Galileo Sensor Stations-GSS. Εδώ περιλαμβάνονται και λειτουργίες όπως ο προσδιορισμός των τροχιών και ο συγχρονισμός του χρόνου (Orbit Determination & Time Synchronisation –ODTS). Το RDG περιλαμβάνει τις παρατηρήσεις (Observables), τις εφημερίδες (Ephemeris) και τις παραμέτρους του χρόνου (Clock).

Στον πίνακα 4.2 απεικονίζονται τα δυο κύρια λειτουργικά μέρη του GSSF, με τα επιμέρους χαρακτηριστικά τους.

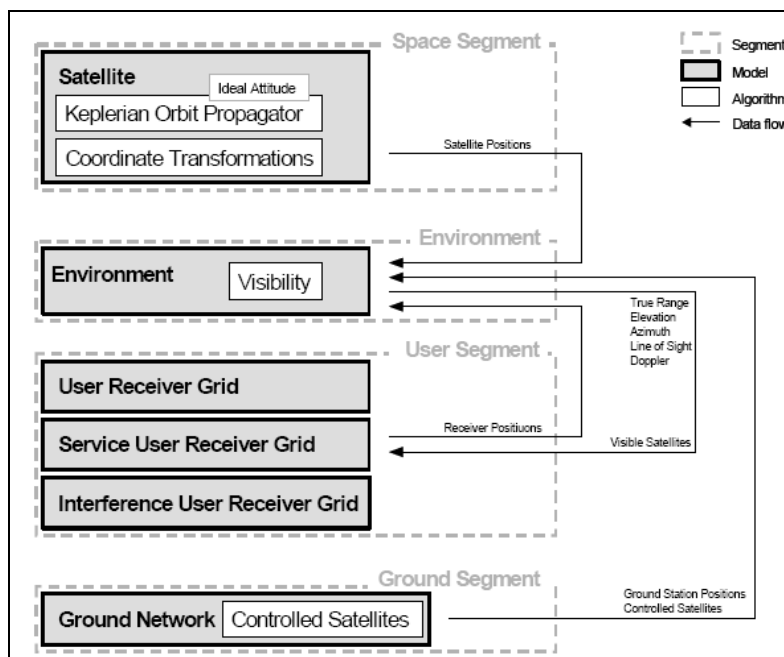


Πίνακας 4.2 Τα κύρια λειτουργικά μέρη του GSSF

(Πηγή: <http://www.gssf.info/Documents/GSSFP2.OM.002 - Algorithms and Models - Issue5.zip>)

Πρέπει να σημειωθεί πως η έκδοση GSSF V2.1.11, που χρησιμοποιήθηκε στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, υποστηρίζει μόνο την Service Volume Simulation (SVS) δυνατότητα, ενώ η Raw Data Generation (RDG) πρόκειται να είναι διαθέσιμη σε μελλοντική έκδοση του προγράμματος.

Η εικόνα 4.3 δίνει μια επισκόπηση του ορισμού των μοντέλων για το τμήμα SVS.



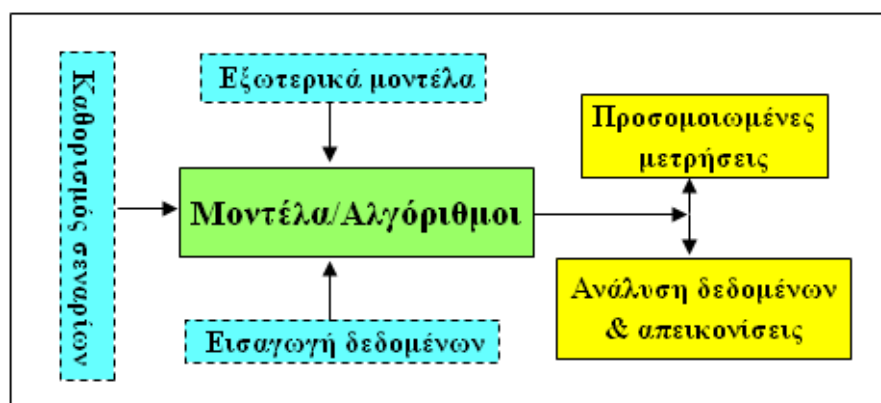
Εικόνα 4.3 Ορισμός μοντέλων τμήματος SVS

(Πηγή: <http://www.gssf.info/GSSF%20subpage%20GSSF%20models%20-%20SVS%20models.htm>)

Συνοπτικά, ξεκινώντας από το δορυφορικό τμήμα, ένα σεν αλγόριθμων αναπαράγουν τις κεπλέριες τροχιές (Keplerian Orbit Propagator) και εκτελούν τους απαραίτητους μετασχηματισμούς των συντεταγμένων (Coordinate Transformations). Υπολογίζεται έτσι η θέση των δορυφόρων και, κατά συνέπεια, προκύπτει το μοντέλο που προσομοιώνει τον δορυφορικό σχηματισμό και, ως εκ τούτου, το δορυφορικό τμήμα. Στη συνέχεια, διάφοροι αλγόριθμοι προσδιορίζουν τα μοντέλα τροπόσφαιρας, ιονόσφαιρας, ορατότητας, πολυανάκλασης και σφαλμάτων, που προσομοιώνουν το περιβάλλον. Με δεδομένες τις θέσεις των δορυφόρων και το μοντέλο του περιβάλλοντος προσδιορίζεται πλέον το τμήμα χρηστών. Αλγόριθμοι που υπολογίζουν μετρήσεις απόστασης, γωνίες ανύψωσης, αζιμούθια και ορατότητες χρησιμεύουν στον προσδιορισμό των ορατών από τον χρήστη δορυφόρων και τελικώς στον υπολογισμό της θέσης του δέκτη. Τέλος το SVS παρέχει μοντέλα που προσομοιώνουν αξιόπιστα και το τμήμα ελέγχου με τους επίγειους σταθμούς παρακολούθησης (Ground Network), έτσι ώστε να

ολοκληρώνεται η ροή της πληροφορίας (data flow) όπως ακριβώς και στην πραγματικότητα. Προσομοιώνονται οι ενημερώσεις του μηνύματος ναυσιπλοΐας, οι οποίες μεταβιβάζονται στο δορυφορικό τμήμα, το οποίο στη συνέχεια τις «αναμεταδίδει» από τους δορυφόρους στο τμήμα χρηστών.

Για να γίνει κατανοητό το πώς λειτουργεί το GSSF, δίνεται η παρακάτω σχηματική αναπαράσταση της ροής παραγωγής της πληροφορίας (βλ. Εικ. 4.4). Στον πυρήνα του λογισμικού είναι ένα σύνολο μοντέλων σχετικών με την περιγραφή του κάθε δορυφορικού συστήματος. Παράλληλα όμως δίνεται και η δυνατότητα χρήσης εξωτερικών μοντέλων, που αφορούν στην διόρθωση σφαλμάτων λόγω τροπόσφαιρας, ιονόσφαιρας, τροχιών κ.λ.π. Ο χρήστης διαμορφώνει τα σενάρια που επιθυμεί και εισάγει τα απαραίτητα δεδομένα. Αυτά τα στοιχεία αποτελούν τα δεδομένα εισόδου για τα μοντέλα και τους αλγόριθμους, ώστε να προσδιορισθούν τα δεδομένα εξόδου, που είναι οι προσομοιωμένες μετρήσεις Galileo και η ανάλυση των δεδομένων βάσει ποιοτικών δεικτών και απεικονίσεων μέσω διαγραμμάτων.



Εικόνα 4.4 Ροή παραγωγής της πληροφορίας

Σχετικά τώρα με τις δυνατότητες ανάλυσης, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, το GSSF παρέχει την SVS δυνατότητα, η οποία υποστηρίζει τους παρακάτω τύπους:

- Ανάλυση Ορατότητας (Visibility Analysis)

Υπολογίζει την ορατότητα ανάμεσα στους δορυφόρους και στους διάφορους χρήστες ή επίγειους σταθμούς. Δίνει τον μέγιστο, ελάχιστο και μέσο αριθμό των ορατών δορυφόρων για κάθε χρονικό βήμα καθ' όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης.

- Ανάλυση Εκτεταμένης Ορατότητας (Extended Visibility Analysis)

Υπολογίζει τον αριθμό των ορατών δορυφόρων για κάθε εποχή της προσομοίωσης. Το κατώτατο όριο του αριθμού των δορυφόρων μπορεί να οριστεί από τον χρήστη.

- Ανάλυση Κάλυψης (Depth of Coverage Analysis)

Υπολογίζει τον αριθμό των επίγειων σταθμών που είναι ορατοί από κάθε δορυφόρο για κάθε χρονικό βήμα της προσομοίωσης. Τα στοιχεία αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην παραγωγή ενός παγκοσμίου κλίμακας χάρτη κάλυψης (Depth of Coverage (DOC) map).

- Ανάλυση Αντίστροφης Κάλυψης (Inverse Coverage Analysis)

Υπολογίζει τον αριθμό των δορυφόρων που έχουν κατ' ελάχιστο έναν συγκεκριμένο αριθμό επίγειων σταθμών σε ορατότητα για κάθε εποχή της προσομοίωσης. Το κατώτατο όριο του αριθμού των επίγειων σταθμών μπορεί να οριστεί από τον χρήστη.

- Ανάλυση Γεωμετρίας (Geometry Analysis)

Υπολογίζει τα στοιχεία γεωμετρίας (γωνία ανύψωσης, αζιμούθιο, απόσταση) για κάθε δέκτη, όπως επίσης και τους ορατούς δορυφόρους αντίστοιχα, για κάθε εποχή της προσομοίωσης.

- Ανάλυση Εσωτερικής Ακρίβειας (Dilution of Precision Analysis)

Υπολογίζει τους συντελεστές της γεωμετρίας των ορατών δορυφόρων (DOP) για κάθε χρήστη ή επίγειο σταθμό για κάθε χρονικό βήμα καθ' όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης. Δίνει τη μέγιστη, ελάχιστη και μέση τιμή DOP καθώς και τα στιγμιαία δεδομένα για κάθε εποχή. Η ανάλυση υπολογίζει όλα τα μέτρα DOP: Time DOP (TDOP), Positional DOP (PDOP), Geometric DOP (GDOP), Horizontal DOP (HDOP), και Vertical DOP (VDOP).

- Ανάλυση Ακρίβειας Συστήματος Ναυσιπλοΐας (Navigation System Precision Analysis)

Υπολογίζει το μέτρο NSP, δηλαδή τη διασπορά της εκτιμώμενης θέσης του δέκτη από την μέση θέση, για κάθε τύπο χρήστη ή επίγειο σταθμό και για όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης. Δίνει τη μέγιστη, ελάχιστη και μέση τιμή NSP καθώς και τα στιγμιαία δεδομένα για κάθε εποχή. Η ανάλυση υπολογίζει όλα τα μέτρα NSP: Overall NSP (ONSP), Time NSP (TNSP), Horizontal NSP (HNSP), and Vertical NSP (VNSP).

- Ανάλυση Ακρίβειας Ακεραιότητας Συστήματος (Signal-In-Space Monitoring Accuracy Analysis)

Υπολογίζει την ακρίβεια της ακεραιότητας του συστήματος (accuracy of the integrity monitoring system), η οποία εκφράζεται από το μέτρο SISMA, για κάθε δορυφόρο για κάθε χρονικό βήμα της προσομοίωσης. Τα στοιχεία αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην παραγωγή ενός παγκοσμίου κλίμακας χάρτη SISMA.

- Ανάλυση Ακεραιότητας (Integrity Analysis)

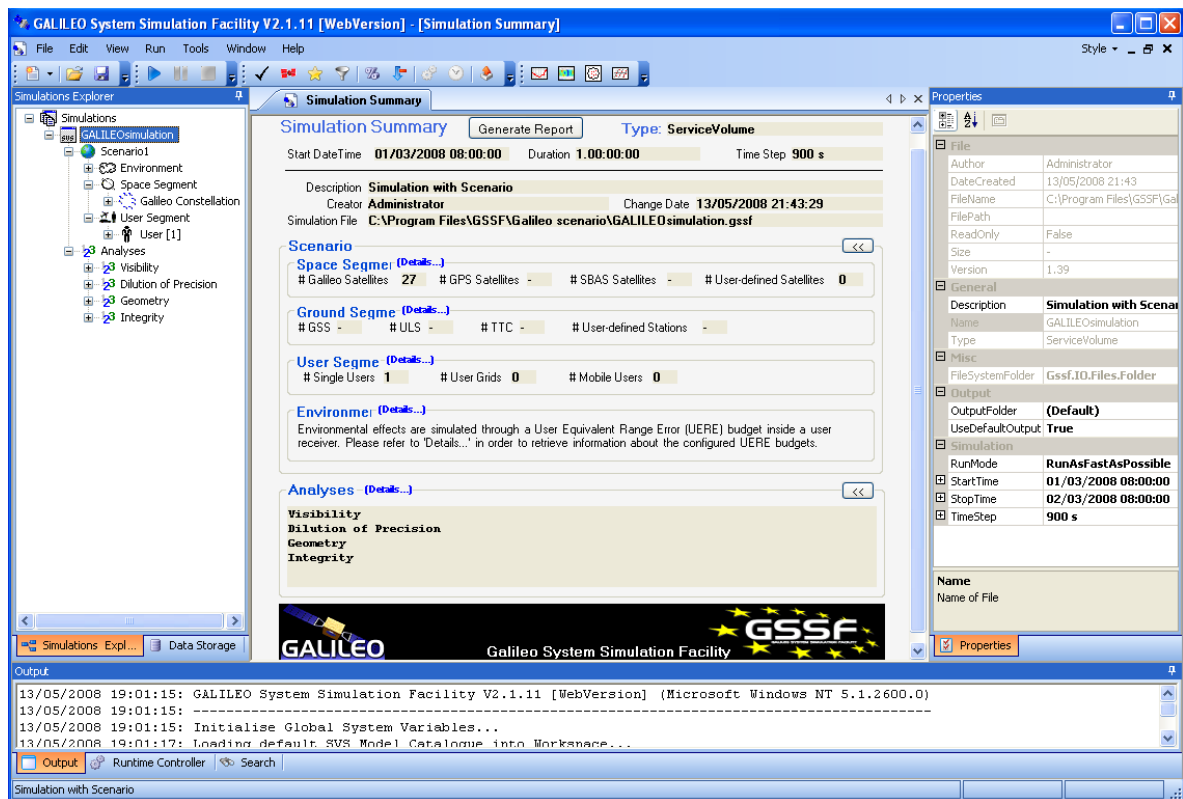
Υπολογίζει διεξοδικά το μέτρο της ακεραιότητας, την παράμετρο, δηλαδή, που εξασφαλίζει την ποιότητα και ασφάλεια του συστήματος ως προς τις παρεχόμενες στους χρήστες υπηρεσίες. Προσφέρει τη δυνατότητα επιλογής από μια λίστα εξισώσεων ακεραιότητας με τις αντίστοιχες παραμέτρους τους. Μεταξύ αυτών υπάρχουν εξισώσεις σχετικές με το Propability of Hazardous Misleading Information (PHMI) επίσης αποκαλούμενου Integrity Risk, το SBAS (Space-Based Augmentation Systems), όπως επίσης και με την ακεραιότητα του Galileo. Επιπλέον, δίνεται η δυνατότητα καθορισμού εξισώσεων από τον ίδιο τον χρήστη.

4.4 Γραφικό Περιβάλλον και Δυνατότητές του Συστήματος

Η έκδοση GSSF V2.1.11 (Web Version) είναι αναπτυγμένη σε γλώσσα C++ και C# στο περιβάλλον των Windows XP. Παρέχει μια σύγχρονη και ευέλικτη διεπαφή χρήστη (User Interface), η οποία περιλαμβάνει ένα σύνολο εύχρηστων γραφικών και θεματικών στοιχείων, όπως για παράδειγμα το Property Grid. Το εργαλείο αυτό απεικονίζει τις ιδιότητες οποιουδήποτε στοιχείου επιλέγεται στον χώρο εργασίας. Οι ιδιότητες αυτές μπορούν να επεξεργαστούν και τροποποιηθούν μέσα στο Property Grid. Στην εικόνα 4.5 παρουσιάζεται το περιβάλλον εργασίας του προγράμματος, το οποίο διαιρείται σε τρεις κύριες περιοχές. Η στοίχιση treenview στο παράθυρο Simulation Explorer (βλ. αριστερό μέρος) επιτρέπει στον χρήστη να λαμβάνει, με μια γρήγορη ματιά, την πλήρη εικόνα του σεναρίου προσομοίωσης. Το κεντρικό παράθυρο Simulation Summary χρησιμεύει στην απεικόνιση των αποτελεσμάτων, ενώ το Property Grid (βλ. δεξί μέρος) συγκεντρώνει όλες τις ιδιότητες των στοιχείων που απαρτίζουν το σενάριο.

Ένα αρχείο είναι διαθέσιμο στους χρήστες για την εξαγωγή των ρυθμίσεων - επιλογών της προσομοίωσης σε αρχεία RTF και PDF μορφής. Με αυτόν τον τρόπο, ο πλήρης καθορισμός του σεναρίου προσομοίωσης αποθηκεύεται σε ένα αυτόματα δημιουργημένο αρχείο. Το GSSF έχει σχεδιασθεί έτσι ώστε να μην εξαρτάται χρονικά η εκτέλεσή του από κανένα εμπορικό

προϊόν, εκτός από τις προηγμένες δυνατότητες απεικόνισης, όπου για την πλήρη απόδοση των ικανοτήτων του προγράμματος απαιτείται άδεια χρήσης του Interactive Data Language (IDL). Μέσω του λογισμικού IDL παρέχονται στους χρήστες πρόσθετες δυνατότητες προσομοίωσης και 3D επεξεργασίας. Με αυτό τον τρόπο παράγονται ισχυρές απεικονίσεις που περιλαμβάνουν μοντελοποίηση, ισοϋψείς καμπύλες, χάρτες κ.α.



Εικόνα 4.5 Το περιβάλλον εργασίας του GSSF

Συνοψίζοντας, το GSSF αποτελεί ένα πλούσιο λειτουργικό πακέτο που επιτρέπει στον χρήστη να:

- Δημιουργήσει και διαμορφώσει σενάρια προσομοίωσης
- Να τα «τρέξει» (όσο το δυνατόν γρηγορότερα και σε real- time)
- Να αναλύσει τα δεδομένα
- Να τα απεικονίσει και να τα οπτικοποιήσει
- Να εισάγει και εξάγει δεδομένα και
- Να αναπτύξει διαδικασίες μοντελοποίησης

4.5 Περιγραφή Βασικών Εντολών του Προγράμματος GSSF

Στην ενότητα αυτή δίνονται περιληπτικά και συνεκτικά οι βασικότερες λειτουργίες χρήσης του προγράμματος, εφόσον αυτό αποτέλεσε ουσιαστικό εργαλείο ανάλυσης και έρευνας και ως εκ τούτου κύριο κομμάτι της παρούσας εργασίας.

4.5.1 Έναρξη προγράμματος

Το πρόγραμμα ξεκινά πατώντας διπλό κλικ στο εικονίδιο ‘GSSF V2.1.11’ στην επιφάνεια εργασίας του υπολογιστή.

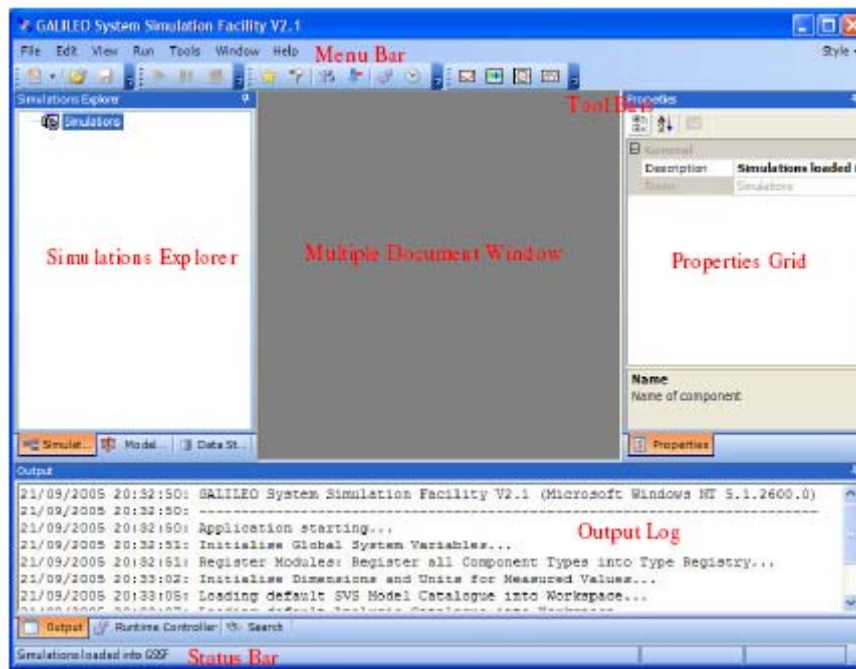


Εικόνα 4.6 Εικονίδιο έναρξης

Αμέσως θα φορτώσει η εφαρμογή και θα ανοίξει το παράθυρο του προγράμματος με το κύριο μενού.

4.5.2 Κύριο μενού

Το περιβάλλον υποδοχής και εργασίας του προγράμματος GSSF χωρίζεται σε 7 επιμέρους τμήματα. Διακρίνονται στην παρακάτω εικόνα τα Menu Bar, Tool Bars, Simulation Explorer, Multiple Document Window, Properties Grid, Output Log και Status Bar :



Εικόνα 4.7 Κύριο παράθυρο GSSF

Το καθένα από αυτά επιτελεί έναν συγκεκριμένο ρόλο και σκοπό.

- **Menu Bar:**
βρίσκεται στην κορυφή του κύριου παραθύρου του GSSF και προσφέρει στον χρήστη όλες τις χρήσιμες επιλογές (File, Edit, View κ.α.) για να μπορεί να διαχειρίζεται τα διάφορα χαρακτηριστικά και τις δυνατότητες του GSSF.
- **Tool Bars:**
πρόκειται για εργαλεία συντόμευσης των δυνατοτήτων του menu bar. Κατηγοριοποιούνται σε τέσσερις μπάρες: Standard, Runtime, Analyse και Visualise ανάλογα με τις λειτουργίες που επιτελούν.
- **Simulation Explorer:**
επιτρέπει στον χρήστη να δημιουργεί, τροποποιεί, διαχειρίζεται και εκτελεί προσομοιώσεις και σενάρια.
- **Multiple Document Window:**
ο χώρος όπου σε μορφή πολλαπλών παραθύρων εμφανίζονται όλα τα δεδομένα και οι απεικονίσεις, που προκύπτουν κατά την

εκτέλεση της προσομοίωσης ή και από μεταγενέστερη επεξεργασία. Για τα παράθυρα αυτά δίνεται η δυνατότητα μεγιστοποίησης, ελαχιστοποίησης, παράθεσης σε σειρά ή κατακόρυφα.

- **Properties Grid:**

ένα παράθυρο που περιλαμβάνει θεματικά πεδία με παραμέτρους και ιδιότητες που χαρακτηρίζουν τα στοιχεία του Simulation Explorer. Σε αυτά τα πεδία ο χρήστης μπορεί να παρέμβει τροποποιώντας τις παραμέτρους και δίνοντας νέες τιμές.

- **Output Log:**

ένα παράθυρο στο οποίο εμφανίζονται οι πληροφορίες για την εκτέλεση και την πορεία της προσομοίωσης.

- **Status Bar:**

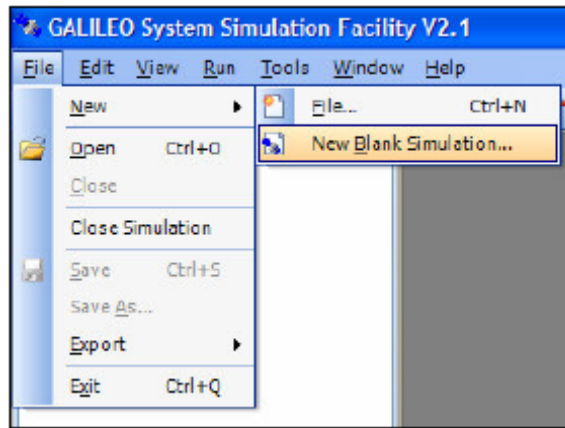
βρίσκεται κάτω-κάτω και μέσα στο πλαίσιο του κύριου παραθύρου του GSSF και δίνει μια συνοπτική περιγραφή για τα στοιχεία που επιλέγονται κάθε φορά στο παράθυρο Simulations Explorer.

4.5.3 Προσομοίωση

❖ Δημιουργία προσομοίωσης

Προκειμένου να δημιουργηθεί μια προσομοίωση τα βήματα είναι τα εξής:

Στο περιβάλλον του GSSF και στο File menu του Menu bar ακολουθείται η διαδρομή
File → New → New Blank Simulation...



Εικόνα 4.8 Μενού Αρχείο (File - New menu)

Αμέσως προστίθεται ένα αντικείμενο στο παράθυρο Simulations Explorer που αποτελεί μια νέα, κενή προσομοίωση. Ενώ στο Multiple Document Window εμφανίζονται συνοπτικά οι πληροφορίες που σχετίζονται με αυτήν (βλ. Εικ. 4.9).



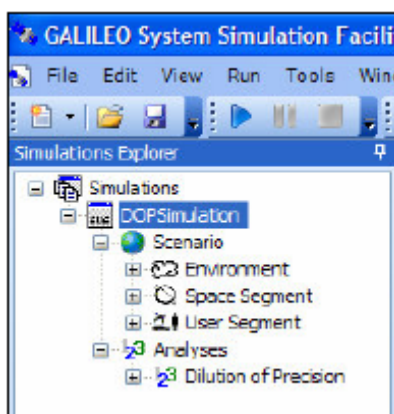
Εικόνα 4.9 Παράθυρο με πληροφορίες προσομοίωσης
(Blank Simulation with Summary Information)

Το Simulation Summary Window, που βρίσκεται εντός του Multiple Document Window, εμφανίζεται αυτόματα με τη δημιουργία μιας νέας προσομοίωσης και περιέχει όλες τις πληροφορίες που αφορούν τα επιμέρους στοιχεία της προσομοίωσης, η οποία είναι επιλεγμένη στο Simulations Explorer. Είναι χωρισμένο σε τομείς, οι οποίοι αντιστοιχούν στα επιμέρους τμήματα του δορυφορικού συστήματος, τα οποία αποτελούν επίσης χαρακτηριστικά στοιχεία

της προσομοίωσης (Space Segment, Ground Segment, User Segment, Environment). Για κάθε έναν από αυτούς τους τομείς παρέχονται πρόσθετες πληροφορίες πατώντας το link Details.

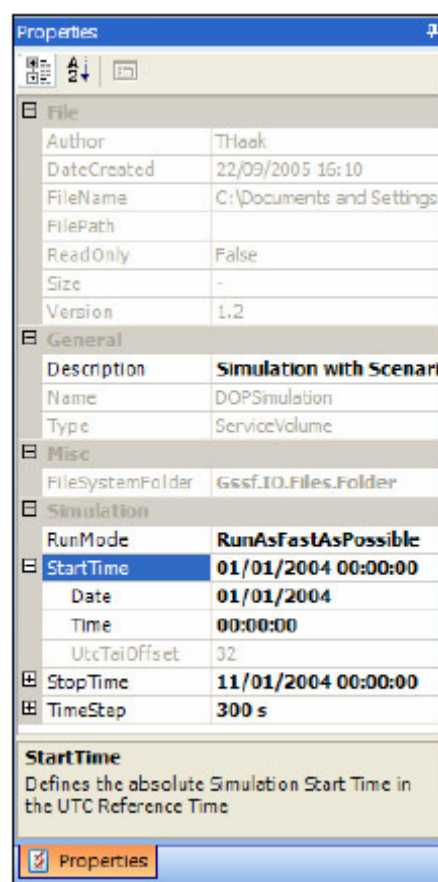
❖ Ορισμός παραμέτρων προσομοίωσης

Ύστερα από τη δημιουργία μιας κενής προσομοίωσης, επόμενο βήμα είναι να θέσει ο χρήστης τον χρόνο έναρξης – λήξης και τη διάρκεια της προσομοίωσης. Επιλέγοντας το εικονίδιο της προσομοίωσης (βλ. Εικ. 4.10) εμφανίζονται στο παράθυρο Properties όλα τα πεδία με τις ιδιότητές της (βλ. Εικ. 4.11).



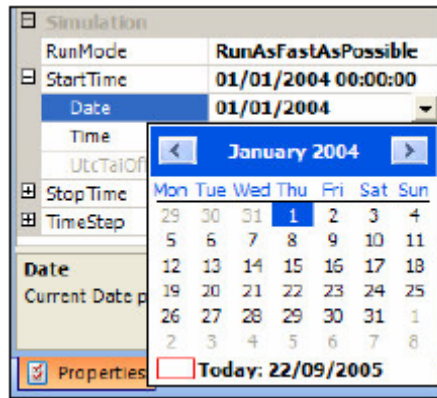
Εικόνα 4.10 Επιλογή προσομοίωσης
(Select Simulation node)

Στην κατηγορία Simulation υπάρχουν τα πεδία Start Time, Stop Time και Time Step, όπου μπορεί ο χρήστης να ορίσει την ώρα έναρξης και λήξης καθώς και τη διάρκεια της προσομοίωσης. Πιο συγκεκριμένα, όπως διακρίνεται και στην διπλανή εικόνα, για κάθε ιδιότητα υπάρχουν επιμέρους πεδία, όπου ορίζονται ξεχωριστά οι παράμετροι.



Εικόνα 4.11 Παράθυρο ιδιοτήτων
(Properties Window)

Για παράδειγμα, για την ιδιότητα Start Time δίνονται τα πεδία τύπου combo box (βλ. Εικ. 4.12) για τον ορισμό της ημερομηνίας (Date) και (πεδία απλής πληκτρολόγησης για την ώρα (Time). Με τον ίδιο τρόπο ορίζεται και το χρονικό βήμα της προσομοίωσης (Time Step), όπου δίνεται δυνατότητα επιλογής διαφορετικών μονάδων χρόνου (s, ms, m, h).



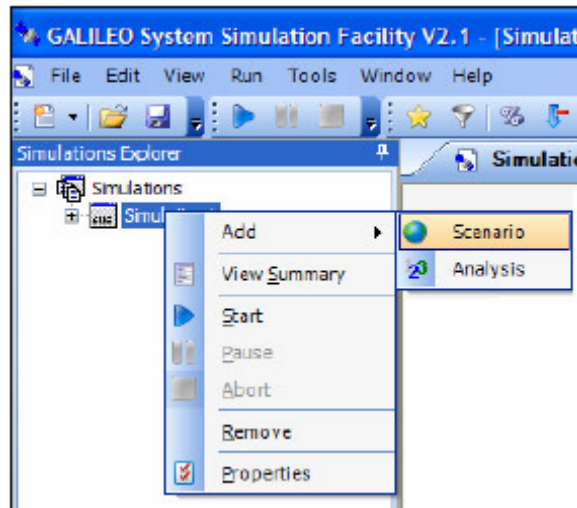
Εικόνα 4.12 Παράθυρο ορισμού παραμέτρων χρόνου
(Combo box)

4.5.4 Σενάριο

❖ Δημιουργία σεναρίου

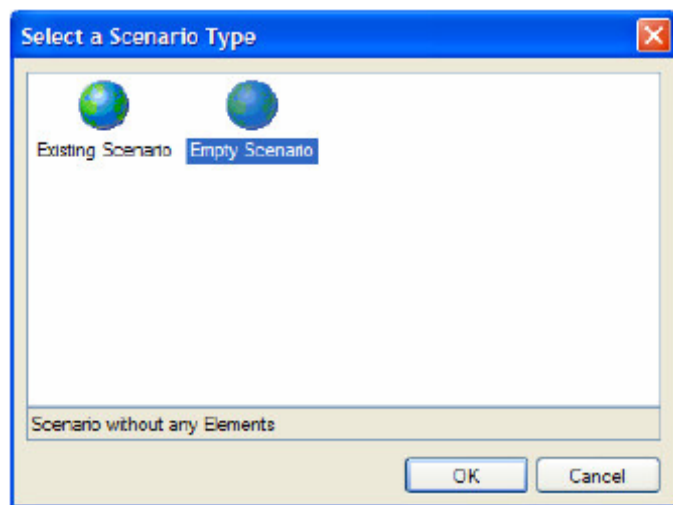
Έχοντας δημιουργήσει μια νέα προσομοίωση και έχοντας ορίσει τις παραμέτρους της, το επόμενο βήμα είναι η προσθήκη ενός σεναρίου. Η δυνατότητα αυτή δίνεται μέσω του Simulations Explorer, όπου μπορούν να προστεθούν σενάρια καθώς και οι σχετικές τους αναλύσεις. Για όλα αυτά τα στοιχεία, που προστίθενται σε μορφή στοίχισης tree view στον Explorer, υπάρχει η δυνατότητα τροποποίησης και διαμόρφωσής τους από το παράθυρο των ιδιοτήτων (Properties). Προκειμένου, λοιπόν, να δημιουργηθεί ένα σενάριο τα βήματα είναι τα εξής:

Στο παράθυρο Simulations Explorer επιλέγεται το εικονίδιο Simulation και με δεξί κλικ πάνω του επιλέγεται από το μενού που εμφανίζεται (βλ. Εικ. 4.13) Add → Scenario.



Εικόνα 4.13 Προσθήκη σεναρίου στην προσομοίωση
(Add Scenario to Simulation)

Ένα παράθυρο διαλόγου ‘Select a Scenario Type’ εμφανίζεται (βλ. Εικ. 4.14), όπου ο χρήστης πρέπει να διαλέξει ανάμεσα σε δύο τύπους σεναρίων. Είτε θα επιλέξει ένα νέο σενάριο (Empty Scenario) είτε ένα ήδη υπάρχον (Existing Scenario)



Εικόνα 4.14 Επιλογή σεναρίου (Scenario Type Selection)

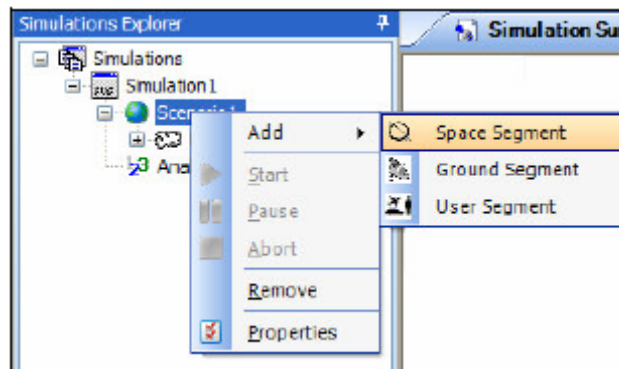
Αφού επιλεγθεί ο προτιμώμενος τύπος του σεναρίου πατάμε το κουμπί OK και το σενάριο προστίθεται στην προσομοίωση.

Η επιλογή Existing Scenario δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη να «ανοίξει» ένα σενάριο, που είχε αποθηκεύσει σε προηγούμενη εφαρμογή του προγράμματος.

Η επιλογή Empty Scenario δημιουργεί ένα σενάριο που περιέχει μόνο το τμήμα Περιβάλλοντος και όχι τα υπόλοιπα τμήματα Δορυφόρων, Χρήστη και Ελέγχου.

❖ Επεξεργασία σεναρίου

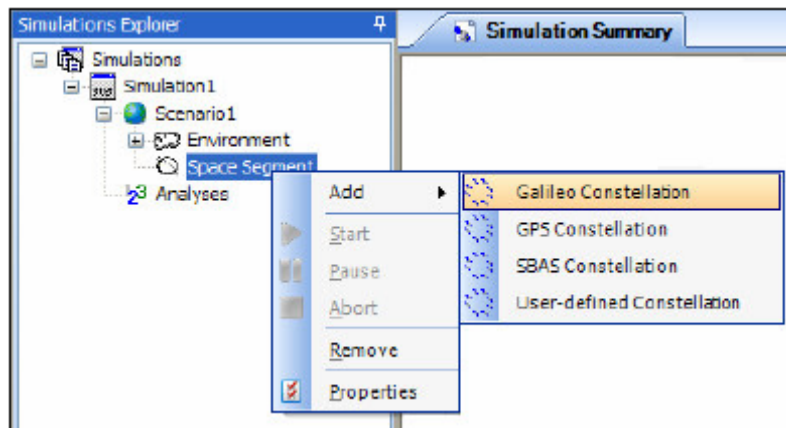
Το σενάριο μπορεί να επεξεργαστεί βάσει των απαιτήσεων του χρήστη προσθέτοντας ή και αφαιρώντας στοιχεία. Οι ιδιότητες κάθε στοιχείου μπορούν να τροποποιηθούν από το παράθυρο Properties, επιλέγοντας πρώτα το στοιχείο στο Simulations Explorer. Προκειμένου να διαγραφεί ένα στοιχείο από το σενάριο πατάμε δεξί κλικ πάνω του και 'Remove'. Αντίθετα, για να προστεθεί κάποιο στοιχείο, όπως για παράδειγμα τα 'Space Segment', 'User Segment' και 'Ground Segment', πατάμε δεξί κλικ και Add → [Type] όπως φαίνεται παρακάτω:



Εικόνα 4.15 Προσθήκη στοιχείων στο σενάριο
(Add Elements to Scenario)

➤ Ορισμός τμήματος δορυφόρων

Το Space Segment περιλαμβάνει τους δορυφορικούς σχηματισμούς για το Galileo, το GPS και το SBAS. Ο χρήστης μπορεί να προσθέσει ή αφαιρέσει όποια στοιχεία επιθυμεί. Για την προθήκη ενός εκ των άνω στοιχείων αρκεί με ένα δεξί κλικ πάνω στο 'Space Segment' να ακολουθήσει τη διαδρομή Add → [Type] Constellation στο εμφανιζόμενο μενού. Το [Type] μπορεί να είναι σχηματισμός Galileo, GPS ή SBAS.

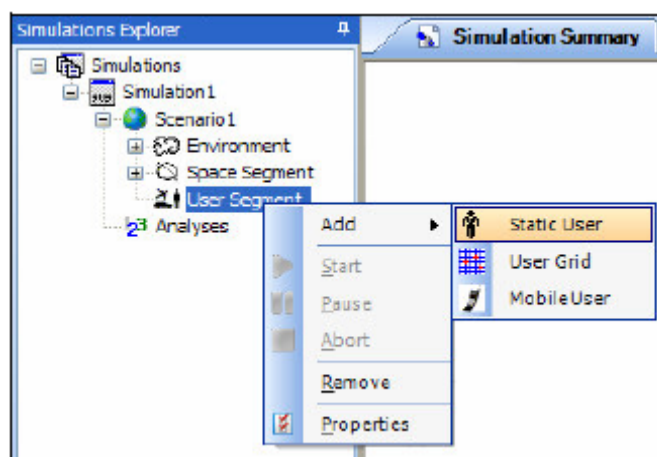


Εικόνα 4.16 Προσθήκη δορυφορικού σχηματισμού
(Add Constellation to Space Segment)

Επιλέγοντας ένα από τα τρία συστήματα, αυτόματα δημιουργείται ένα νέο στοιχείο, που περιέχεται στο Space Segment και περιλαμβάνει τους προκαθορισμένους δορυφόρους για το επιλεγμένο δορυφορικό σύστημα. Η τελευταία επιλογή ‘User-defined constellation’ δίνει στο χρήστη τη δυνατότητα να δημιουργήσει ο ίδιος τον δορυφορικό σχηματισμό που επιθυμεί με όσους και όποιους δορυφόρους θέλει.

➤ **Ορισμός τμήματος χρήστη**

Το User Segment περιλαμβάνει τους χρήστες σε στατικό εντοπισμό, κινηματικό εντοπισμό και ευρύτερη περιοχή μελέτης. Για την προσθήκη ενός από αυτούς αρκεί ένα δεξί κλικ και ακολούθως η διαδρομή Add → Static/Mobile/ Grid User.



Εικόνα 4.17 Προσθήκη τμήματος χρηστών (Add User Segment)

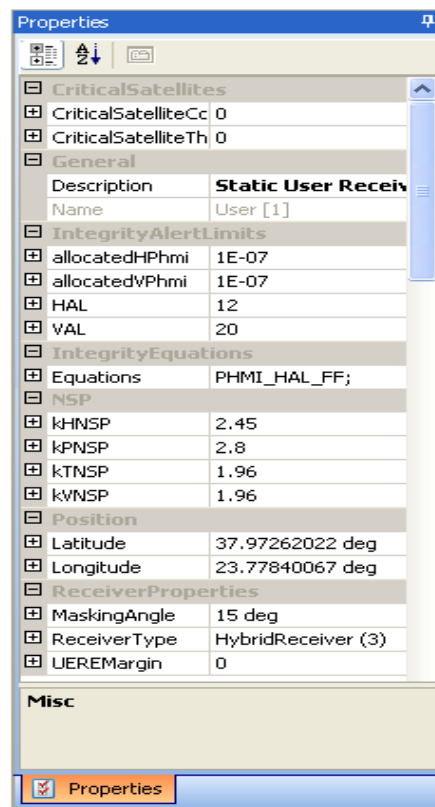
Στατικός είναι ο χρήστης που καθ' όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης παραμένει στην ίδια θέση.

Κινητός είναι ο χρήστης που μπορεί να κινείται είτε στη γη (Ground Vehicle), είτε στον αέρα (Aircraft) είτε σε τροχιά γύρω από τη γη (Satellite).

Το Grid είναι μια επιλογή χρήστη που αφορά ένα γεωγραφικό πλέγμα πάνω στην επιφάνεια της γης, έτσι ώστε να μελετώνται η ακρίβεια, η ακεραιότητα και άλλα ποιοτικά χαρακτηριστικά των GNSS σε ευρεία κλίμακα.

Οι ιδιότητες και οι παράμετροι, που αφορούν στον επιλεγμένο δέκτη, εμφανίζονται στο παράθυρο των ιδιοτήτων (βλ. Εικ. 4.18), στο οποίο μπορούν να γίνουν οι επιθυμητές από τον χρήστη τροποποιήσεις. Ορισμένες από τις κύριες παραμέτρους που περιγράφουν έναν δέκτη είναι η γεωγραφική θέση (κατηγορία Position), η γωνία ανύψωσης (κατηγορία Receiver Properties) καθώς και παράμετροι που αφορούν στην ακεραιότητα του συστήματος (κατηγορία Integrity Equations).

Με βάση αυτά τα στοιχεία και την διαφοροποίησή τους κάθε φορά, δομήθηκαν τα εναλλακτικά σενάρια στην παρούσα εργασία. Τα σενάρια διαφοροποιήθηκαν ανάλογα με το είδος του δέκτη, τη θέση, την γωνία ανύψωσης και τα διαφορετικά UERE.



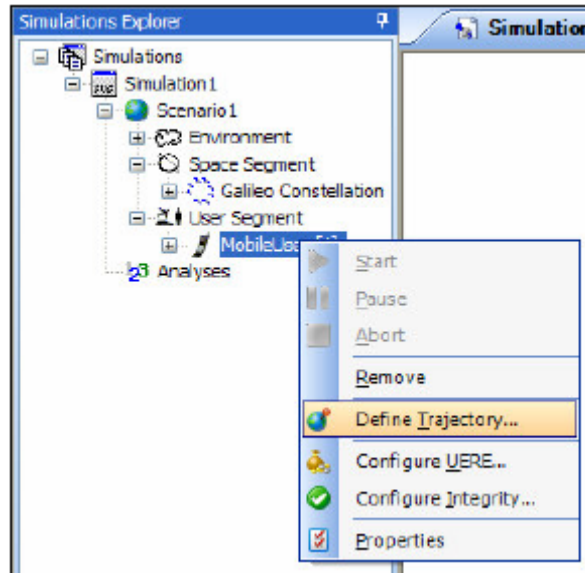
Εικόνα 4.18 Παράθυρο Ιδιοτήτων (User Properties)

- **Καθορισμός γεωγραφικής θέσης**

Για στατικό δέκτη και για Grid user ο καθορισμός της θέσης γίνεται από τον χρήστη μέσω του παραθύρου Properties, όπου σε συγκεκριμένα πεδία μπορεί να οριστεί το γεωγραφικό μήκος και πλάτος καθώς και το ύψος στο οποίο βρίσκεται ο δέκτης.

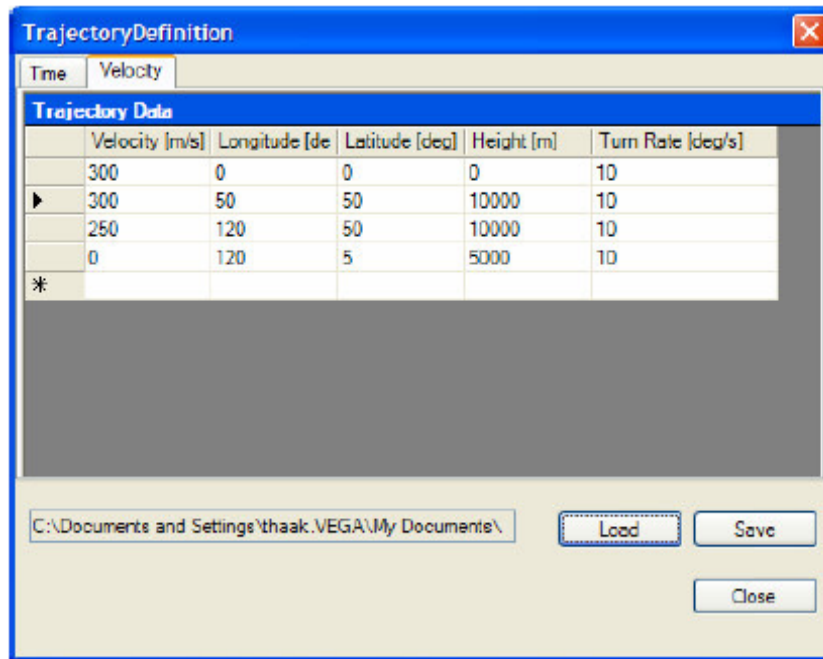
Για κινητό δέκτη όμως η διαδικασία δεν είναι η ίδια. Προκειμένου να κινείται ο χρήστης καθώς η προσομοίωση εκτελείται το πρόγραμμα απαιτεί την πληροφορία για το μονοπάτι που ακολουθεί ο δέκτης ή αλλιώς το αρχείο πλοήγησης του δέκτη. Αυτό το αρχείο το δημιουργεί ο χρήστης ως εξής:

Με δεξί κλικ πάνω στο εικονίδιο του κινητού δέκτη στο Simulations Explorer εμφανίζεται μια καρτέλα επιλογών, όπου επιλέγεται το 'Define Trajectory' (βλ. Εικ. 4.19).



Εικόνα 4.19 Καθορισμός πλοήγησης κινητού δέκτη
(Define Trajectory for Mobile User)

Το GSSF εμφανίζει ένα νέο παράθυρο στο οποίο ο χρήστης μπορεί να καθορίσει το μονοπάτι του κινητού δέκτη, δίνοντας τα σημεία με τις γεωγραφικές τους συντεταγμένες (ϕ , λ και h) και την μεταβολή της κίνησης (deg/sec) για κάθε σημείο. Μπορεί ακόμη να επιλέξει αν θα ορίσει χρόνο, στον οποίο πρέπει να φτάσει ο δέκτης από το ένα σημείο στο άλλο ή ταχύτητα αντίστοιχα.



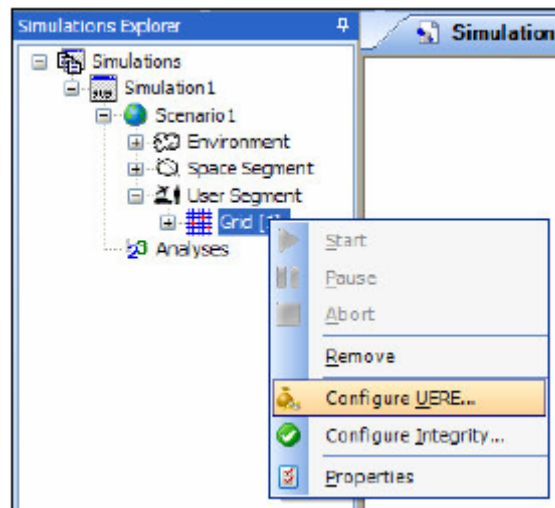
Εικόνα 4.20 Αρχείο πλοήγησης κινητού δέκτη (Mobile User Trajectory Data)

Στο τέλος είναι απαραίτητο να αποθηκευτεί το αρχείο πλοήγησης στον δίσκο του υπολογιστή με το πάτημα του κουμπιού ‘Save’.

- **Καθορισμός UERE για δέκτη – χρήστη**

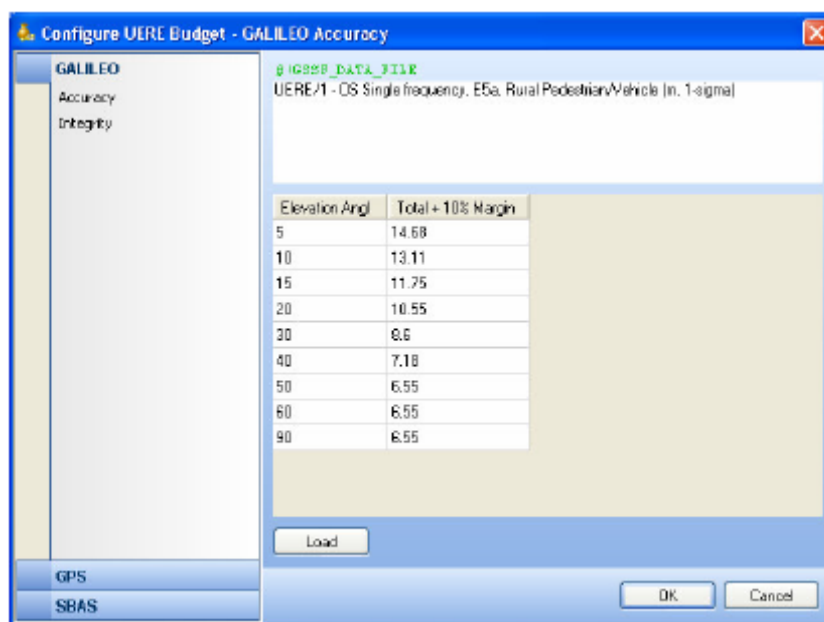
Το GSSF παρέχει πίνακες με προκαθορισμένα UERE (User-Equivalent Range Error). Πληροφορίες για τα σφάλματα UERE δίνονται στην ενότητα 6 του κεφαλαίου 5. Τους πίνακες αυτούς ο χρήστης μπορεί να τους «φορτώσει» ως απλά αρχεία ακολουθώντας τα παρακάτω:

Πατώντας δεξί κλικ πάνω στον επιλεγμένο τύπο δέκτη στο παράθυρο Simulation Explorer επιλέγουμε το ‘Configure UERE’.



Εικόνα 4.21 Καθορισμός UERE (Configure UERE)

Το πρόγραμμα GSSF εμφανίζει έναν πίνακα καθορισμού των UERE Budgets που έχει τρεις καρτέλες για κάθε σύστημα (Galileo, GPS και SBAS). Πατώντας το κουμπί Load ανοίγει ένα παράθυρο διαλόγου 'Open', όπου ο χρήστης μπορεί να επιλέξει το αρχείο UERE που επιθυμεί και να το «φορτώσει» στην προσομοίωση.

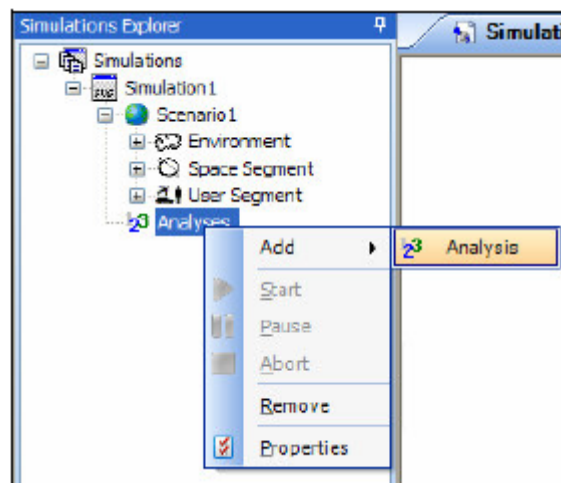


Εικόνα 4.22 Παράθυρο επιλογής UERE (UERE Look up Table)

4.5.5 Ανάλυση

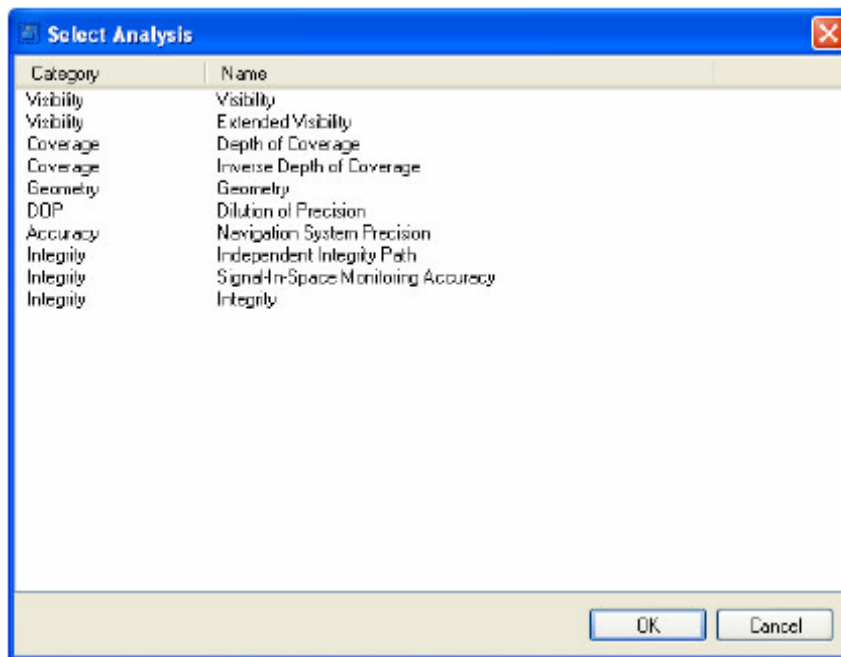
❖ Καθορισμός ανάλυσης

Η ανάλυση αποτελεί ουσιαστικό κομμάτι της προσομοίωσης. Πατώντας δεξί κλικ πάνω στο εικονίδιο της ‘Analyses’ επιλέγουμε Add → Analysis.



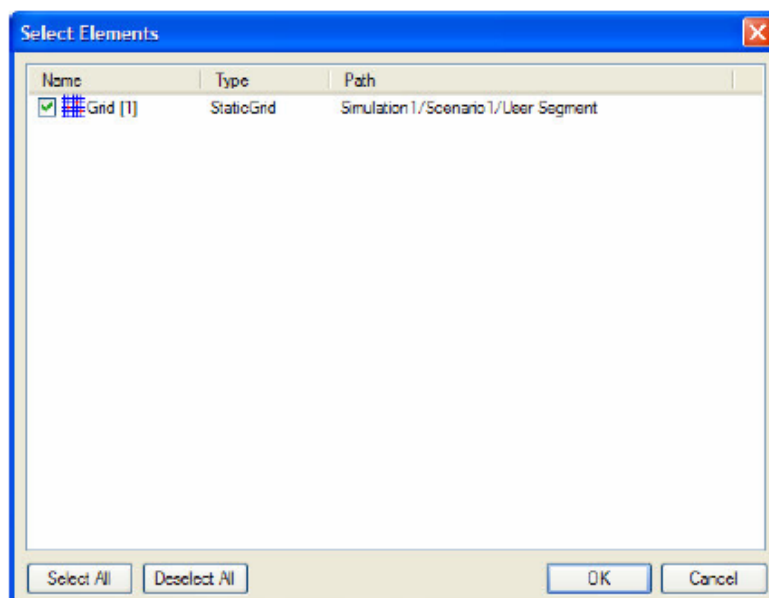
Εικόνα 4.23 Προσθήκη Ανάλυσης στην προσομοίωση
(Add Analysis to Simulation)

Εμφανίζεται ένα παράθυρο διαλόγου ‘Select Analysis’ παρέχοντας μια λίστα από διάφορους τύπους ανάλυσης. Ανάλογα με τον τύπο της πληροφορίας που επιθυμεί ο χρήστης να προσομοιώσει επιλέγει τον αντίστοιχο τύπο ανάλυσης.



Εικόνα 4.24 Επιλογή τύπου ανάλυσης (Select Analyses Type)

Αφού επιλεγεί ο επιθυμητός τύπος ανάλυσης πατάμε το κουμπί OK και ένα νέο παράθυρο εμφανίζεται (βλ. Εικ. 4.25). Σε αυτό γίνεται η συσχέτιση της επιλεγμένης ανάλυσης με τα στοιχεία του τμήματος χρήστη για το υπάρχον σενάριο. Επιλέγεται το στοιχείο, για το οποίο ο χρήστης θέλει να εκτελέσει την ανάλυση, και με το κουμπί OK ολοκληρώνεται η όλη διαδικασία.

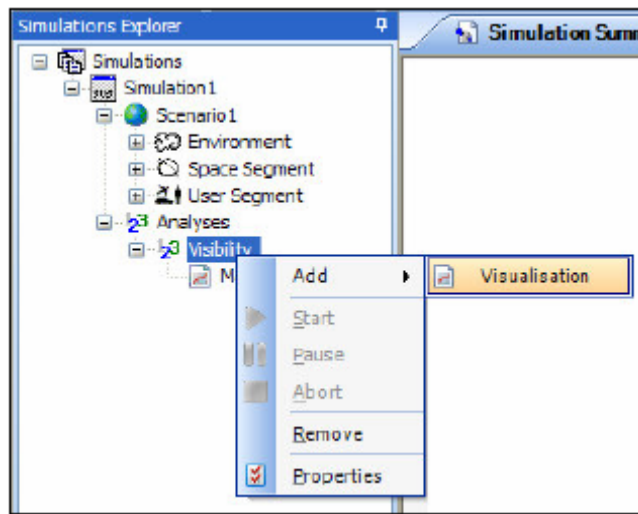


Εικόνα 4.25 Επιλογή στοιχείου προσομοίωσης προς ανάλυση
(Connect Analyses to Simulation Element)

❖ Οπτικοποίηση ανάλυσης (Visualisation)

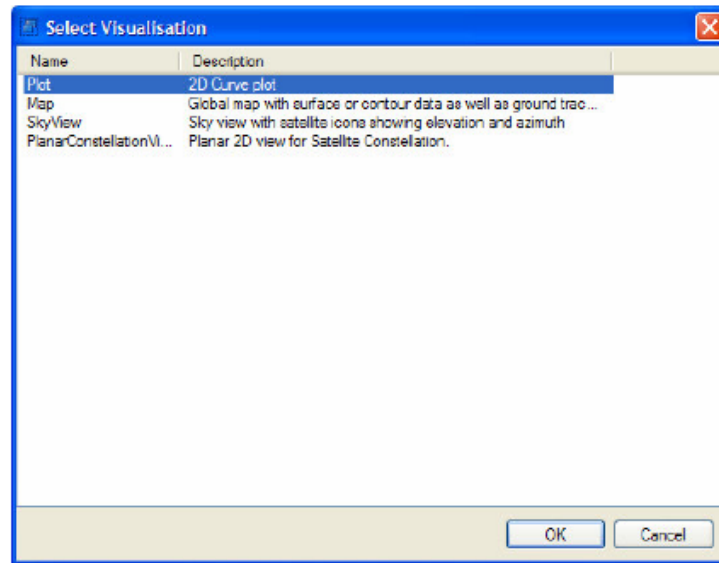
Το πρόγραμμα GSSF δίνει τη δυνατότητα δημιουργίας γραφικών απεικονίσεων των αποτελεσμάτων των αναλύσεων που πραγματοποιεί. Για κάθε ανάλυση εξάγει αυτόματα τις απεικονίσεις που είναι κατάλληλες κάθε φορά. Παρ' όλα αυτά ο χρήστης μπορεί να παρέμβει και να επιλέξει τις απεικονίσεις που εκείνος θέλει. Αυτό γίνεται ως εξής:

Πατώντας δεξί κλικ πάνω στο εικονίδιο Analyses επιλέγουμε Add → Visualisation.



Εικόνα 4.26 Προσθήκη απεικονίσεων (Add Visualisation)

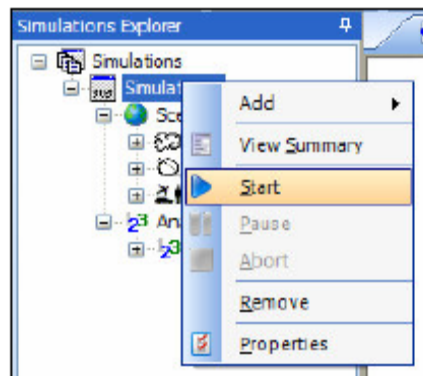
Στη συνέχεια εμφανίζεται ένα παράθυρο διαλόγου 'Select Visualisation', στο οποίο ο χρήστης επιλέγει τις απεικονίσεις που χρειάζεται, πάντα σχετικά με την ανάλυση που πρόκειται να πραγματοποιηθεί. Για παράδειγμα, το Sky View απεικονίζει την ανάλυση της Γεωμετρίας (Geometry Analysis).



Εικόνα 4.27 Επιλογή τύπου απεικονίσεων (Select Visualisation Type)

4.5.6 Εκτέλεση προσομοίωσης

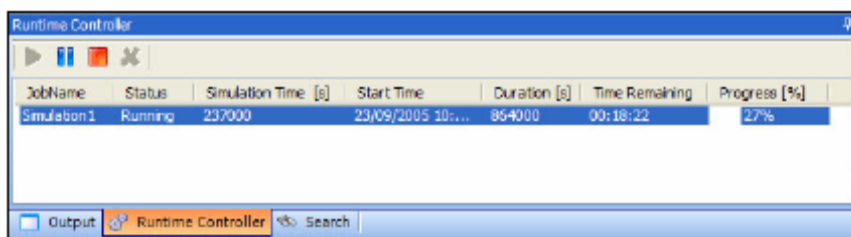
Τέλος, αφού ο χρήστης έχει καθορίσει όλα τα παραπάνω μπορεί να εκτελέσει πλέον την προσομοίωση πατώντας δεξί κλικ πάνω στο εικονίδιο ‘Simulation’ και ακολούθως επιλέγοντας ‘Start’ από το εμφανιζόμενο μενού.



Εικόνα 4.28 Έναρξη προσομοίωσης
(Start a Simulation)

Σε περίπτωση που η προσομοίωση δεν έχει αποθηκευτεί το πρόγραμμα αυτομάτως θα ζητήσει την αποθήκευσή της πριν να ξεκινήσει την εκτέλεση.

Στο παράθυρο Runtime Controller, που βρίσκεται χαμηλά στο κύριο μενού του GSSF, δίνεται αναφορά για την πορεία της εκτέλεσης της προσομοίωσης. Ο χρήστης μπορεί να διακόψει ή και να ακυρώσει εντελώς την προσομοίωση όταν αυτό απαιτείται.



Εικόνα 4.29 Ελεγκτής πορείας εκτέλεσης (Runtime Controller)

Μόλις η προσομοίωση σημειώσει πρόοδο 100% και έρθει σε πέρας, αναλύονται τα στατιστικά για τα δεδομένα που υπολογίζονταν κατά τη διάρκειά της. Ύστερα αυτομάτως εμφανίζονται οι απεικονίσεις στο Multiple Document Window.

5 ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑΣ GALILEO

5.1 Εισαγωγή

Το παρόν κεφάλαιο επιχειρεί διερευνητικά και μέσω δοκιμών να τεκμηριώσει ορισμένα κύρια λειτουργικά χαρακτηριστικά και δυνατότητες του συστήματος Galileo, που αναδεικνύονται από το κεφάλαιο 2. Έχει ως στόχο να εξετάσει και διερευνήσει τη λειτουργικότητα του δορυφορικού συστήματος. Σε ποιο βαθμό, δηλαδή, αυτό ικανοποιεί τις απαιτήσεις διαθεσιμότητας, ακρίβειας και ακεραιότητας για συνήθεις εφαρμογές, που αφορούν σε διάφορους χρήστες, ποικίλα περιβάλλοντα και συνθήκες. Για τον σκοπό αυτό δημιουργήθηκε μια σειρά από διαφορετικά σενάρια χρήσης του συστήματος μέσω του λογισμικού GSSF. Τα σενάρια αυτά επιχειρούν να προσομοιώσουν πραγματικές εφαρμογές εντοπισμού θέσης και να αναλύσουν ποιοτικά χαρακτηριστικά του συστήματος, ώστε να δοθεί μια πλήρης εικόνα για την απόδοση της λειτουργίας του. Επίσης, έγιναν συγκρίσεις μεταξύ των δυο συστημάτων Galileo και GPS και δομήθηκαν ορισμένα σενάρια, που αφορούν τόσο στο GPS όσο και στον συνδυασμό Galileo/GPS.

Παρακάτω συγκεντρώνονται σε πίνακες τα σενάρια που υλοποιήθηκαν στο περιβάλλον GSSF, ιεραρχημένα όπως παρουσιάζονται στη ροή του κεφαλαίου. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 5.1, οι διαφορές μεταξύ των σεναρίων είναι ποιοτικές και αφορούν στο τι αποσκοπεί να δείξει το κάθε σενάριο (χαρακτηριστικά που εξετάζονται), στις παραμέτρους βάσει των οποίων γίνεται η αξιολόγηση των παραμέτρων, στον τύπο χρήστη και στο είδος του δορυφορικού συστήματος.

A/A Σεναρίου	Τύπος χρήστη	Δορυφορικό σύστημα	Χαρακτηριστικά που εξετάζονται	Ως προς τις παραμέτρους
1	Στατικός	Galileo	Επαναληψιμότητα γεωμετρίας	Ορατότητα DOP
		GPS		
2	Στατικός	Galileo	Ορατότητα DOP	Γωνία Ανύψωσης (10°, 15°, 20°)
		GPS		
		Galileo/GPS		
3	Στατικός	Galileo	Ορατότητα	Δορυφ. Σχηματισμός (Πλήρης/Ελλιπής)
4	Κινηματικός	Galileo	Λειτουργικότητα 2 συστημάτων	Ορατότητα DOP
		GPS		

Πίνακας 5.1 Σενάρια GSSF

Για τον Πίνακα 5.2, που αφορά στα UERE (User Equivalent Range Error- αναλυτικά περιγράφονται στην ενότητα 5.6) σενάρια, προστίθενται ακόμη τρεις στήλες σχετικές με τον τύπο του δέκτη, τις συχνότητες και τα UERE. Η επιλογή των συγκεκριμένων προκαθορισμένων τιμών UERE από τα υπόλοιπα που διαθέτει το πρόγραμμα GSSF έγινε με γνώμονα τις συγκρίσεις που ήταν επιθυμητό να γίνουν ανάμεσα στις διαφορετικές συχνότητες του Galileo. Για παράδειγμα, για να εξετασθεί η ακρίβεια που επιτυγχάνεται για τη μονή συχνότητα L1 συγκριτικά με την E5b επιλέχθηκαν για κινηματικό δέκτη τα UERE 2 και 4. Τέτοιου είδους σύγκριση έχει νόημα, καθώς και οι δύο συχνότητες ανήκουν στην ζώνη που αφορά τις υπηρεσίες αεροπλοΐας (ARNS- Aeronautical Radio Navigation Service) και είναι πολύ χρήσιμο για έναν χρήστη να γνωρίζει ποια από τις δυο είναι πιο κατάλληλη για τις αντίστοιχες εφαρμογές. Με παρόμοιο σκεπτικό δομήθηκαν και τα υπόλοιπα σενάρια.

A/A Σεναρίου	Δορυφ. Σύστημα	Τύπος χρήστη	Χαρακτηριστικά που εξετάζονται	Ως προς τις παραμέτρους	Δέκτης	Συχνότητες	Τύπος UERE
5	Galileo	Στατικός	Ακρίβεια	NSP	Δυο συχνοτήτων	E5a/L1	29
						E5b/L1	17
6	GPS	Στατικός	Ακρίβεια	NSP	Μίας συχνότητας	L1	GPS Current L1
					Δυο συχνοτήτων	L1/L5	GPS II L1/L5
						L1/L5	GPS III L1/L5
7	Galileo	Κινηματικός	Ακρίβεια	NSP	Μίας συχνότητας	E5b	2
L1						4	
8					Δυο συχνοτήτων	E5a/L1	8
						E5b/L1	6
9			Ακεραιότητα	PHMI_HAL	Μίας συχνότητας	E5b	23
L1						25	
10					Δυο συχνοτήτων	E5a/L1	16
						E5b/L1	14
11		Αεροπλάνο	Ακρίβεια	NSP	Δυο συχνοτήτων	E5a/L1	11
E5b/L1						9	
12			Ακεραιότητα	PHMI_HAL		E5a/L1	15
						E5b/L1	13

Πίνακας 5.2 Σενάρια GSSF - UERE

5.2 Σενάριο 1^ο: Επαναληψιμότητα γεωμετρίας δορυφόρων

Εδώ εξετάζεται η επαναληψιμότητα της γεωμετρίας του συστήματος Galileo, δηλαδή, η περίοδο του δορυφορικού σχηματισμού (αναλυτικότερα βλ. ενότητα 2.8.1)

Επίσημες πηγές, όπως η ίδια η ESA (<http://www.esa.int/esaCP/index.html>), αναφέρουν μεταξύ άλλων σχετικά με τον σχεδιασμό του συστήματος, πως η γεωμετρία των 27+3 δορυφόρων επαναλαμβάνεται περίπου κάθε 10 ημέρες, διάρκεια κατά την οποία κάθε δορυφόρος εκτελεί 17 περιστροφές.

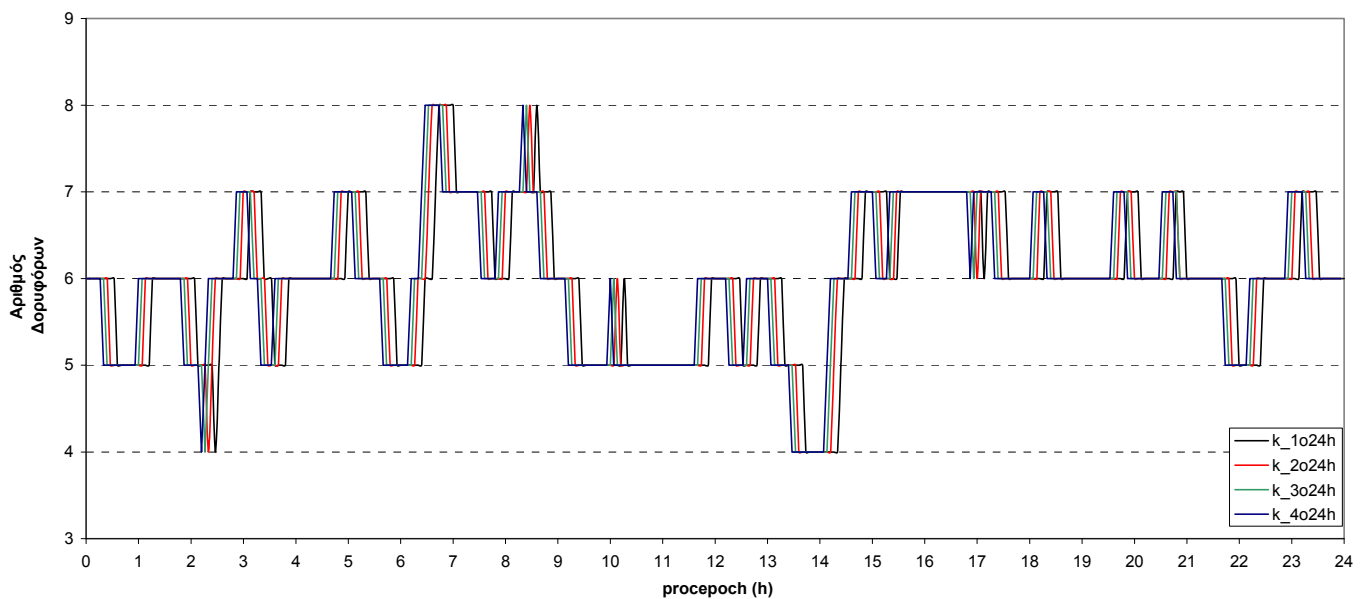
Αντίθετα, για το GPS είναι αποδεδειγμένο ότι η γεωμετρία του δορυφορικού σχηματισμού επαναλαμβάνεται κάθε 23^h 56^m 4,09^s (Φωτίου & Πικριδάς, 2006). Δηλαδή, οι δορυφόροι του συστήματος εμφανίζονται στην ίδια θέση στον ορίζοντα ενός τόπου κάθε μια μέρα παρά 4 min περίπου. Έτσι, παρότι είναι γνωστή με πλήρη βεβαιότητα η επαναληψιμότητα του δορυφορικού σχηματισμού για το GPS, επιλέχθηκε να προσομοιωθεί στο περιβάλλον του GSSF, ώστε με σύγκριση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης και της πραγματικότητας να εκτιμηθεί η ακρίβεια που επιτυγχάνει στους υπολογισμούς το εργαλείο προσομοίωσης. Με αυτό τον απλό τρόπο εξετάζεται η αξιοπιστία του λογισμικού και των αποτελεσμάτων που θα δώσει σε δεύτερη φάση η προσομοίωση για το σύστημα Galileo.

Στον πίνακα 5.3 συνοψίζονται τα κύρια χαρακτηριστικά του 1^{ου} σεναρίου με τις δυο επιμέρους προσομοιώσεις.

A/A Σεναρίου	Τύπος χρήστη	Δορυφορικό Σύστημα	Χαρακτηριστικά που εξετάζονται	Ως προς τις παραμέτρους
1	Στατικός	Galileo	Επαναληψιμότητα γεωμετρίας	Ορατότητα DOP
		GPS		

Πίνακας 5.3 Σενάριο 1^ο

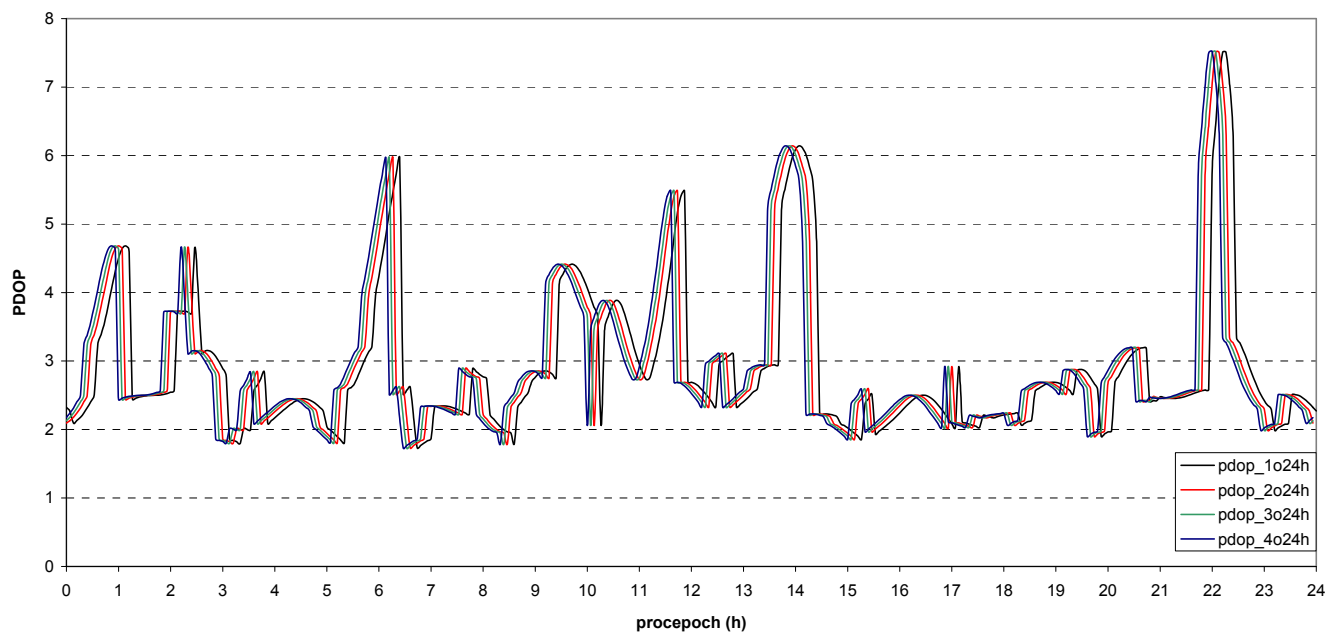
Για την προσομοίωση του GPS ορίστηκε στατικός τύπος δέκτη και, προκειμένου να επιβεβαιωθεί η 24ωρη επαναληψιμότητα, διάρκεια προσομοίωσης τέσσερις ημέρες και χρονικό βήμα 4 min. Για αυτές τις παραμέτρους επιλέχθηκε ανάλυση ορατότητας (Visibility Analysis) και ανάλυση εσωτερικής ακρίβειας (DOP). Ο αριθμός των δορυφόρων και τα μέτρα PDOP που προέκυψαν, αποτελούν ποιοτικούς δείκτες που συναρτήσει του χρόνου δίνουν μια σαφή εικόνα για τη γεωμετρία του συστήματος.



Σχήμα 5.4 Έλεγχος επαναληψιμότητας γεωμετρίας GPS – Αριθμός δορυφόρων

Όπως διακρίνεται στο σχήμα 5.4, ο αριθμός των ορατών δορυφόρων παρουσιάζει ίδια χρονοσειρά για κάθε 24ωρο, άρα και ίδια γεωμετρία, με μόνη διαφορά μια μεταξύ τους χρονική απόκλιση της τάξης των 4 min. Αυτό διακρίνεται καθαρά από την μετατόπιση των γραμμών προς τα αριστερά. Για το πρώτο 24ωρο οι τιμές ορατότητας ακολουθούν μια ορισμένη χρονοσειρά (μαύρη γραμμή) με ελάχιστο και μέγιστο αριθμό 4 και 8 δορυφόρους αντίστοιχα. Για το δεύτερο 24ωρο η χρονοσειρά είναι η ίδια (κόκκινη γραμμή), αλλά μετατοπισμένη αριστερότερα ως προς το πρώτο και κατά τον άξονα του χρόνου. Για το τρίτο 24ωρο παρομοίως (πράσινη γραμμή), και για το τέταρτο ακόμη 4 min νωρίτερα από το μόλις προηγούμενο 24ωρο (μπλε γραμμή). Δηλαδή η θέση των δορυφόρων επαναλαμβάνεται κάθε 24 ώρες παρά 4 min.

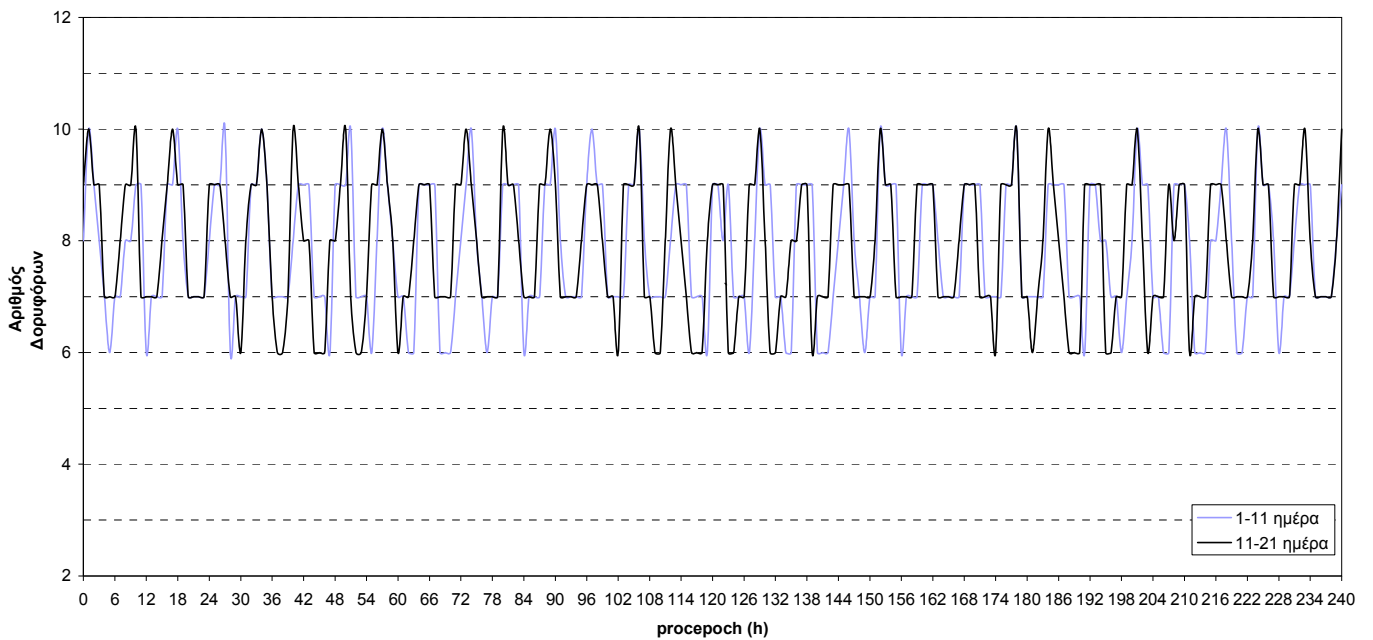
Σε ό,τι αφορά την ανάλυση εσωτερικής ακρίβειας, τα αποτελέσματα που προκύπτουν ταυτίζονται με αυτά για την ανάλυση ορατότητας, εφόσον για ίδιο αριθμό ορατών δορυφόρων η γεωμετρία είναι ίδια, άρα και το μέτρο PDOP λαμβάνει τις ίδιες τιμές (βλ. Σχ. 5.5). Κατά συνέπεια ενισχύεται το συμπέρασμα πως το λογισμικό GSSF προσομοιώνει αξιόπιστα τα δορυφορικά τμήματα των συστημάτων εντοπισμού θέσης.



Σχήμα 5.5 Έλεγχος επαναληψιμότητας γεωμετρίας GPS – PDOP

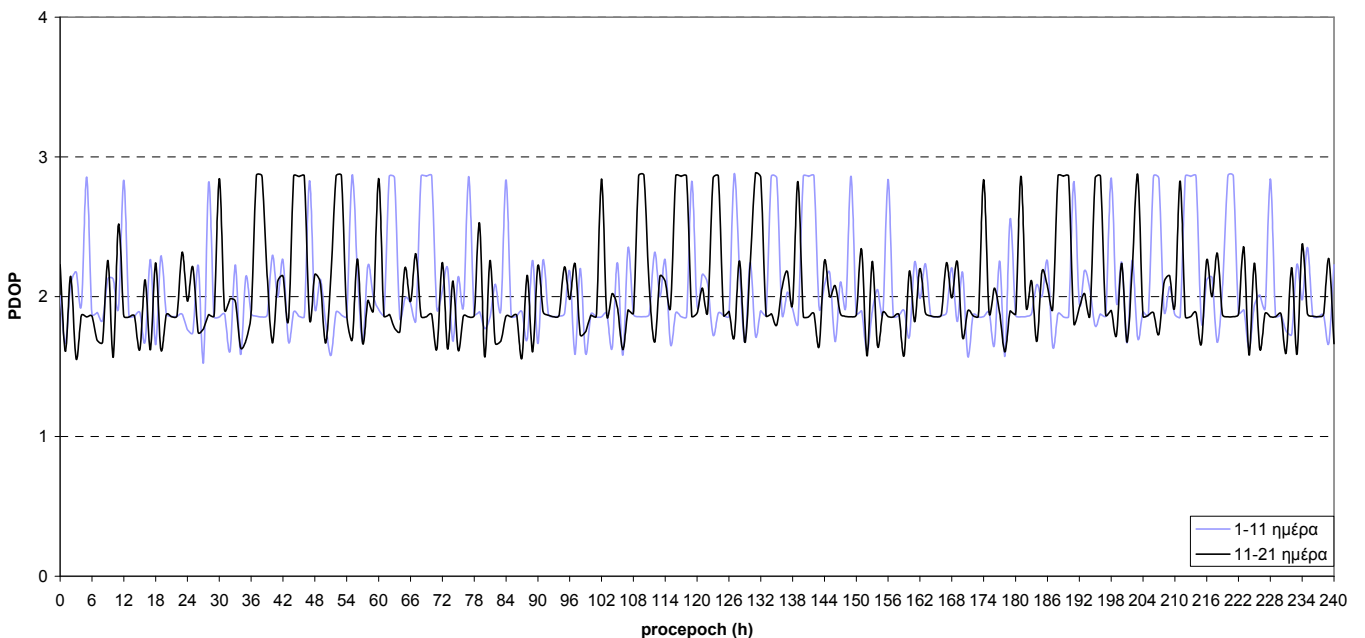
Στη συνέχεια, εξετάζεται η επαναληψιμότητα της γεωμετρίας του Galileo. Ο θεωρητικός χρόνος επαναληψιμότητας, που προβλέπεται για το σύστημα Galileo, είναι περίπου 10 ημέρες. Αναμένεται, δηλαδή, η γεωμετρία τού δορυφορικού σχηματισμού να επαναλαμβάνεται κάθε δεκαήμερο, και μέσω του ελέγχου που πραγματοποιείται εδώ, γίνεται προσπάθεια να εξακριβωθεί ο ακριβής χρόνος της επανάληψης. Βάσει αυτής της παραμέτρου ορίστηκε στο GSSF προσομοίωση διάρκειας τεσσάρων συνεχόμενων δεκαημέρων, έτσι ώστε να υπάρχει ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα για την επιβεβαίωση της επαναληψιμότητας. Επιλέχθηκε, όπως και πριν, στατικός δέκτης και βήμα προσομοίωσης η 1 ώρα. Ύστερα από την εκτέλεση της προσομοίωσης τα αποτελέσματα που προέκυψαν αφορούν στις αναλύσεις ορατότητας και εσωτερικής ακρίβειας. Οι τιμές ορατών δορυφόρων και DOP συγκεντρώθηκαν επιλεκτικά σε διαγράμματα, μέσω των οποίων είναι δυνατή η σύγκριση των δεκαημέρων ανά δύο.

Αρχικά, δημιουργήθηκε ένα διάγραμμα ορατότητας συναρτήσει του χρόνου για το πρώτο και δεύτερο δεκαήμερο (Σχήμα 5.6). Εδώ παρατηρήθηκε πως η κατανομή των τιμών ορατότητας δεν συμπίπτει ακριβώς για τα δυο δεκαήμερα. Συνεπώς, στην πράξη η επαναληψιμότητα εμφανίζει μια ολίσθηση ως προς τις 10 ημέρες. Αυτό οφείλεται στην ακρίβεια στα προσομοιωμένα δεδομένα που προκύπτουν τόσο από τις κεπλέριες παραμέτρους, αλλά και από τις διάφορες επιδράσεις στις τροχιές.



Σχήμα 5.6 Συγκριτικό διάγραμμα ορατότητας για ακριβώς 10 ημέρες (1^ο – 2^ο δεκαήμερο)

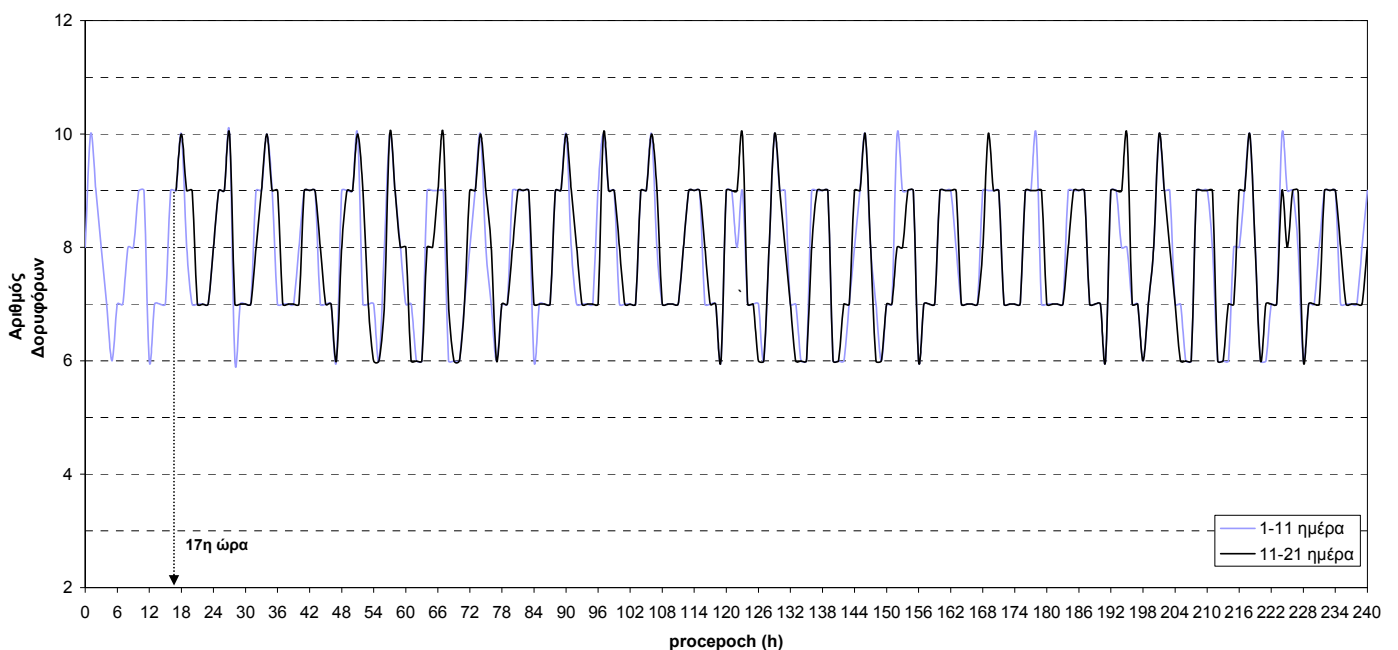
Ίδιες παρατηρήσεις προκύπτουν και για την ανάλυση εσωτερικής ακρίβειας. Οι τιμές DOP δεν συμπίπτουν για τα δυο δεκαήμερα (Σχήμα 5.7).



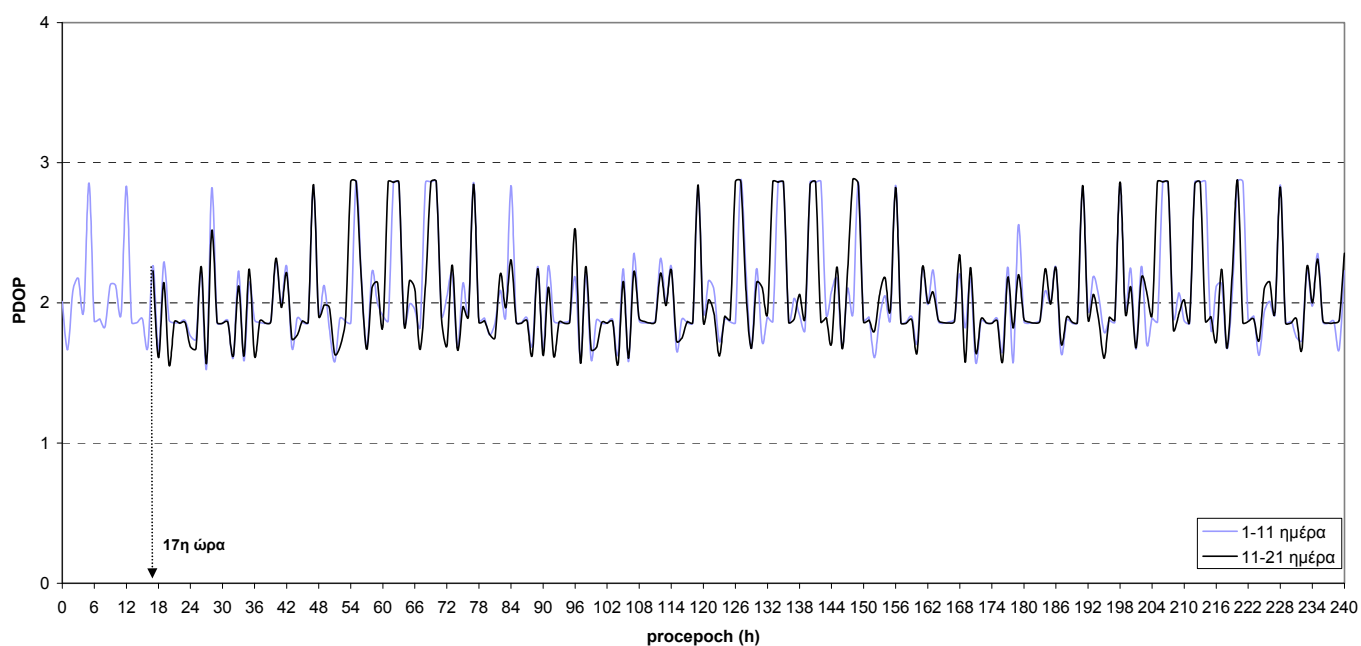
Σχήμα 5.7 Συγκριτικό διάγραμμα PDOP για ακριβώς 10 ημέρες (1^ο – 2^ο δεκαήμερο)

Στα διαγράμματα παρατηρείται πως η σειρά των τιμών εμφανίζει αρκετές ομοιότητες για τα δυο δεκαήμερα. Έτσι, επιχειρώντας ταύτιση των δυο σειρών συνδυάζοντας τις τιμές εκείνες που συγκλίνουν μεταξύ τους οδηγείται στο εξής συμπέρασμα: για το πρώτο δεκαήμερο η

ορατότητα ως προς τους δορυφόρους εμφανίζει τιμές που ακολουθούν μια συγκεκριμένη χρονοσειρά (Σχήμα 5.8, μπλε γραμμή). Οι τιμές του δευτέρου ακολουθούν, επίσης, μια ανάλογη χρονοσειρά (μαύρη γραμμή), η οποία φαίνεται να ταυτίζεται με αυτή του πρώτου, όταν η τιμή της για την 1^η ώρα συμπίπτει με εκείνη για την 17^η του πρώτου δεκαημέρου. Αυτό σημαίνει πως οι τιμές ορατότητας αρχίζουν να επαναλαμβάνονται 17 ώρες νωρίτερα. Τα ίδια προκύπτουν και για τις τιμές PDOP (Σχήμα 5.9). Παρακάτω, δίνεται μέσω διαγραμμάτων μια σαφής εικόνα για ό, τι περιγράφεται, ενώ με άμεση σύγκριση αυτών με τα σχήματα 5.6 και 5.7 γίνεται κατανοητό, πως η επαναληψιμότητα επιτυγχάνεται για 9 ημέρες και 7 ώρες και όχι για ακριβώς 10 ημέρες.

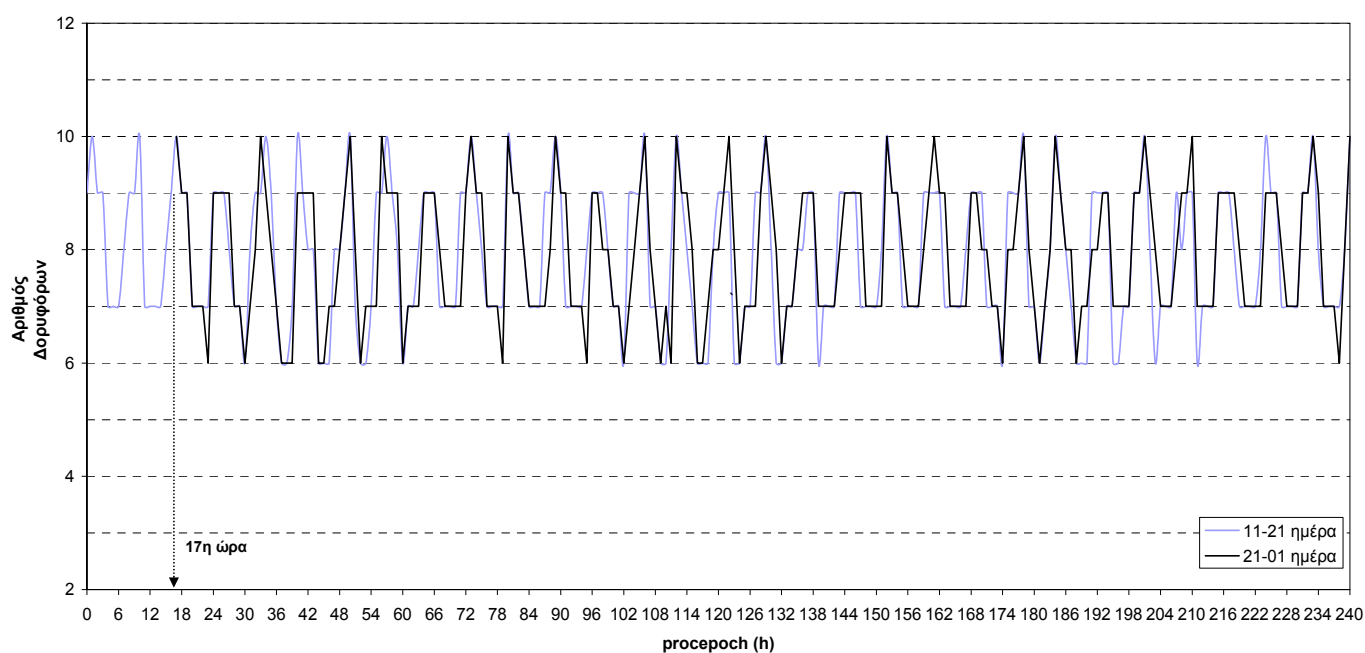


Σχήμα 5.8 Συγκριτικό διάγραμμα ορατότητας για 10 ημέρες παρά 17 ώρες (1^ο – 2^ο δεκαήμερο)

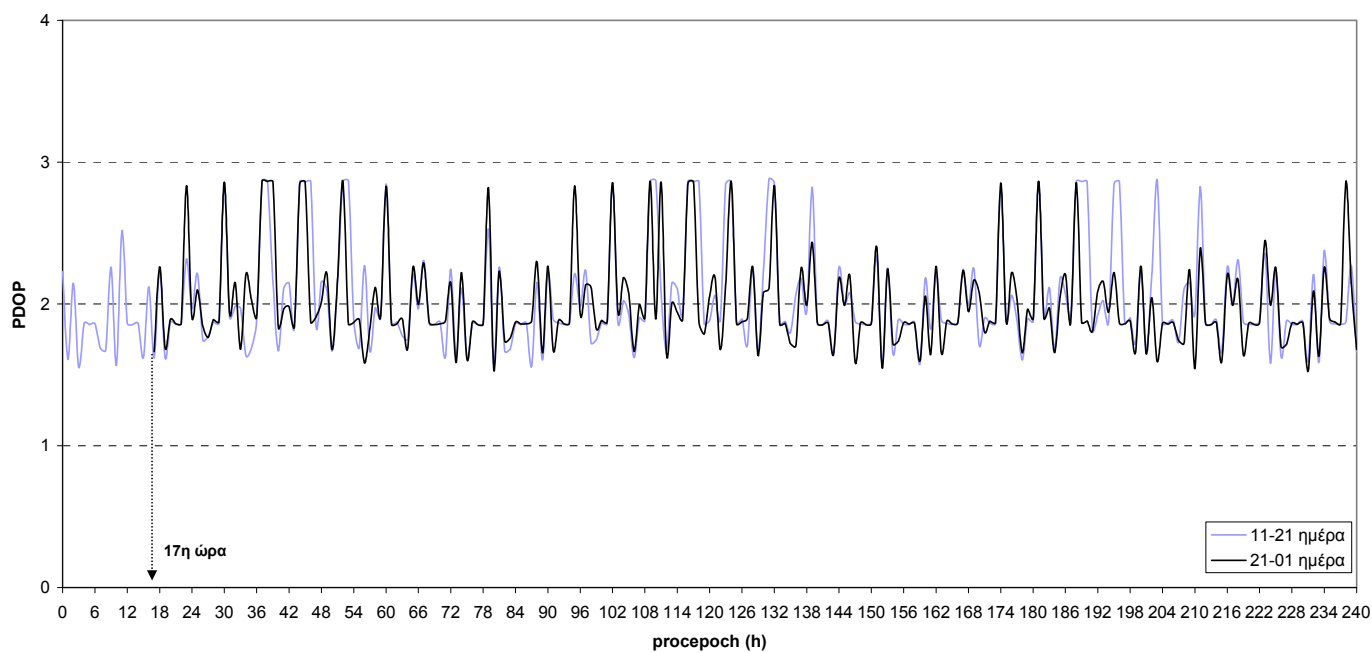


Σχήμα 5.9 Συγκριτικό διάγραμμα PDOP για 10 ημέρες παρά 17 ώρες ($1^{\circ} - 2^{\circ}$ δεκαήμερο)

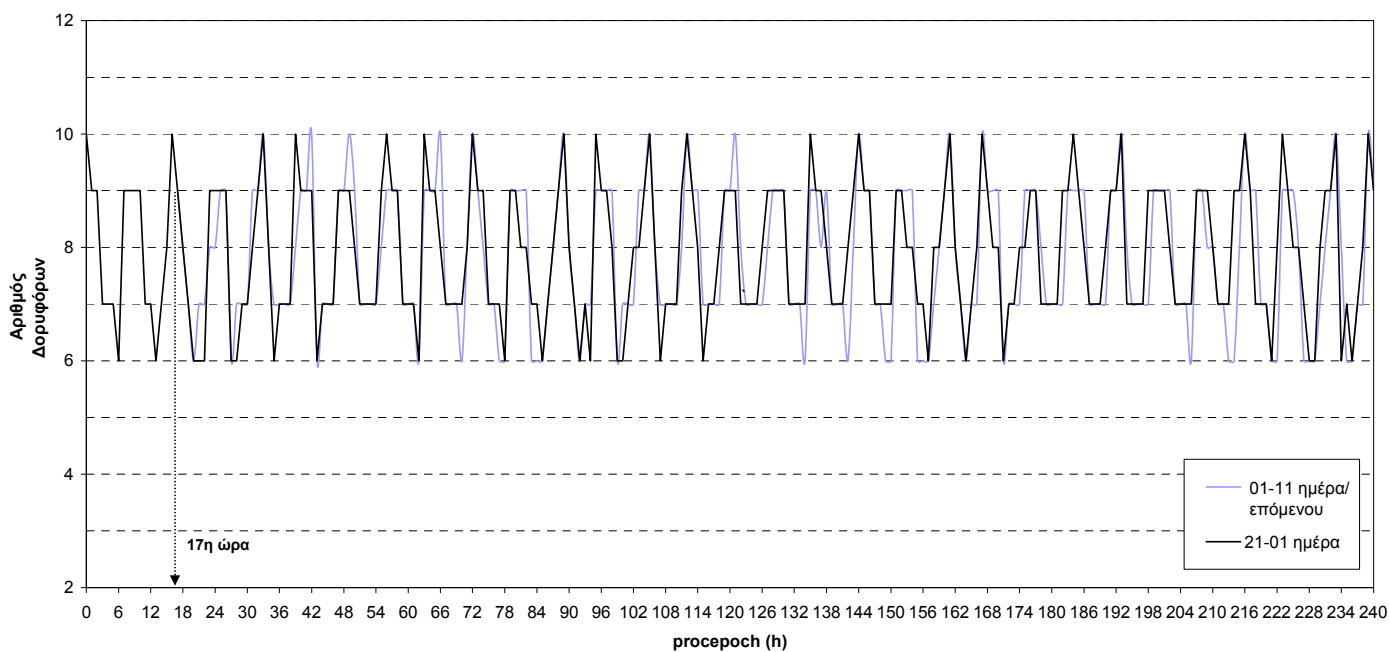
Οι ίδιες δοκιμές συνεχίστηκαν και για τα επόμενα δεκαήμερα προκειμένου για να διαπιστωθεί αν ισχύει η παραπάνω εκτίμηση. Τόσο για τη σύγκριση $2^{\text{ου}}$ με $3^{\text{ου}}$ δεκαήμερο όσο και για τη σύγκριση $3^{\text{ου}}$ με $4^{\text{ου}}$ οι τιμές εμφανίζουν μεταξύ άλλων συνδυασμών την καλύτερη ταύτιση για χρονική διαφορά 17 ωρών. Παρακάτω παρατίθενται τα αντίστοιχα διαγράμματα (Σχήμα 5.10 έως 5.13).



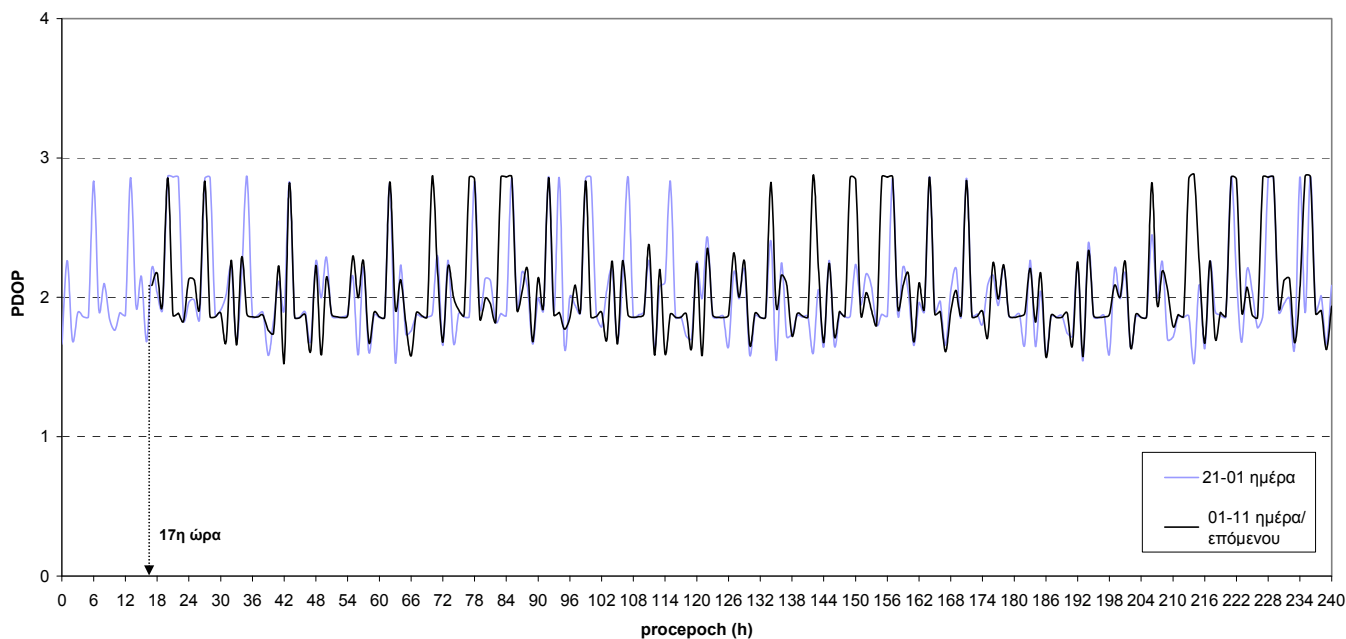
Σχήμα 5.10 Συγκριτικό διάγραμμα ορατότητας για 10 ημέρες παρά 17 ώρες ($2^{\circ} - 3^{\circ}$ δεκαήμερο)



Σχήμα 5.11 Συγκριτικό διάγραμμα ορατότητας για 10 ημέρες παρά 17 ώρες (2^ο – 3^ο δεκαήμερο)



Σχήμα 5.12 Συγκριτικό διάγραμμα ορατότητας για 10 ημέρες παρά 17 ώρες (3^ο – 4^ο δεκαήμερο)



Σχήμα 5.13 Συγκριτικό διάγραμμα PDOP για 10 ημέρες παρά 17 ώρες (3^ο – 4^ο δεκαήμερο)

Από τα παραπάνω διαπιστώθηκε ότι η περίοδος επανάληψης του δορυφορικού σχηματισμού για το σύστημα Galileo είναι 9^d και 7^h.

5.3 Σενάριο 2^ο: Στατικός δέκτης – Δορυφορικά συστήματα

Σε αυτό το δεύτερο σενάριο εξετάζονται τα δυο συστήματα και ο συνδυασμός τους ως προς την λειτουργικότητά τους σε εφαρμογές με στατικό δέκτη. Βάσει του δορυφορικού τμήματος ορίστηκαν για το ίδιο σενάριο τρεις ξεχωριστές προσομοιώσεις, που περιλάμβαναν το σύστημα Galileo, το GPS και τον συνδυασμό τους αντίστοιχα.

A/A Σεναρίου	Τύπος χρήστη	Δορυφορικό σύστημα	Χαρακτηριστικά που εξετάζονται	Ως προς τις παραμέτρους
2	Στατικός	Galileo	Ορατότητα DOP	Γωνία Ανύψωσης (10°, 15°, 20°)
		GPS		
		Galileo/GPS		

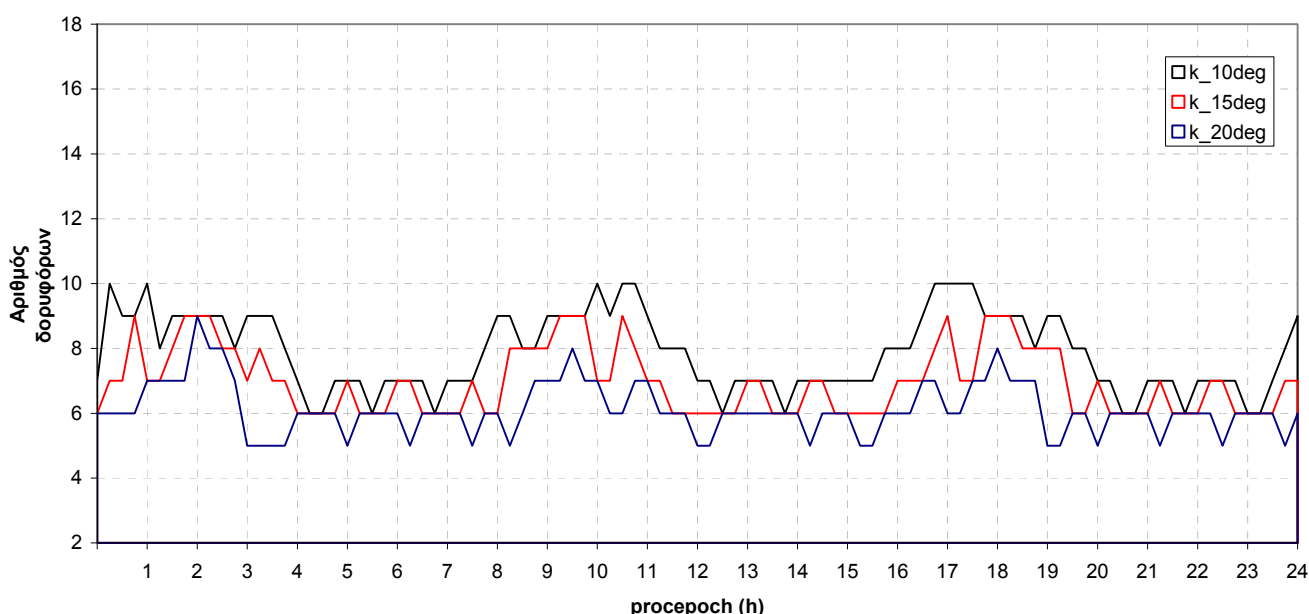
Πίνακας 5.14 Σενάριο 2^ο

Για καθεμία από αυτές εξετάστηκαν οι παράμετροι ορατότητας και γεωμετρίας DOP ως προς τη γωνία ανύψωσης, που ορίστηκε να έχει τιμές 10, 15 και 20 μοίρες αντίστοιχα (βλ. Πίν. 5.14). Η παράμετρος αυτή είναι ενδεικτική της διαθεσιμότητας των δορυφορικών συστημάτων.

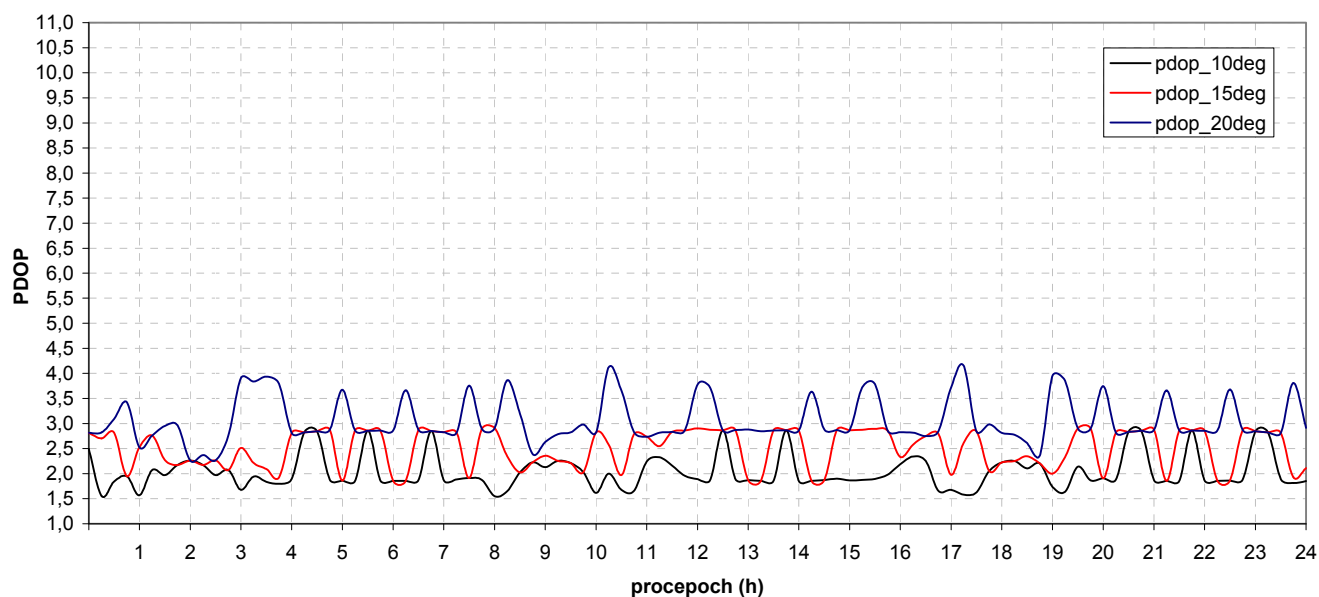
Χαμηλές γωνίες ανύψωσης υποδηλώνουν ευρύτερο πεδίο θέασης απ' ό,τι οι μεγάλες γωνίες ανύψωσης. Σύγκριση των συστημάτων για την ίδια γωνία ανύψωσης, π.χ. χαμηλή (10°), αποσκοπεί στο να διαπιστωθεί ποιο σύστημα παρέχει καλύτερη διαθεσιμότητα.

Και για τις τρεις περιπτώσεις ορίστηκαν ακριβώς οι ίδιες παράμετροι, ώστε να είναι δυνατή η μεταξύ τους σύγκριση. Τύπος χρήστη ορίστηκε ο στατικός δέκτης (static user) με γεωγραφικές συντεταγμένες στο GRS80 τις ($\varphi=37^\circ 58' 21.''4328$, $\lambda=23^\circ 46' 42.''2424$, $h=0$, πρόκειται για σημείο στην περιοχή της πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου). Ίδιος χρόνος έναρξης και λήξης της προσομοίωσης, ίδια διάρκεια και ίδιο χρονικό βήμα. Ο απαιτούμενος τύπος ανάλυσης ήταν επίσης ο ίδιος, ανάλυση ορατότητας και DOP. Για διάρκεια προσομοίωσης μιας μέρας και για χρονικό βήμα 900 sec, οι εποχές παρατήρησης ήταν 96. Για αυτές τις εποχές η προσομοίωση έδωσε τον αριθμό ορατών δορυφόρων και το αντίστοιχο μέτρο ακρίβειας DOP. Παρακάτω παρουσιάζονται γραφικά τα αποτελέσματα.

Οι γραφικές παραστάσεις επιλέχθηκε να δοθούν σε μορφή Excel γραφημάτων, καθώς τα αντίστοιχα που δίνει το πρόγραμμα GSSF δεν επιδέχονται τροποποιήσεις και παρεμβάσεις, ώστε να είναι ευκρινέστερα τα διαφορετικά αποτελέσματα.

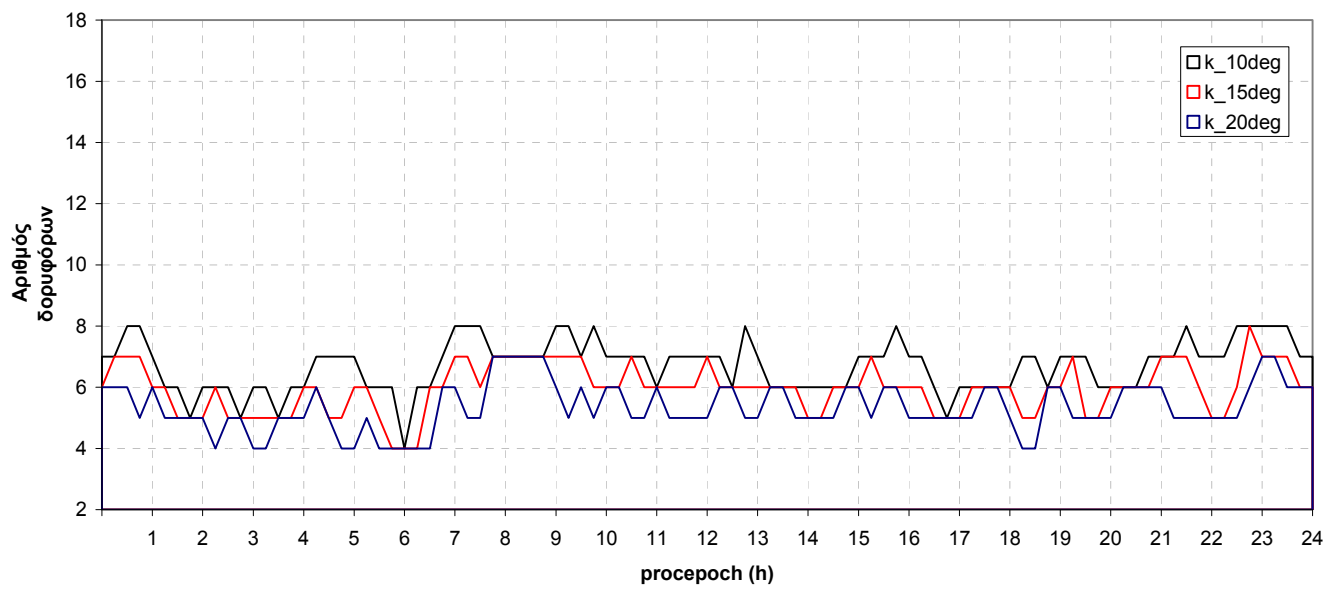


Σχήμα 5.15 Galileo – Αριθμός ορατών δορυφόρων συναρτήσει της γωνίας ανύψωσης

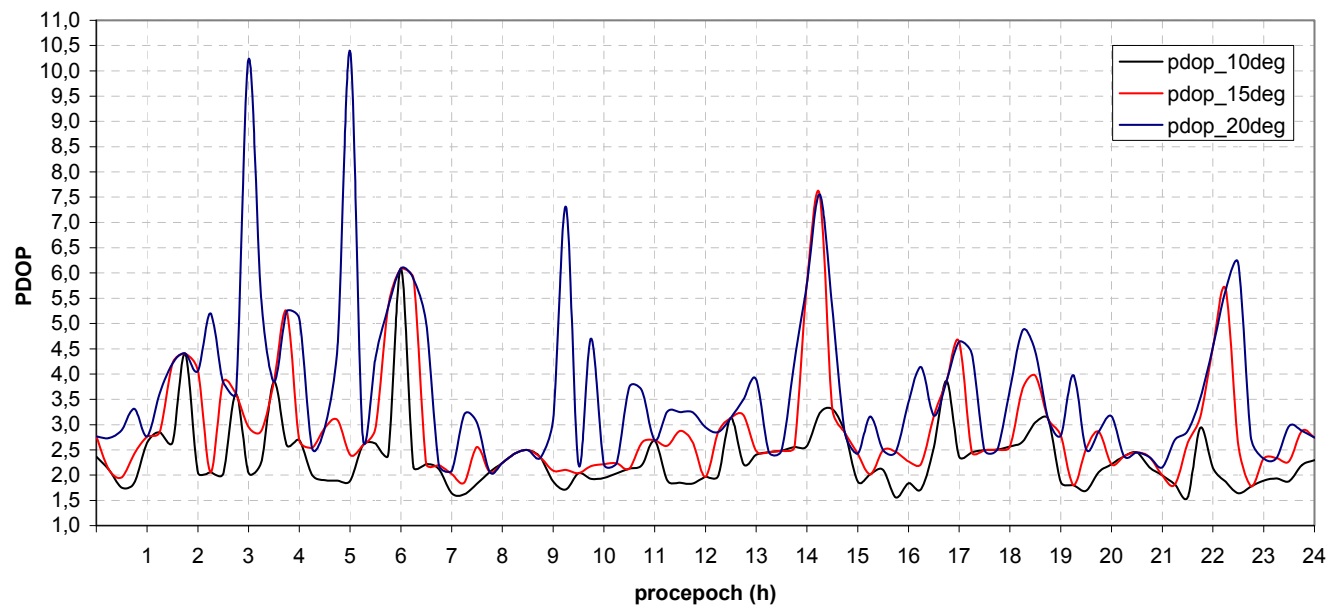


Σχήμα 5.16 Galileo – Μέτρο ακρίβειας PDOP συναρτήσει της γωνίας ανύψωσης

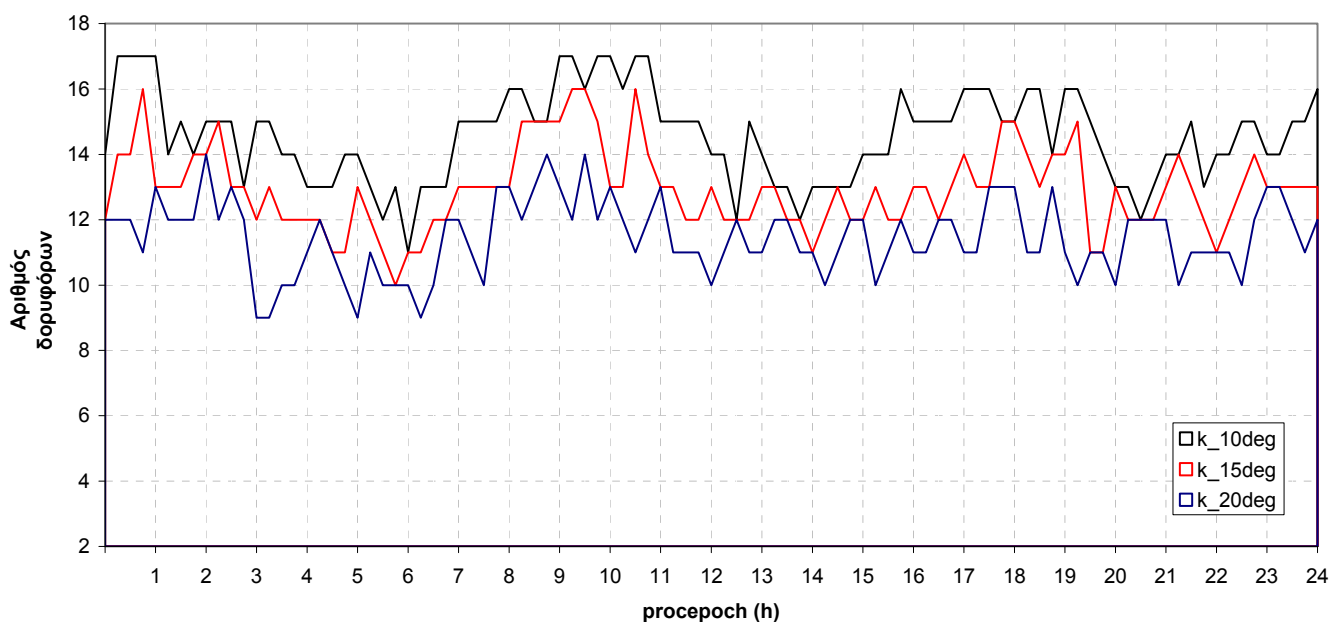
Από τα παραπάνω διαγράμματα (Σχ. 5.15 & 5.16) διαπιστώνεται, πως, καθώς αυξάνεται η γωνία ανύψωσης από τις 10 (μαύρη γραμμή) στις 20 μοίρες (μπλε γραμμή), μειώνεται ο αριθμός των ορατών δορυφόρων όπως επίσης αυξάνεται η τιμή του PDOP. Γεγονός αναμενόμενο αφού για μεγαλύτερη γωνία ορίζοντα αποκλείεται ένας αριθμός δορυφόρων που βρίσκονται χαμηλότερα. Λιγότεροι ορατοί δορυφόροι έχουν ως συνέπεια περιορισμένη γεωμετρία και άρα χειρότερες τιμές DOP. Η σύγκριση των αποτελεσμάτων για τις τρεις διαφορετικές γωνίες έδωσε τα ίδια συμπεράσματα και για το GPS, αλλά και για τον συνδυασμό των δυο συστημάτων. Αυτό γίνεται αντιληπτό από τα διαγράμματα που παρατίθενται στη συνέχεια (βλ. Σχήμα 5.17 – 5.20).



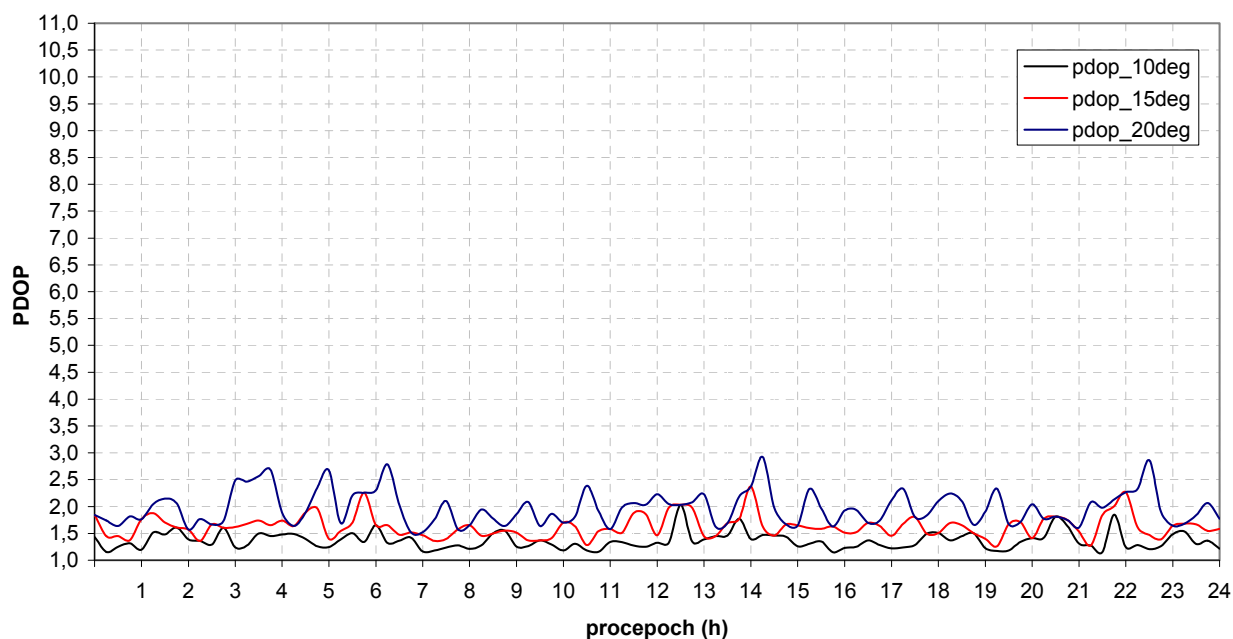
Σχήμα 5.17 GPS – Αριθμός ορατών δορυφόρων συναρτήσει της γωνίας ανύψωσης



Σχήμα 5.18 GPS – Μέτρο ακρίβειας PDOP συναρτήσει της γωνίας ανύψωσης

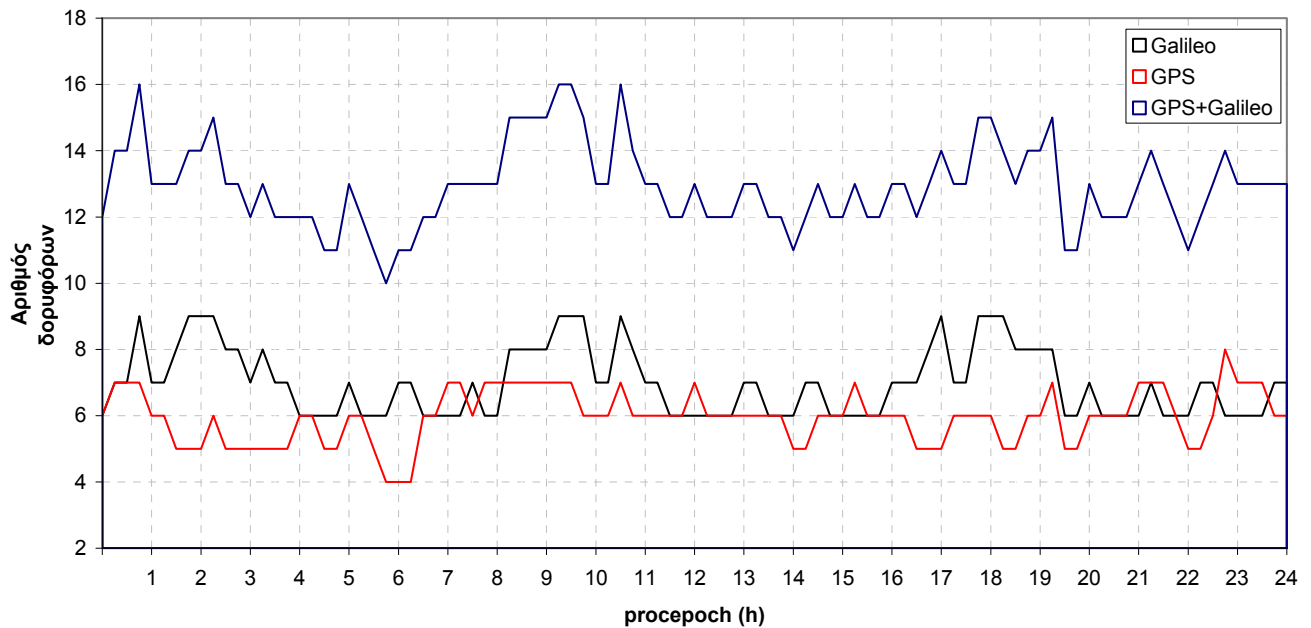


Σχήμα 5.19 Συνδυασμός GPS/Galileo – Αριθμός ορατών δορυφόρων συναρτήσει της γωνίας ανύψωσης



Σχήμα 5.20 Συνδυασμός GPS/Galileo – Μέτρο ακρίβειας PDOP συναρτήσει της γωνίας ανύψωσης

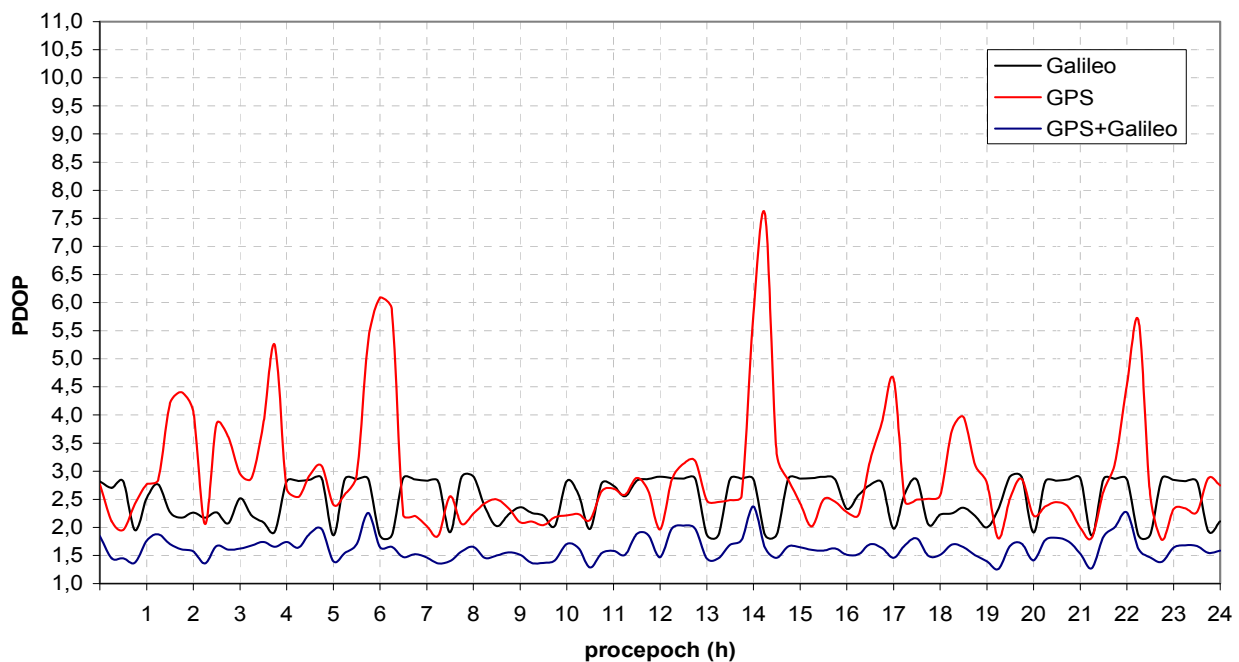
Επίσης, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η σύγκριση μεταξύ των τριών προσομοιώσεων για κάθε τύπο δορυφορικού συστήματος. Για τον σκοπό αυτό συγκεντρώνονται οι τιμές ορατότητας και DOP για τη γωνία ανύψωσης 15° σε κοινά διαγράμματα για τις τρεις προσομοιώσεις (βλ. Σχήμα 5.21, 5.22).



Σχήμα 5.21 Σύγκριση των 3 σεναρίων ως προς την ορατότητα για γωνίας ανύψωσης 15°

Πιο συγκεκριμένα, απεικονίζεται η ορατότητα και η ποιότητα της γεωμετρίας του δορυφορικού σχηματισμού για τον συνδυασμό των δυο συστημάτων GPS και Galileo. Παρατηρείται πως η ορατότητα σε αυτή την περίπτωση είναι πολύ καλή με ελάχιστο και μέγιστο αριθμό ορατών δορυφόρων τους 10 έως 16 αντίστοιχα. Αυτό είναι αναμενόμενο εφόσον με τον συνδυασμό των συστημάτων υπάρχει κάλυψη από τον μέγιστο δυνατό αριθμό δορυφόρων, που είναι το σύνολο των 27 και 24 αντίστοιχα. Οι νέοι δέκτες πρόκειται να είναι συμβατοί και με τα δύο συστήματα και ως εκ τούτου να λαμβάνουν σήματα και από τα δυο. Αυτό αποτελεί τεράστιο πλεονέκτημα για ένα πλήθος χρηστών και εφαρμογών σε παγκόσμιο επίπεδο, που απαιτούν μεγάλες ακρίβειες εντοπισμού θέσης. Ακόμη, η συμβατότητα και διαλειτουργικότητα των δυο συστημάτων πρόκειται να βελτιώσει πολύ τον εντοπισμό θέσης και τις τεχνικές πλοήγησης στα περιβάλλοντα πόλης (βλ. ενότητα 2.4).

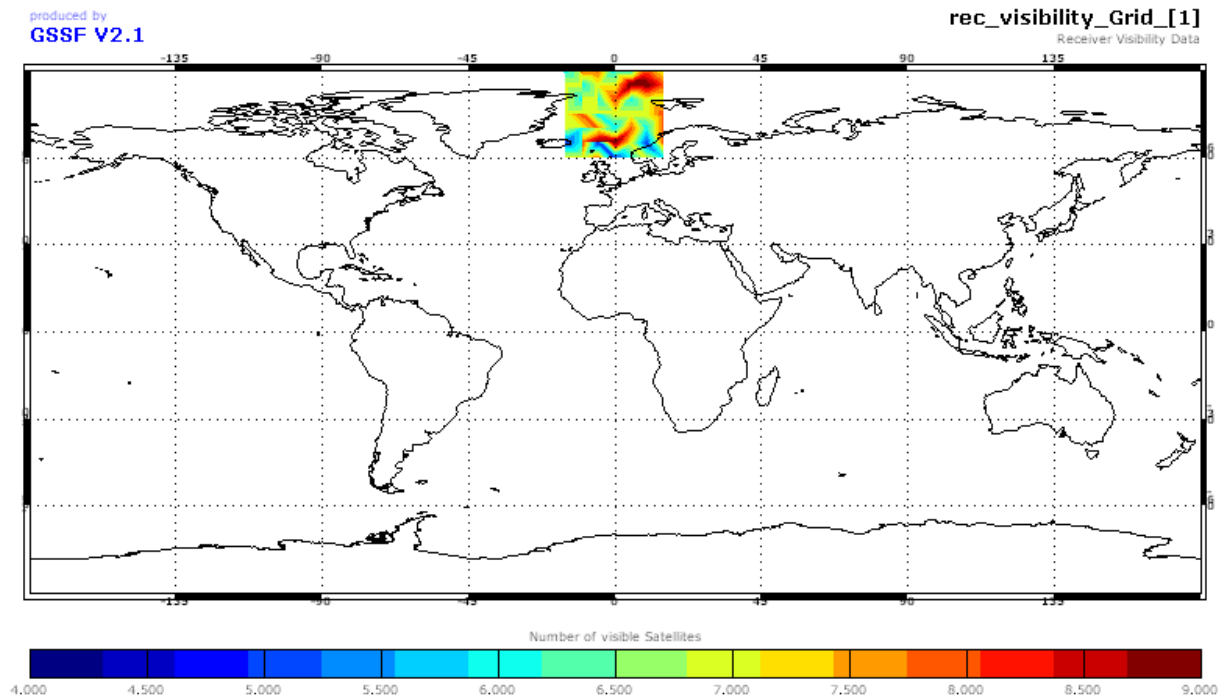
Στη συνέχεια μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει η σύγκριση των δυο συστημάτων ξεχωριστά. Διακρίνεται καθαρά πως το Galileo για τις ίδιες συνθήκες μετρήσεων και τις ίδιες παραμέτρους δίνει περισσότερους ορατούς δορυφόρους απ' ό,τι το GPS, 6 έως 9 σε αντίθεση με τους 4 έως 8 του GPS (Σχήμα 5.21). Ομοίως, το μέτρο PDOP λαμβάνει μικρότερες τιμές για το σύστημα Galileo (1,8 έως 2,8) απ' ό,τι για το GPS (1,7 έως 7,5). Ενώ μάλιστα για το δεύτερο η γεωμετρία των ορατών δορυφόρων είναι πολύ κακή για ορισμένες χρονικές στιγμές της μέρας, όπως για την 6^η, την 14^η και την 22^η (βλ. Σχήμα 5.22).



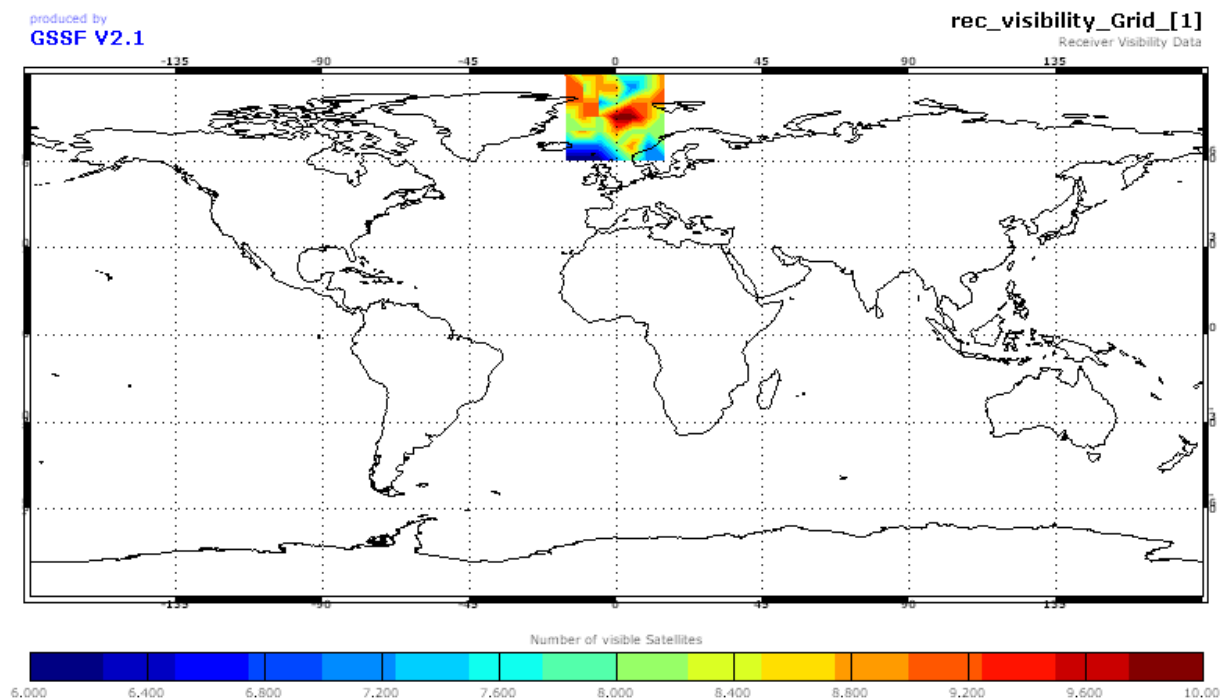
Σχήμα 5.22 Σύγκριση των 3 σεναρίων ως προς την ορατότητα για γωνίας ανύψωσης 15°

Αυτό αποδεικνύει πως το GPS μειονεκτεί σε σχέση με το φιλόδοξο σύστημα Galileo, το οποίο προσφέρει καλύτερη κάλυψη και διαθεσιμότητα ικανοποιώντας τις αρχικές απαιτήσεις και προδιαγραφές του. Ο παραπάνω, απλός αλλά αξιόπιστος, τρόπος ελέγχου δίνει μια σαφή εικόνα για τις αποδόσεις του συστήματος Galileo.

Τέλος, στο ίδιο σενάριο έγινε μια ακόμη δοκιμή. Μεταβάλλοντας τις γεωγραφικές συντεταγμένες ϕ , λ και h επιχειρήθηκε να εξεταστεί η διαθεσιμότητα των δορυφόρων μεταξύ των δυο συστημάτων GPS και Galileo για περιοχές κοντά στους πόλους (βλ. ενότητα 2.8.1). Γι' αυτό εκτελέστηκαν οι αντίστοιχες προσομοιώσεις, για τα βόρεια και νότια γεωγραφικά πλάτη και για τα δύο συστήματα ξεχωριστά. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν είναι εμφανή στους παρακάτω χάρτες που δίνει το πρόγραμμα GSSF.



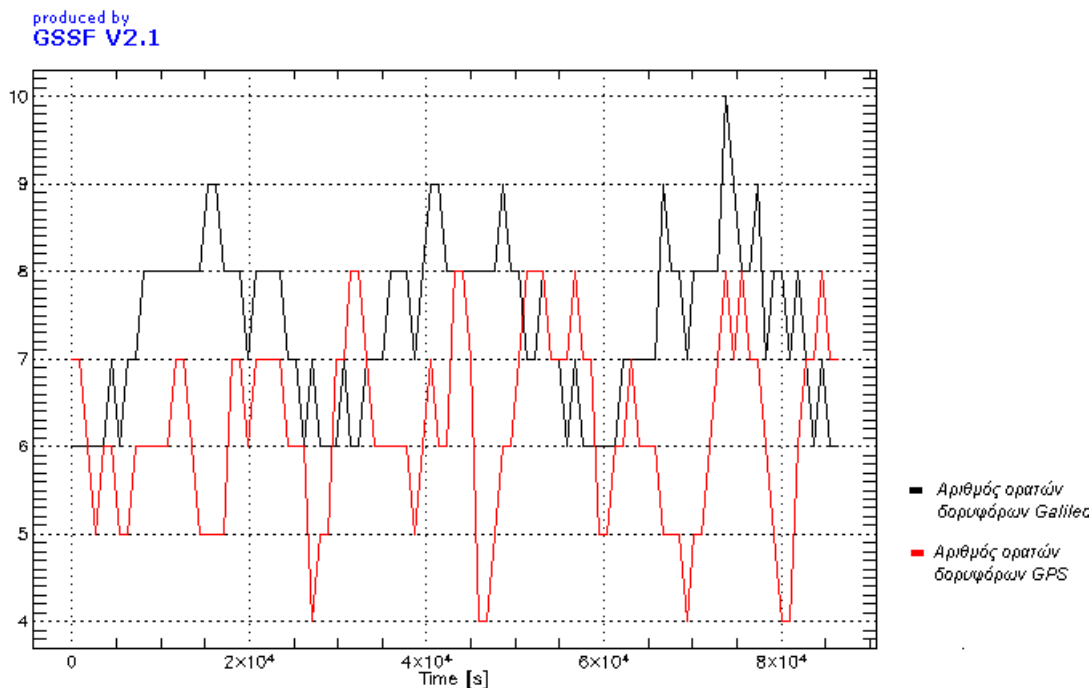
Εικόνα 5.23 Κάλυψη βόρειων γεωγραφικών πλατών από το GPS



Εικόνα 5.24 Κάλυψη βόρειων γεωγραφικών πλατών από το Galileo

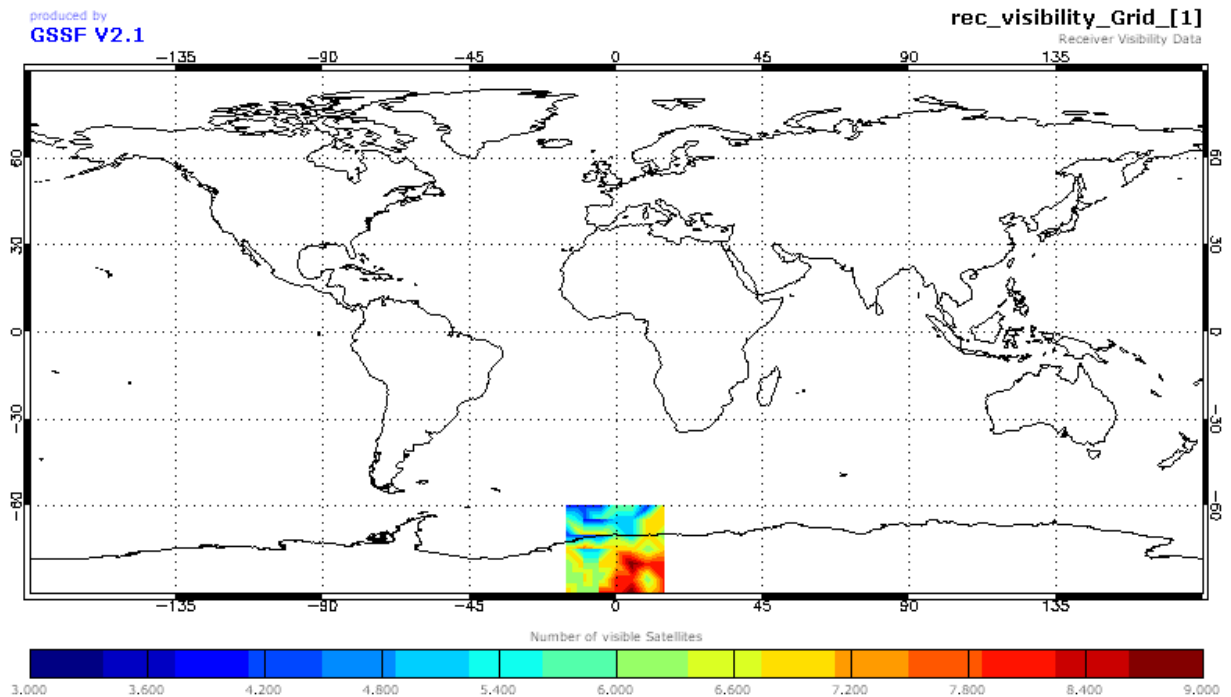
Στις εικόνες 5.23 και 5.24 δίνεται μια περιοχή μεταξύ των γεωγραφικών πλατών 60° και 90° και μεταξύ των γεωγραφικών μηκών -15° και 15° , η οποία αντιπροσωπεύει, δηλαδή, τον Βόρειο Πόλο. Γι αυτήν την περιοχή το σύστημα GPS φαίνεται πως έχει διαθέσιμους από 4 έως 8 περίπου δορυφόρους, ενώ το Galileo από 6 έως 10. Είναι εμφανής η διαφορά των δυο

συστημάτων ως προς την κάλυψη αυτών των περιοχών. Αποδεικνύεται η υπεροχή του Galileo έναντι του GPS. Πιο καθαρά διακρίνεται στο συγκριτικό διάγραμμα 5.25 η διαθεσιμότητα των δορυφόρων για τα δύο συστήματα.

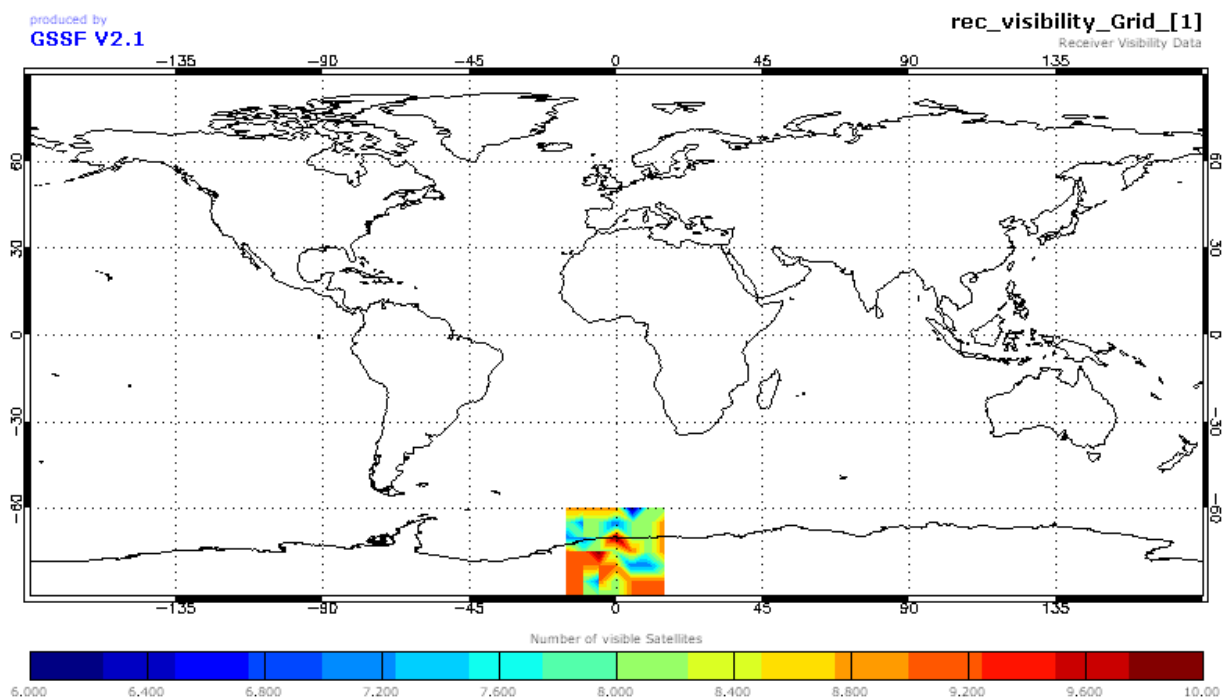


Σχήμα 5.25 Διαθεσιμότητα δορυφορικών συστημάτων στα βόρεια γεωγραφικά πλάτη

Στη συνέχεια, η ίδια δοκιμή πραγματοποιείται και για τα νότια γεωγραφικά πλάτη, ώστε να εξακριβωθεί πλήρως η θεωρητική υπόθεση που θέλει το σύστημα Galileo να καλύπτει επαρκώς τις περιοχές στους πόλους σε αντίθεση με το GPS που γι' αυτές εμφανίζει αδυναμία κάλυψης. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης στο περιβάλλον GSSF παρουσιάζονται στις εικόνες 5.26 και 5.27.



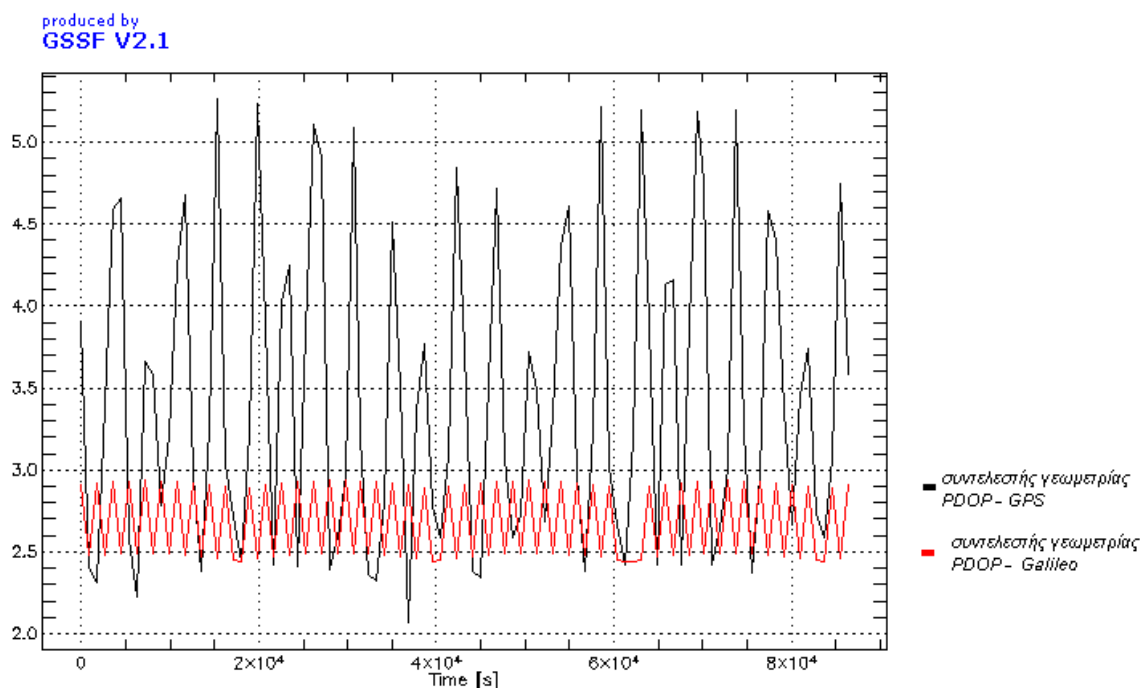
Εικόνα 5.26 Κάλυψη νότιων γεωγραφικών πλατών από το GPS



Εικόνα 5.27 Κάλυψη νότιων γεωγραφικών πλατών από το Galileo

Παρομοίως και εδώ, 24 δίνεται μια περιοχή μεταξύ των γεωγραφικών πλατών -60° και -90° και μεταξύ των γεωγραφικών μηκών -15° και 15° , η οποία αντιπροσωπεύει, δηλαδή, τον Νότιο Πόλο. Γι αυτήν την περιοχή το σύστημα GPS φαίνεται πως έχει διαθέσιμους από 4 έως 9 περίπου δορυφόρους, ενώ το Galileo από 6 έως 10. Ως ένα άλλο μέτρο σύγκρισης δίνεται το

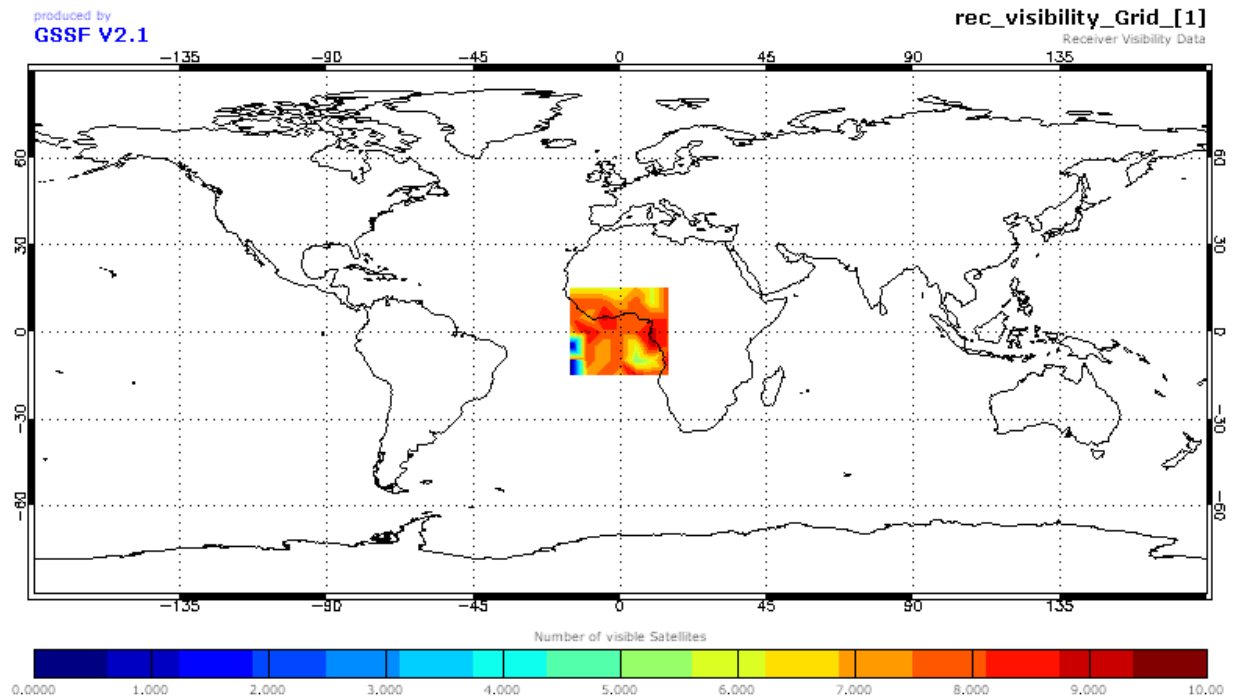
παρακάτω διάγραμμα με τις τιμές DOP για τα δυο συστήματα. Από το σχήμα 5.28 διαπιστώνεται πως η δορυφορική γεωμετρία είναι πολύ καλύτερη για το Galileo ($\approx 2.5 - 2.9$) από ό,τι για το GPS ($\approx 2.1 - 5.3$).



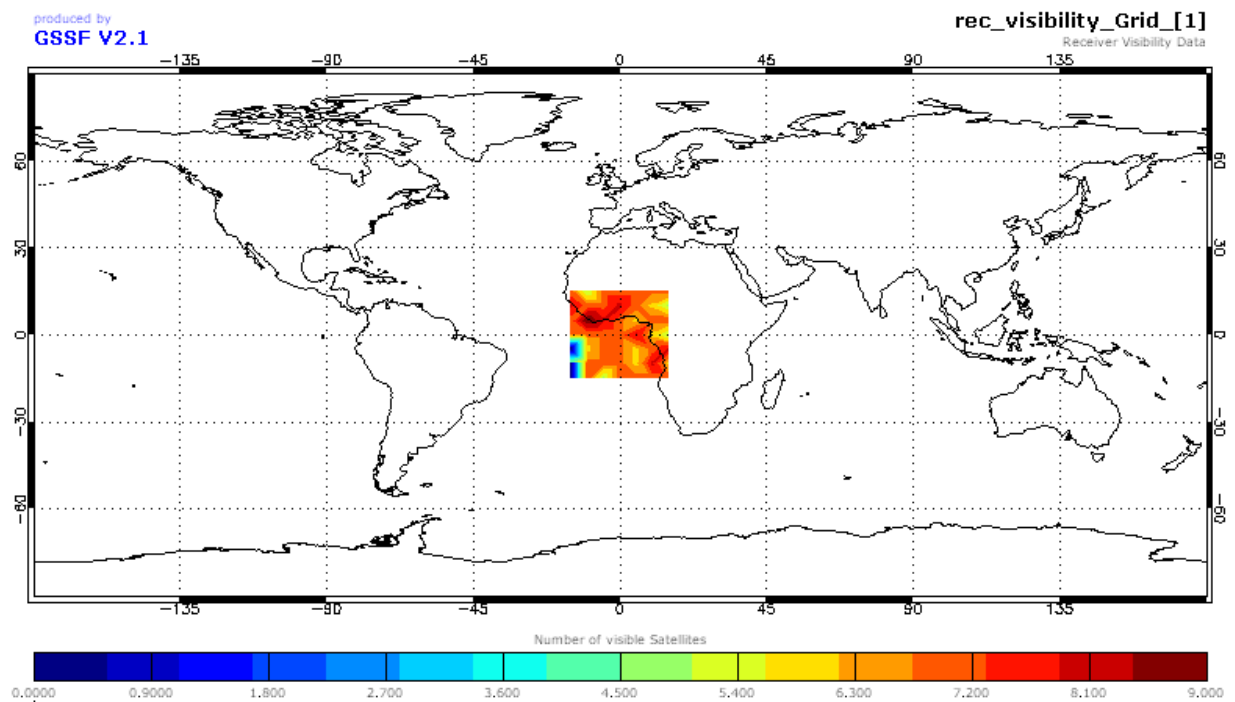
Σχήμα 5.28 Μέτρο ακρίβειας γεωμετρίας για νότια γεωγραφικά πλάτη

Συνεπώς, πράγματι το σύστημα Galileo λόγω του γεωμετρικού σχηματισμού του (συγκεκριμένης κλίση 56° ως προς τον ισημερινό) παρουσιάζει σημαντικό πλεονέκτημα στην κάλυψη των περιοχών σε μεγάλα γεωγραφικά πλάτη μέχρι και πέρα από τις 75° βόρεια απ' ότι στον ισημερινό. Αντιθέτως, για περιοχές κοντά στο ισημερινό διαπιστώθηκε ύστερα από τρίτη δοκιμή πως το GPS είναι επικρατέστερο. Για περιοχή εύρους 15° βόρεια, νότια, ανατολικά και δυτικά του ισημερινού τα αποτελέσματα είχαν ως εξής:

Όπως διακρίνεται στην εικόνα 5.29 από τη χρωματική παλέτα, το σύστημα GPS έχει κατά μεγαλύτερο ποσοστό γύρω στους 6 - 8 δορυφόρους διαθέσιμους για περιοχές κοντά στον ισημερινό. Ενώ το σύστημα Galileo επαληθεύει την αδυναμία του στις περιοχές του ισημερινού με μικρότερη διαθεσιμότητα της τάξης των 5-7 δορυφόρων (βλ. Εικ. 530).



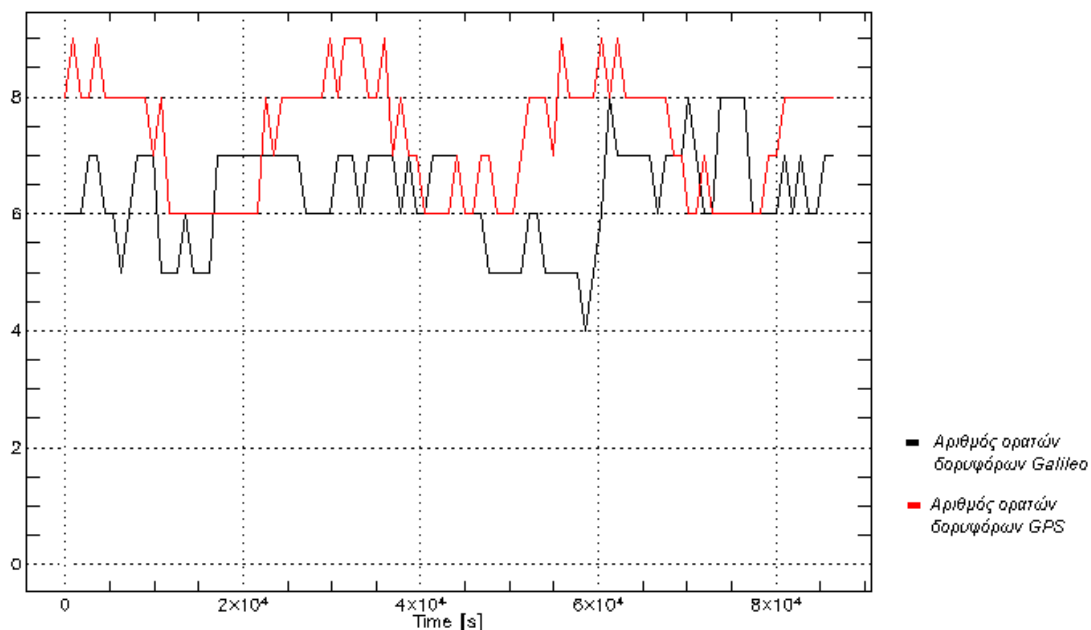
Εικόνα 5.29 Κάλυψη περιοχών στον ισημερινό από το GPS



Εικόνα 5.30 Κάλυψη περιοχών στον ισημερινό από το Galileo

Πιο καθαρά διακρίνεται στο συγκριτικό διάγραμμα 5.31 η διαθεσιμότητα των δορυφόρων για τα δύο συστήματα. Το GPS (κόκκινη γραμμή) εμφανίζει καλύτερη διαθεσιμότητα από το Galileo για τις περιοχές του ισημερινού.

produced by
GSSF V2.1



Σχήμα 5.31 Διαθεσιμότητα δορυφορικών συστημάτων στην περιοχή του ισημερινού

5.4 Σενάριο 3^ο: Στατικός δέκτης – Δορυφορικός σχηματισμός

Στη συνέχεια και για στατικό δέκτη δημιουργήθηκε ακόμη ένα σενάριο με σκοπό να εξετασθεί το αν και κατά πόσο επηρεάζει ο πλήρης ή όχι δορυφορικός σχηματισμός του συστήματος Galileo την ορατότητα ως προς τους δορυφόρους και την γεωμετρία τους αντίστοιχα (βλ. Πίν. 5.32).

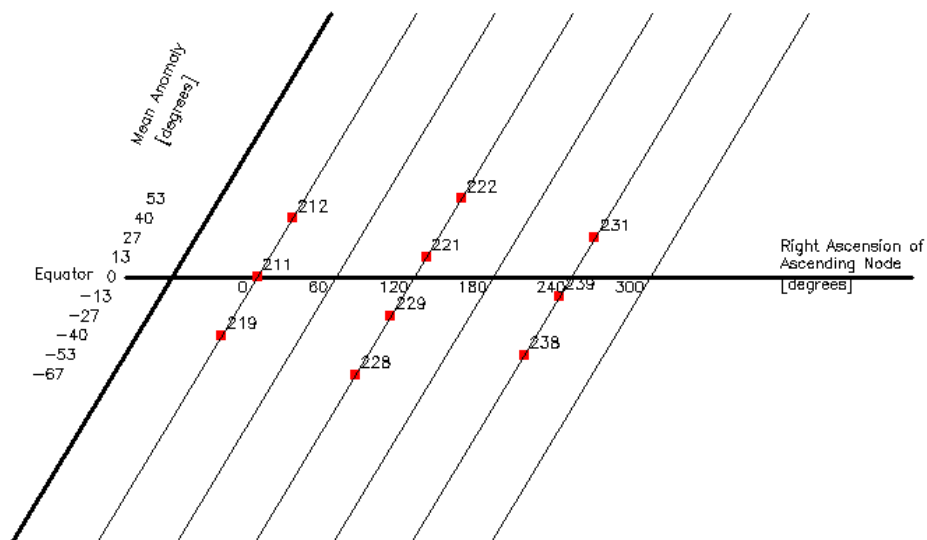
A/A Σεναρίου	Τύπος χρήστη	Δορυφορικό σύστημα	Χαρακτηριστικά που εξετάζονται	Ως προς τις παραμέτρους
3	Στατικός	Galileo	Ορατότητα	Δορυφ. Σχηματισμός (Πλήρης/Ελλιπής)

Πίνακας 5.32 Σενάριο 3^ο

Για τις ίδιες συνθήκες προσομοίωσης πάντα και για διάρκεια ενός 24ώρου εκτελέστηκε η προσομοίωση με μόνη διαφορά τον αριθμό των δορυφόρων που απαρτίζουν το Δορυφορικό Τμήμα. Στη μια περίπτωση επιλέχθηκε πλήρης σχηματισμός με 27 δορυφόρους και στη δεύτερη ελλιπής με 10 δορυφόρους. Η επιλογή των δορυφόρων του ελλιπούς σχηματισμού έγινε με γνώμονα την ισορροπία της δορυφορικής γεωμετρίας. Επιλέχθηκαν, δηλαδή, δορυφόροι και από τα τρία τροχιακά επίπεδα με αποστάσεις ισοκαταμεμημένες μεταξύ τους, έτσι ώστε να είναι κατά το δυνατό ορατοί οι δορυφόροι (βλ. Εικ. 5.33).

produced by
GSSF V2.1

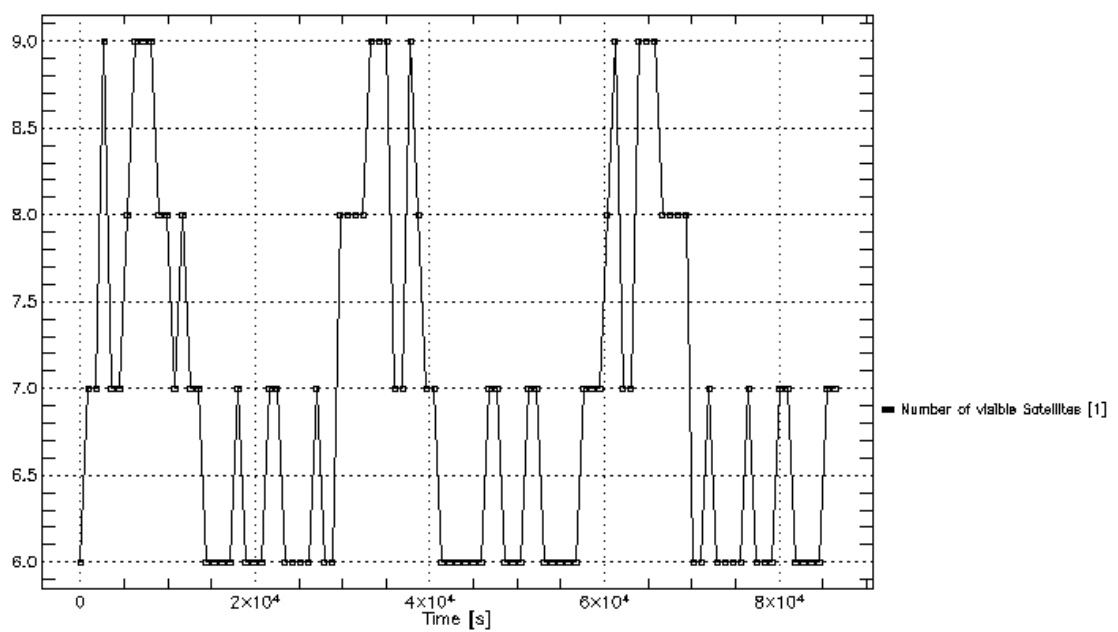
Constellation_



Εικόνα 5.33 Η διάταξη των 10 δορυφόρων του ελλειπικού σχηματισμού

Τα αποτελέσματα ήταν τα εξής:

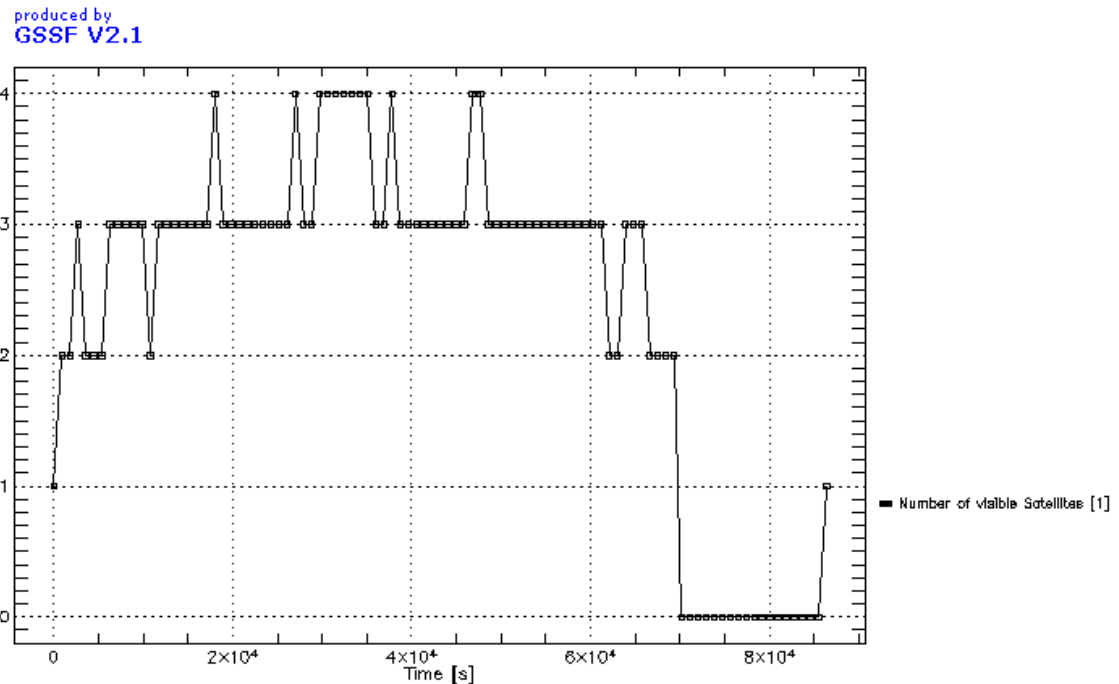
produced by
GSSF V2.1



Σχήμα 5.34 Πλήρους δορυφορικός σχηματισμός-27 δορυφόροι

Από το σχήμα 5.34 φαίνεται ότι στην περίπτωση του πλήρους δορυφορικού σχηματισμού η ορατότητα προς τους δορυφόρους είναι πολύ καλή με ελάχιστο και μέγιστο αριθμό 6 και 9

ορατούς δορυφόρους αντίστοιχα. Όπως είναι γνωστό, για τον εντοπισμό της θέσης ενός δέκτη, στατικού ή κινητού, απαιτούνται τουλάχιστον τέσσερις ταυτόχρονες παρατηρήσεις αποστάσεων προς τέσσερις δορυφόρους αντιστοίχως. Κατά συνέπεια, η ορατότητα που επιτυγχάνεται για τον συγκεκριμένο δέκτη του σεναρίου είναι πολύ ικανοποιητική.



Σχήμα 5.35 Ελλειπής δορυφορικός σχηματισμός-10 δορυφόροι

Από το σχήμα 5.35 παρατηρείται ότι στην περίπτωση του ελλειπούς δορυφορικού σχηματισμού ο αριθμός των ορατών δορυφόρων «πέφτει» κατακόρυφα σε επίπεδα κάτω του απαιτούμενου ελάχιστου. Ούτε ένας δορυφόρος δεν είναι ορατός για συγκεκριμένες εποχές της προσομοίωσης. Αυτό οφείλεται στην τροχιά των δορυφόρων.

5.5 Σενάριο 4^ο: Κινηματικός δέκτης

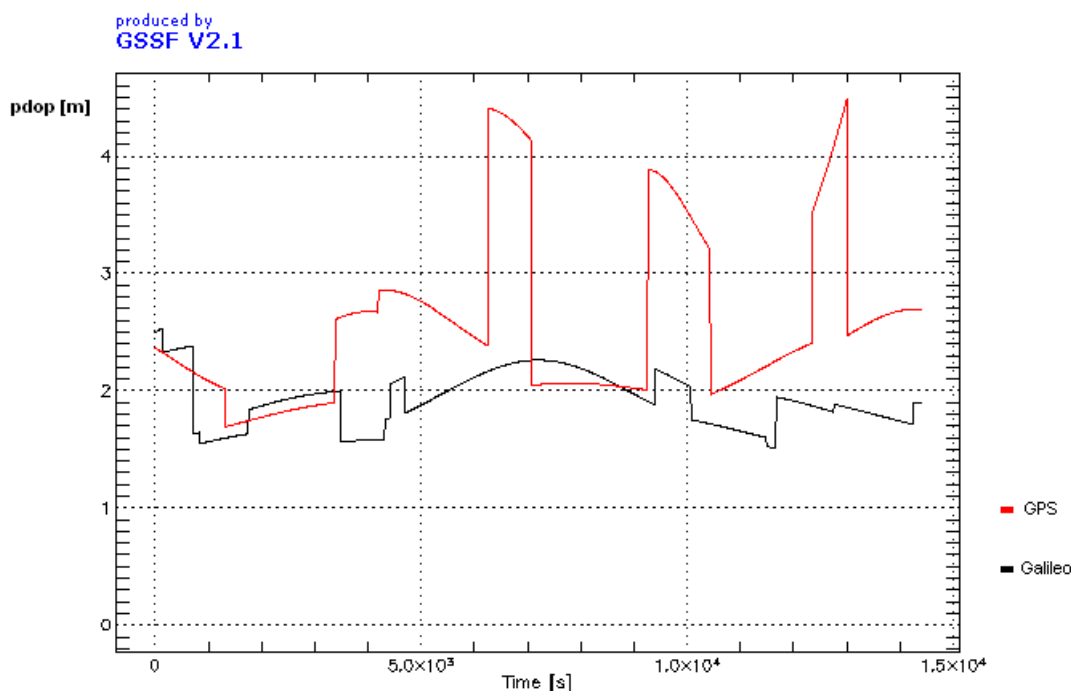
Κατ' αντιστοιχία με το σενάριο 2 για τον στατικό δέκτη εξετάστηκε σε αυτή την περίπτωση η ορατότητα και το μέτρο ακρίβειας DOP για κινηματικό δέκτη (mobile user) ως προς τα δορυφορικά συστήματα GPS και Galileo. Σκοπός του παρόντος σεναρίου είναι η σύγκριση των δυο συστημάτων ως προς τη λειτουργικότητά τους για περιπτώσεις κινηματικών δεκτών (βλ. Πίν 5.36).

A/A Σεναρίου	Τύπος χρήστη	Δορυφορικό σύστημα	Χαρακτηριστικά που εξετάζονται	Ως προς τις παραμέτρους
4	Κινηματικός	Galileo	Λειτουργικότητα 2 συστημάτων	Ορατότητα DOP
		GPS		

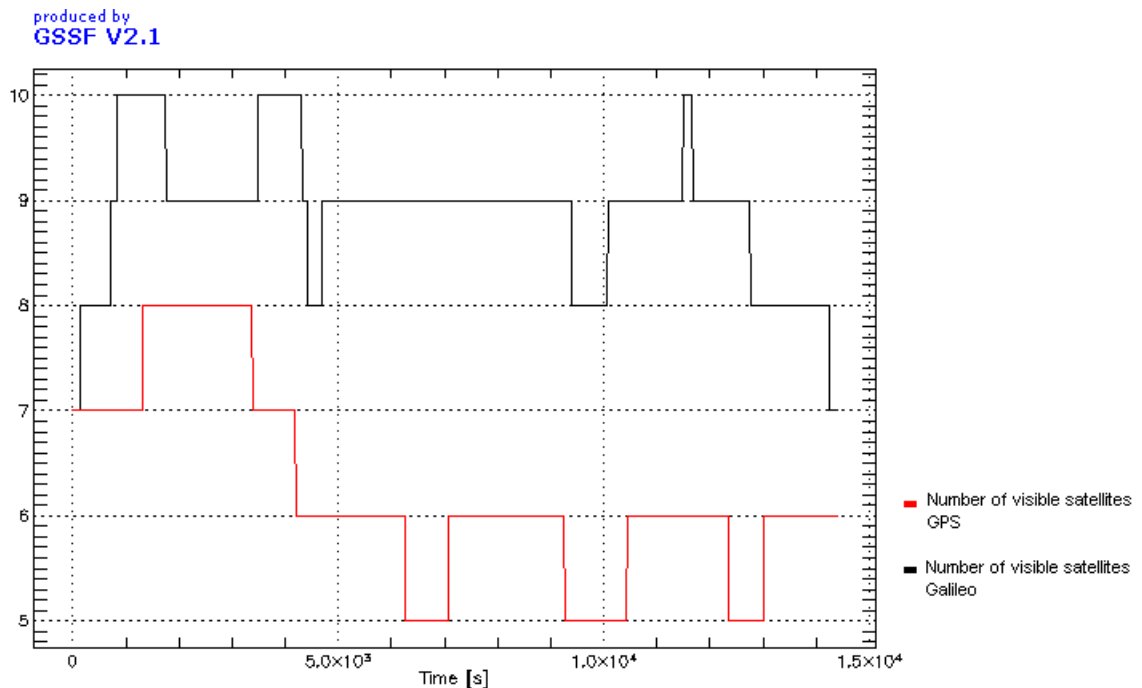
Πίνακας 5.36 Σενάριο 4°

Για τον λόγο αυτό ορίστηκαν δυο ξεχωριστές προσομοιώσεις με ίδιες όμως παραμέτρους. Ίδιος χρόνος έναρξης και λήξης της προσομοίωσης, ίδια διάρκεια, και ίδιο χρονικό βήμα. Ο απαιτούμενος τύπος ανάλυσης ήταν επίσης ο ίδιος, ώστε να μπορούν να γίνουν οι απαραίτητες συγκρίσεις. Επιλέχθηκε ανάλυση ορατότητας και DOP. Για διάρκεια προσομοίωσης 4 ωρών και για χρονικό βήμα 15 sec, οι εποχές παρατήρησης ήταν 960. Το χρονικό βήμα της προσομοίωσης ορίστηκε να είναι ίσο με αυτό του αρχείου με τα αρχικά δεδομένα θέσης, το οποίο περιέχει τιμές γεωγραφικών συντεταγμένων φ, λ και h για κάθε 15 sec. Οι τιμές αυτές είναι πραγματικές από κινηματικό αρχείο μετρήσεων GPS στην περιοχή της Αθήνας. Για τις 960 εποχές, η προσομοίωση έδωσε τον αριθμό ορατών δορυφόρων και το αντίστοιχο μέτρο ακρίβειας DOP. Παρακάτω παρουσιάζονται γραφικά τα αποτελέσματα (βλ. Σχ. 5.37 & 5.38).

Οι γραφικές παραστάσεις εδώ επιλέχθηκε να δοθούν στην μορφή των γραφημάτων, που δίνει το πρόγραμμα GSSF, καθώς οι τιμές διακρίνονται σε αυτή τη περίπτωση καθαρότερα ενώ είναι σκόπιμο να παρουσιαστούν και οι γραφικές δυνατότητες του προγράμματος.



Σχήμα 5.37 Μέτρο ακρίβειας PDOP για τα δυο συστήματα



Σχήμα 5.38 Διαθεσιμότητα δορυφόρων για τα δυο συστήματα

Από τα παραπάνω διαγράμματα διαπιστώνεται πως το σύστημα Galileo επιτυγχάνει καλύτερη ορατότητα προς τους δορυφόρους με 7 έως 10 ορατούς σε αντίθεση των 5 έως 8 του GPS, και αντιστοίχως μικρότερες τιμές PDOP που κυμαίνονται από 1.5 έως 2.5 σε αντίθεση με το GPS εμφανίζει χειρότερη γεωμετρία μεταξύ των τιμών 1.7 και 4.5.

Συνεπώς, το ευρωπαϊκό σύστημα Galileo υπερέχει τόσο για στατικό όσο και για κινηματικό εντοπισμό θέσης έναντι του αμερικάνικου GPS. Για τον συνδυασμό των δυο συστημάτων δεν δημιουργήθηκε αντίστοιχο σενάριο, καθώς είναι αυταπόδεικτο πως, και σε αυτή την περίπτωση, του κινηματικού δέκτη, τα αποτελέσματα θα είναι ικανοποιητικά.

5.6 Σενάρια για διαφορετικά UERE (User-Equivalent Range Error)

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται σενάρια που δομήθηκαν στο περιβάλλον του GSSF με σκοπό να διερευνήσουν τη λειτουργικότητα των συστημάτων Galileo και GPS για τα διαφορετικά περιβάλλοντα δεκτών, δηλαδή, για δέκτες μονής ή διπλής συχνότητας, για χρήστες στατικούς, κινηματικούς ή αεροπλοΐας. Αυτά τα περιβάλλοντα μοντελοποιούνται και εκφράζονται μέσω των τιμών UERE.

Το User Equivalent Range Error Budget αφορά έναν προϋπολογισμό σφαλμάτων, που υπολογίζει το σύνολο των σφαλμάτων τα οποία σχετίζονται με τη διάδοση του σήματος (ατμοσφαιρικά σφάλματα, σφάλμα πολυανάκλασης), με τους δορυφόρους (σφάλμα

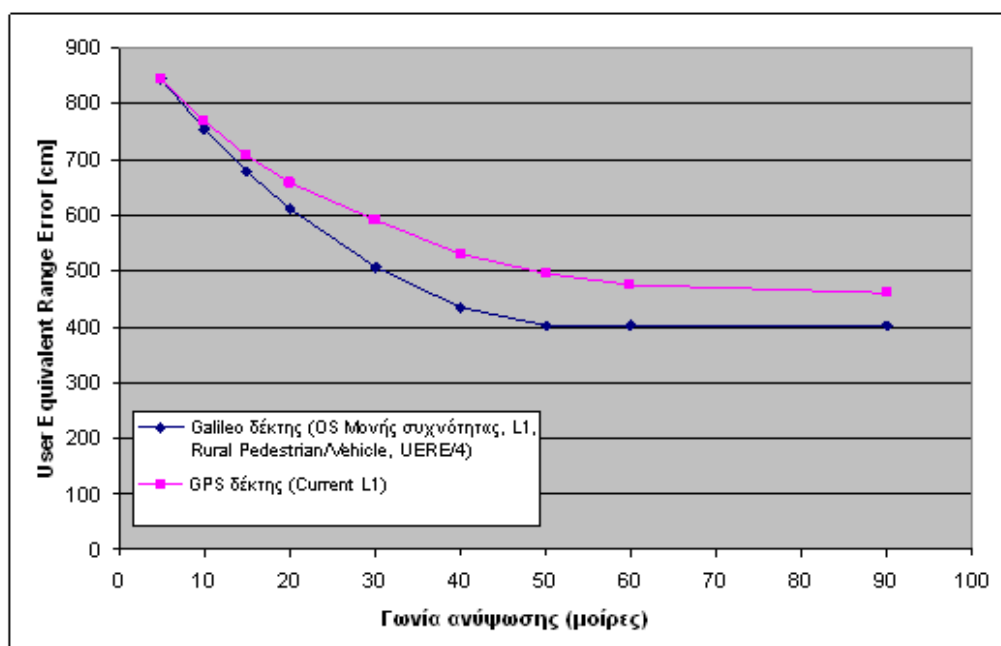
δορυφορικής εφημερίδας, σφάλμα χρονομέτρου δορυφόρου) και με τους δέκτες (θόρυβος, σφάλμα χρονομέτρου δέκτη). Το σύνολο αυτό προκύπτει από κάθε ανεξάρτητη πηγή σφαλμάτων και μετατρέπεται σε ένα και μοναδικό σφάλμα απόστασης, το οποίο είναι πρακτικά το UERE. Το περιβάλλον προσομοίωσης GSSF παρέχει πίνακες με προκαθορισμένες τιμές UERE τόσο για το σύστημα Galileo όσο και για το GPS. Για το πρώτο, τα UERE που είναι διαθέσιμα ποικίλουν ανάλογα με τις υπηρεσίες Galileo (OS και SOL), τον τύπο των συχνοτήτων (Μονής ή Διπλής συχνότητας) και το περιβάλλον – είδος χρήστη (βλ. Πίν. 5.41). Αντίθετα, για το GPS οι τιμές UERE που δίνονται από το πρόγραμμα αφορούν μόνο στον τύπο των συχνοτήτων και περιορίζονται στις εξής:

		ELEVATION (°)								
UERE		5	10	15	20	30	40	50	60	90
GPS current L1	cm	844	770	709	659	581	529	496	476	460
GPS II L1/L5	cm	227	186	171	164	159	157	156	156	156
GPS III L1/L5	cm	190	136	115	104	96	93	92	91	91

Πίνακας 5.39 GPS UERE Budgets

(Πηγή: <http://www.gssf.info/Documents/GSSF%20V2.1.11%20SVS%20Operations%20Manual.zip>)

Παρακάτω δίνεται ενδεικτικά ένα μέτρο σύγκρισης μεταξύ των δυο συστημάτων GPS και Galileo, που προκύπτει από την αντιστοιχία των UERE για δέκτες μονής συχνότητας L1.



Σχήμα 5.40 Προκαθορισμένα UERE για τα συστήματα GPS και Galileo

(Πηγή: [www.gssf.info/Documents/GSSFP2.OM.002 - Algorithms and Models - Issue5.zip](http://www.gssf.info/Documents/GSSFP2.OM.002%20Algorithms%20and%20Models%20Issue5.zip))

Όπως φαίνεται στο σχήμα 5.40, το Galileo για παρατηρήσεις ίδιας συχνότητας (L1) δίνει μικρότερες τιμές UERE σε σχέση με το GPS. Άρα και καλύτερη ακρίβεια τον εντοπισμό θέσης. Η απόκλιση στις τιμές των σφαλμάτων για τα δυο συστήματα ξεκινά από λίγα εκατοστά και φτάνει σχεδόν μέχρι το 1 m (για elevation 50°). Το σφάλμα απόστασης που εκφράζεται με την τιμή UERE κυμαίνεται μεταξύ των 4 m έως 8,5 m μεταβαλλόμενο αντιστρόφως ανάλογα από τη γωνία ανύψωσης. Καθώς αυξάνεται η γωνία ανύψωσης μειώνεται το σφάλμα, γεγονός αναμενόμενο αφού π.χ. για γωνία 90 μοιρών γίνονται μετρήσεις μόνο ως προς δορυφόρους που βρίσκονται κάθετα πάνω από τον ορίζοντα και ως εκ τούτου το σήμα ταξιδεύει από την πιο σύντομη διαδρομή με τις μικρότερες επιδράσεις.

Service/Environment - Mapping:				Environment			
Service	Type	Signal	Budget Type	Rural Pedestrian User	Rural Vehicle User	Fixed User	Aeronautical User (Final Approach)
OS	Single Frequency w/o Integrity	E5a	Acc	UERE/1	UERE/1	N/A	N/A
		E5b	Acc	UERE/2	UERE/2	N/A	N/A
		E6	Acc	UERE/3	UERE/3	N/A	N/A
		L1	Acc	UERE/4	UERE/4	N/A	N/A
		E5(Alt-Boc)	Acc	UERE/26	UERE/26	N/A	N/A
	Dual Frequency w/o Integrity	E5a/L1	Acc	UERE/7	UERE/8	UERE/29	N/A
		E5b/L1	Acc	UERE/5	UERE/6	UERE/17	N/A
		E5(ALT-Boc)/L1	Acc	UERE/27	UERE/28	UERE/39	N/A
	Dual Frequency with Integrity	E5a/L1	Acc	N/A	UERE/12	N/A	UERE/11
			Int	N/A	UERE/16	N/A	UERE/15
		E5b/L1	Acc	N/A	UERE/10	N/A	UERE/9
			Int	N/A	UERE/14	N/A	UERE/13
		E5(Alt-Boc)/L1	Acc	N/A	N/A	N/A	UERE/37
			Int	N/A	N/A	N/A	UERE/36
		E5b	Acc	N/A	UERE/19	N/A	UERE/18
			Int	N/A	UERE/23	N/A	UERE/22
SOL	Single Frequency with Integrity	L1	Acc	N/A	UERE/21	N/A	UERE/20
			Int	N/A	UERE/25	N/A	UERE/24

Πίνακας 5.41 UERE Budgets διαθέσιμα στοGSSF

(Πηγή: <http://www.gssf.info/Documents/GSSF%20V2.1.11%20SVS%20Operations%20Manual.zip>)

Οι τιμές UERE στον παραπάνω πίνακα αφορούν την Ακρίβεια (Acc) και την Ακεραιότητα (Int) του συστήματος. Η ανάλυση ακρίβειας του GSSF υπολογίζει τον ποιοτικό

δείκτη NSP (Navigation System Precision), που προκύπτει από το UERE και εκφράζει τη διασπορά της υπολογισμένης θέσης του χρήστη-δέκτη από τη μέση θέση. Ενώ, η ανάλυση ακεραιότητας υπολογίζει τον ποιοτικό δείκτη PHMI (Propability of Hazardous Misleading Information) ή αλλιώς Integrity Risk, ο οποίος εκφράζει την εμπιστοσύνη που μπορεί να έχει ο χρήστης στις υπηρεσίες του δορυφορικού συστήματος σε ό,τι αφορά την ακεραιότητά του.

Οι τιμές UERE του πίνακα 5.41, όπως διαμορφώνονται από τη συνεισφορά των σφαλμάτων από διαφορετικές πηγές, δίνονται αναλυτικά στο Παράρτημα Α.

Στη συνέχεια παρατίθενται ένα προς ένα τα σενάρια που δομήθηκαν βάσει του πίνακα 5.41 και των διαφορετικών τύπων δέκτη:

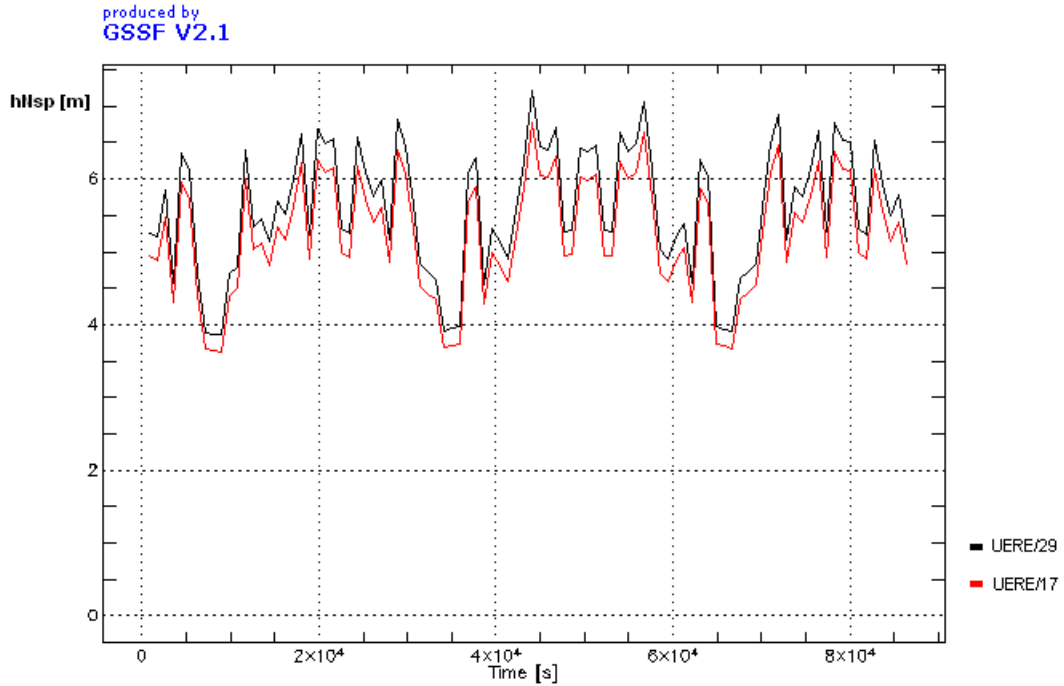
❖ Galileo Στατικός δέκτης ➔ Σενάριο 5^ο

Το πρόγραμμα GSSF για τον συγκεκριμένο δέκτη παρέχει μόνο την υπηρεσία OS (Open Service) του Galileo και για παρατηρήσεις διπλής συχνότητας τα UERE /29, UERE /17 και UERE /39 (βλ. Παράρτημα Α). Στο συγκεκριμένο σενάριο χρησιμοποιήθηκαν τα δυο πρώτα UERE για τον συνδυασμό των E5a/L1 και E5b/L1 αντίστοιχα, στοχεύοντας στο να ελεγχθεί ποια είναι η καλύτερη συχνότητα (βλ. Πίν. 5.42).

A/A Σεναρίου	Δορυφ. σύστημα	Τύπος χρήστη	Χαρακτηριστικά που εξετάζονται	Ως προς τις παραμέτρους	Δέκτης	Συχνότητες	Τύπος UERE
5	Galileo	Στατικός	Ακρίβεια	NSP	Δυο συχνότητων	E5a/L1	29
						E5b/L1	17

Πίνακας 5.42 Στατικός δέκτης

Για ίδιες συνθήκες και παραμέτρους προσομοίωσης επιλέχθηκε ανάλυση τύπου NSP, ως μέτρο σύγκρισης και αξιολόγησης των δυο επιμέρους σεναρίων. Κατόπιν εκτέλεσης του σεναρίου στο περιβάλλον προσομοίωσης, τα αποτελέσματα ήταν τα εξής:



Σχήμα 5.43 Μέτρο NSP για στατικό δέκτη

Όπως διαπιστώνεται από το παραπάνω διάγραμμα (βλ. Σχ.5.43), οι τιμές του οριζοντιογραφικού NSP (hNSP) παρουσιάζουν ίδια χρονοσειρά αλλά μεταξύ τους απόκλιση, της τάξης των 40 cm περίπου, για τα δυο UERE. Για τις συχνότητες E5b/L1 (UERE/17) οι τιμές είναι κατά τι καλύτερες απ' ότι εκείνες για τις συχνότητες E5a/L1 (UERE/29). Συνεπώς ο συνδυασμός E5b/L1 είναι ο καταλληλότερος για παρατηρήσεις με στατικό δέκτη. Γενικότερα, όμως, οι τιμές του NSP κυμαίνονται από 3,5 έως 7,5 m περίπου, ακρίβεια η οποία κρίνεται ικανοποιητική για απόλυτο εντοπισμό θέσης.

Το γιατί οι τιμές του NSP ακολουθούν την ίδια χρονοσειρά και για τα δυο UERE εξηγείται από τον τρόπο υπολογισμού του :

$$hNSP = \sqrt{\max\left(\text{eigenvalues}\left(\begin{pmatrix} C_{1,1} & C_{1,2} \\ C_{2,1} & C_{2,2} \end{pmatrix}\right)\right)}$$

όπου $C = (A^T W A)^{-1}$

A ο πίνακας παρατηρήσεων και

$$\text{W ο πίνακας βαρών: } W = \begin{pmatrix} w_1 & & 0 \\ & \ddots & \\ 0 & & w_n \end{pmatrix}$$

Τα διαγώνια στοιχεία του πίνακα βαρών υπολογίζονται ως εξής:

$$w_i = \sigma_i^{-2} = \left(\sigma_{ODTS}^2 + \sigma_{iono}^2 + \sigma_{tropo}^2 + \sigma_{multipath}^2 + \sigma_{Pr noise}^2 \right)_i^{-1}$$

Κάθε συνεισφορά σφάλματος στην παραπάνω εξίσωση προέρχεται από το μοντέλο UERE.

Άρα, λοιπόν, στο σενάριο στατικού δέκτη που εξετάζεται η θέση παραμένει ίδια (ίδιος πίνακας A) αλλάζοντας μόνο το UERE, δηλαδή τα βάρη του πίνακα W, ο οποίος υπεισέρχεται στον υπολογισμό του NSP. Συνεπώς οι καμπύλες του NSP παρουσιάζουν ίδια χρονοσειρά όχι όμως και ίδιες τιμές.

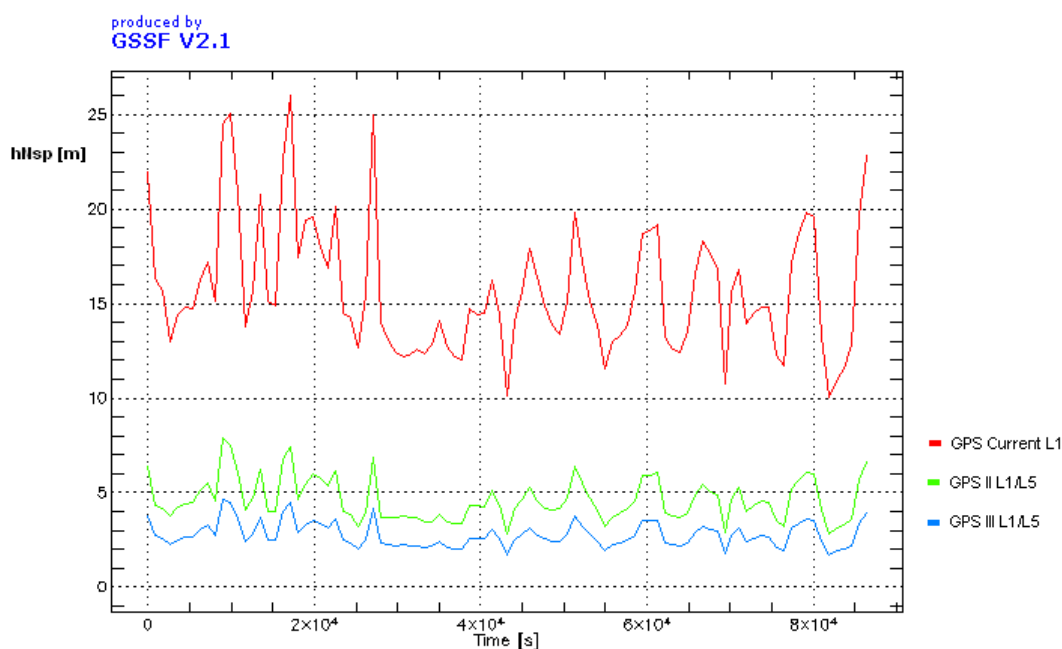
❖ GPS στατικός δέκτης ➔ Σενάριο 6^ο

Για το σύστημα GPS το πρόγραμμα GSSF παρέχει, όπως προαναφέρθηκε, μόνο τρία διαφορετικά UERE. Βάσει αυτών εξετάστηκε το 6^ο σενάριο, όπως παρουσιάζεται στον πίνακα 5.44.

A/A Σεναρίου	Δορυφ. σύστημα	Τύπος χρήστη	Χαρακτηριστικά που εξετάζονται	Ως προς τις παραμέτρους	Δέκτης	Συχνότητες	Τύπος UERE
6	GPS	Στατικός	Ακρίβεια	NSP	Μίας συχνότητας	L1	GPS Current L1
					Δυο συχνοτήτων	L1/L5	GPS II L1/L5
						L1/L5	GPS III L1/L5

Πίνακας 5.44 Σενάριο 6^ο

Για κάθε ένα από τα παραπάνω UERE ορίστηκε μια προσομοίωση η οποία εκτελέστηκε για ίδιες συνθήκες και παραμέτρους. Τα αποτελέσματα ήταν τα ακόλουθα:



Σχήμα 5.45 Μέτρο NSP για δέκτη GPS

Από το σχήμα 5.45 συμπεραίνει κανείς με την πρώτη ματιά πως οι τιμές του NSP διαφοροποιούνται μεταξύ τους για τους διαφορετικούς τύπους συχνότητας. Όπως είναι λογικό, για δέκτη μονής συχνότητας L1 η ακρίβεια στις παρατηρήσεις είναι μικρή και μάλιστα της τάξης των 10 – 16 m. Αντιθέτως, για δέκτη διπλής συχνότητας L1/L5, η ακρίβεια βελτιώνεται πολύ και, συγκεκριμένα, για τον τύπο GPS II L1/L5 βρίσκεται σε επίπεδα τάξης μεγέθους 2,8 – 7,9 m. Ενώ για τον τύπο GPS III L1/L5 είναι ακόμη καλύτερη, μεταξύ 1,7 και 4,6m. Το γεγονός πως το GPS III δίνει καλύτερες ακρίβειες είναι απόλυτα λογικό καθώς αυτό αποτελεί εξέλιξη της σειράς δορυφόρων GPS II περιλαμβάνοντας αντίστοιχους νέας γενιάς.

Βάσει των όσων αναφέρθηκαν στα σενάρια 5 και 6 για στατικό εντοπισμό θέσης με Galileo και GPS και με σύγκριση των τιμών του οριζοντιογραφικού NSP για τα δυο συστήματα και για δέκτες διπλής συχνότητας τα συμπεράσματα είναι τα εξής: Για το Galileo οι τιμές NSP και για τα δυο UERE κυμαίνονται από 3,5 έως 7,5 m περίπου, με μια μικρή απόκλιση μεταξύ τους. Για το GPS II L1/L5 βρίσκονται σε επίπεδα τάξης μεγέθους 2,8 – 7,9 m. Ενώ για τον τύπο GPS III L1/L5 βελτιώνονται κατά πολύ με τιμές μεταξύ 1,7 και 4,6m.

Συνεπώς, ενώ για δέκτη μονής συχνότητας διαπιστώθηκε πως με το σύστημα Galileo επιτυγχάνεται καλύτερη ακρίβεια στον εντοπισμό θέσης, παρατηρείται πως για δέκτη διπλής συχνότητας το προηγμένο GPS III δίνει καλύτερα αποτελέσματα από ό,τι το Galileo. Αυτό οφείλεται πολύ απλά στο γεγονός ότι η βελτιωμένη γενιά δορυφόρων του GPS εκπέμπει σε

διπλές συχνότητες που μπορούν να επιλύουν σε πραγματικό χρόνο (on-the-fly) ασάφειες φάσης με πολύ μεγάλη ακρίβεια. Ενώ για το Galileo οι συχνότητές του δεν επιλύουν σε συγκρίσιμο χρονικό διάστημα τις αέριες ασάφειες φάσης on-the-fly, όπως το GPS.

❖ **Galileo κινηματικός δέκτης σε μη αστική περιοχή ➔ Σενάρια 7°, 8°, 9° και 10°**

Σε αυτή την περίπτωση το πρόγραμμα δίνει προϋπολογισμένα UERE για μονή και διπλή συχνότητα τόσο για υπολογισμούς ανάλυσης Ακρίβειας (Accuracy) όσο και Ακεραιότητας (Integrity). Βάσει αυτών στόχος των σεναρίων είναι ο έλεγχος των επιμέρους συχνοτήτων και των ακριβειών που επιτυγχάνονται με αυτές. Τα σενάρια συνοψίζονται στον πίνακα 5.46 και είναι τα εξής τέσσερα:

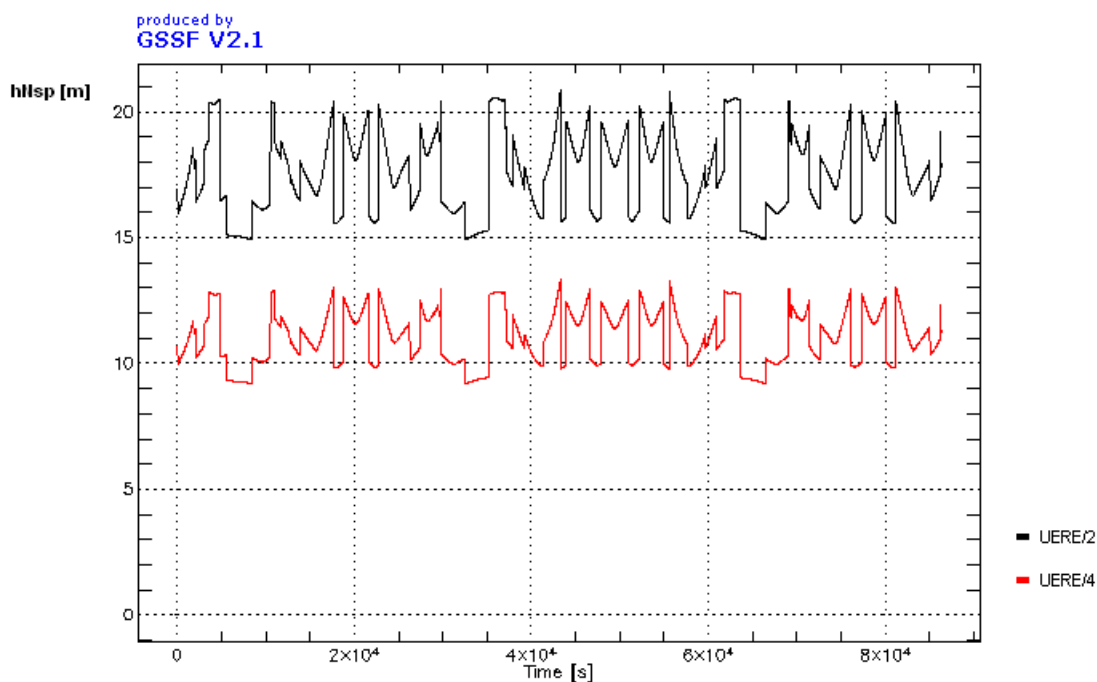
A/A Σεναρίου	Δορυφ. σύστημα	Τύπος χρήστη	Χαρακτηριστικά που εξετάζονται	Ως προς τις παραμέτρους	Δέκτης	Συχνότητες	Τύπος UERE
7	Galileo	Κινηματικός	Ακρίβεια	NSP	Μίας συχνότητας	E5b	2
						L1	4
8			Ακεραιότητα	PHMI_HAL	Μίας συχνότητας	E5b	23
						L1	25
9			Ακρίβεια	NSP	Δυο συχνοτήτων	E5a/L1	8
						E5b/L1	6
10			Ακεραιότητα	PHMI_HAL	Δυο συχνοτήτων	E5a/L1	16
						E5b/L1	14

Πίνακας 5.46 Κινηματικός δέκτης

▪ **Σενάριο 7°:** Ανάλυση Ακρίβειας για μονή συχνότητα (υπηρεσία OS)

Δίνονται τα UERE /2 και UERE /4, τα οποία αντιστοιχούν στις συχνότητες E5b και L1. Για ίδιες συνθήκες και παραμέτρους προσομοίωσης επιλέχθηκε ανάλυση τύπου NSP, ώστε να είναι δυνατή η σύγκριση των δυο συχνοτήτων E5b και L1.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης NSP δίνουν τιμές που παρουσιάζουν ίδια χρονοσειρά (βλ. Σχ. 5.47) και για τις δύο συχνότητες, πλην όμως, για την E5b ο οριζοντιογραφικός δείκτης (hNSP) έχει κατά 6,5 m περίπου μεγαλύτερες τιμές από εκείνες για την L1. Σημαντική, επίσης, παρατήρηση είναι πως στην περίπτωση του UERE/4 η διασπορά (standard deviation) από τη μέση τιμή είναι μικρότερη (1,06 m) σε σχέση με εκείνη για το UERE/2 (1,58 m). Κατά συνέπεια, η συχνότητα L1 δίνει μεγαλύτερη ακρίβεια στον εντοπισμό θέσης απ' ό,τι η E5b. Από τη βιβλιογραφία του Galileo



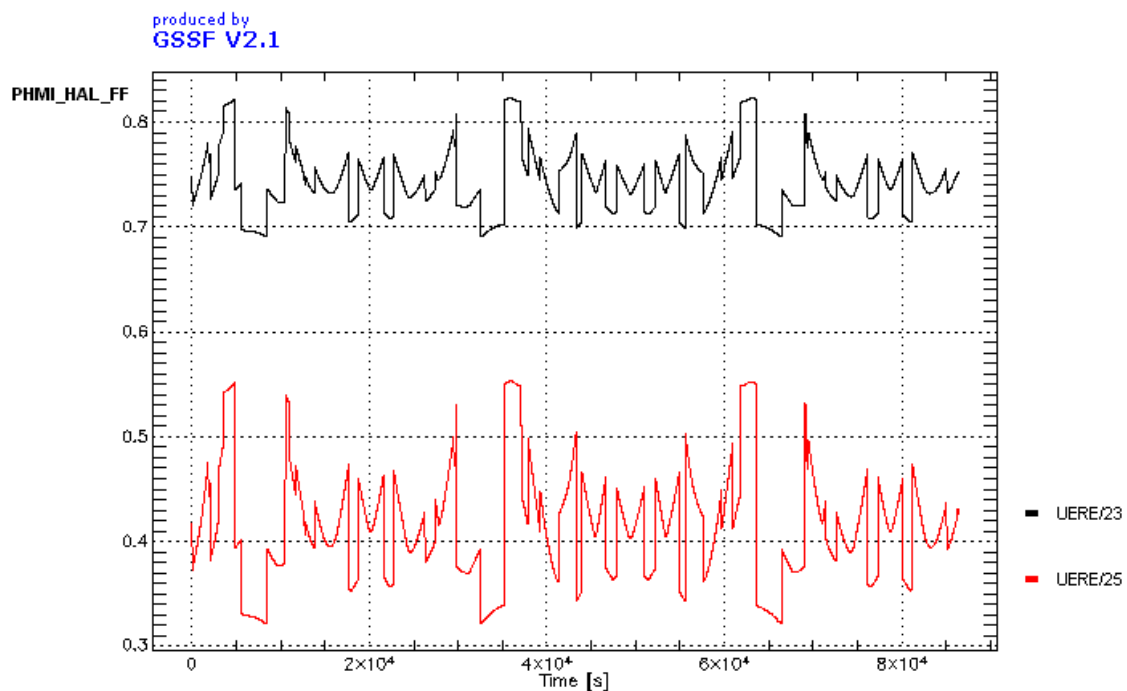
Σχήμα 5.47 Μέτρο NSP για δέκτη μονής συχνότητας

▪ **Σενάριο 8^ο:** Ανάλυση Ακεραιότητας για μονή συχνότητα (υπηρεσία SOL)

Δίνονται τα UERE /23 και UERE /25, τα οποία αντιστοιχούν στις συχνότητες E5b και L1. Για ίδιες συνθήκες και παραμέτρους προσομοίωσης επιλέχθηκε ανάλυση τύπου Integrity, ώστε να είναι δυνατή η σύγκριση των δύο συχνοτήτων E5b και L1. Τα αποτελέσματα που δίνει η συγκεκριμένη ανάλυση είναι στατιστικές τιμές για το PHMI (HAL)_{FF}.

Η παράμετρος HAL (Horizontal Alert Limit) εκφράζει το μέγιστο ανεκτό σφάλμα στην οριζοντιογραφική θέση, για το οποίο είναι ασφαλές να γίνονται παρατηρήσεις προς τους δορυφόρους. Αυτό είναι ορισμένο από το πρόγραμμα στα 12 m. Αν ξεπεραστεί πρέπει να σταλεί προειδοποίηση στους χρήστες. Αυτή η δυνατότητα έχει αξία για τους χρήστες στην πλοήγηση αεροσκαφών, όπου απαιτείται πλήρης αυτονομία του συστήματος (integrity). Το _{FF} δηλώνει πως το σύνολο των δορυφόρων είναι τύπου fault-free, δηλαδή υπάρχει η δυνατότητα αυτονομίας και ακεραιότητας του δορυφορικού συστήματος πλοήγησης.

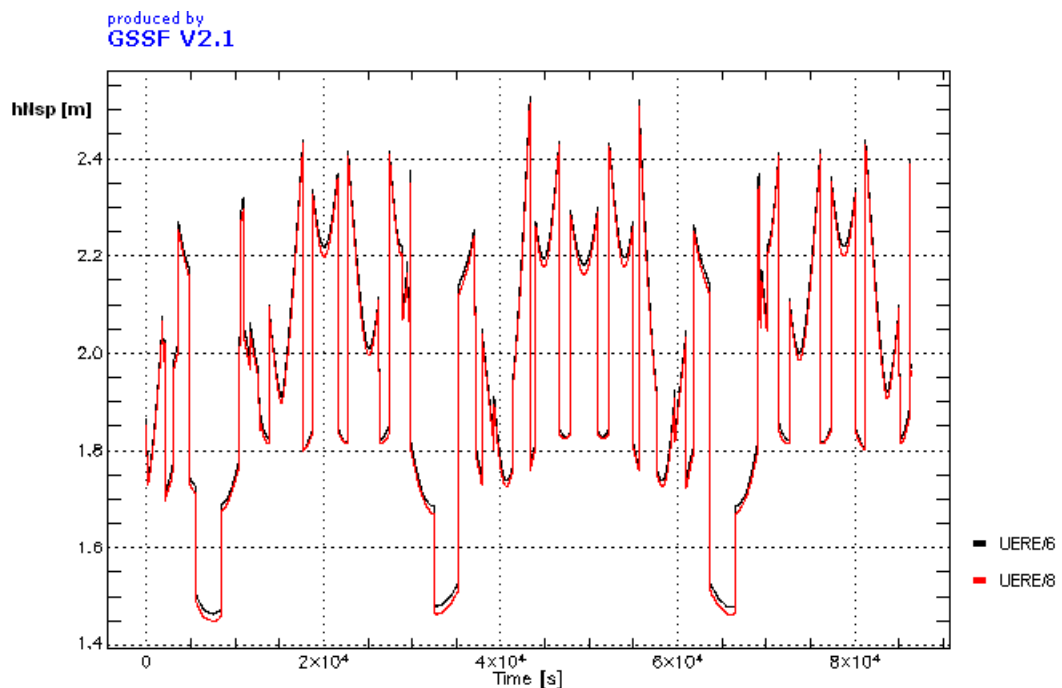
Σύμφωνα με το διάγραμμα 5.48 για τη συχνότητα E5b (UERE/23) η πιθανότητα να διακυβευτεί η ακεραιότητα του συστήματος είναι πολύ μεγαλύτερη από ό,τι για τη συχνότητα L1 (UERE/25), γεγονός που επηρεάζει σαφέστατα και την ακρίβεια στον υπολογισμό της θέσης. Συγκεκριμένα, είναι της τάξης του 69 έως 82%. Ενώ για την L1 περιορίζεται στο 32 έως 55%. Η διαφορά τους είναι σημαντική. Και, όπως και στην περίπτωση της ακρίβειας, η συχνότητα L1 αποδεικνύεται πιο αξιόπιστη για κινηματικό τύπο δέκτη.



Σχήμα 5.48 Μέτρο PHMI για δέκτη μονής συχνότητας

- Σενάριο 9^ο: Ανάλυση Ακρίβειας για διπλή συχνότητα (υπηρεσία OS)

Δίνονται τα UERE /6 και UERE /8, τα οποία αντιστοιχούν στις συχνότητες E5b/ L1 και E5a/L1. Για ίδιες συνθήκες και παραμέτρους προσομοίωσης επιλέχθηκε ανάλυση τύπου NSP, ώστε να είναι δυνατή η σύγκριση των διπλών συχνοτήτων E5b/ L1 και E5a/L1.



Σχήμα 5.49 Μέτρο NSP για δέκτη διπλής συχνότητας

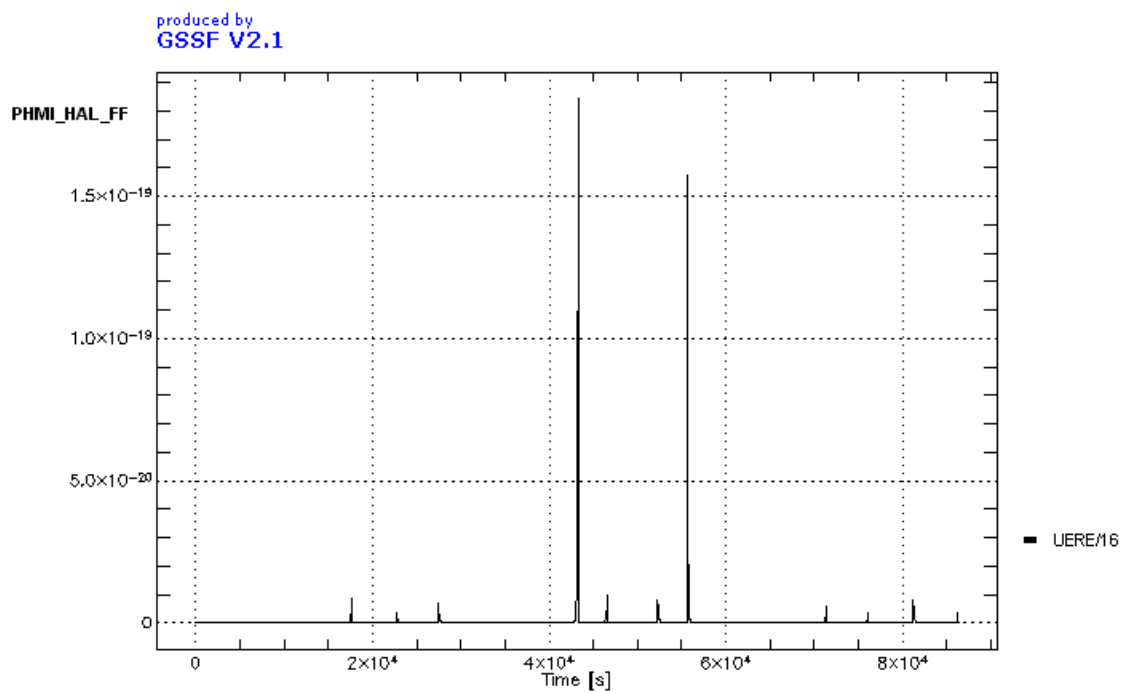
Τα αποτελέσματα της ανάλυσης NSP (βλ. Σχ. 5.49) δίνουν τιμές που παρουσιάζουν ίδια σειρά τιμών και για τους δύο συνδυασμούς συχνοτήτων, και ακόμη περισσότερο ελάχιστη απόκλιση στις τιμές μεταξύ τους. Για το UERE/6 ο οριζοντιογραφικός δείκτης (hNSP) διαφοροποιείται ελάχιστα με τιμές κατά 1 έως 2 cm μεγαλύτερες από εκείνες για το UERE/8. Και για τις δυο περιπτώσεις, όμως, οι τιμές κυμαίνονται από 1,45 έως 2,5 m. Συνεπώς, τόσο για τον κινητό δέκτη διπλής συχνότητας E5b/ L1 όσο και για τον αντίστοιχο συχνότητας E5a/L1, η ακρίβεια στον προσδιορισμό της θέσης είναι πολύ καλή.

Η συνολική εικόνα που δίνουν τα σενάρια 6 και 8 είναι πως ο τύπος δέκτη διπλής συχνότητας παρέχει πολύ καλύτερη ακρίβεια σε σχέση με τον δέκτη μονής συχνότητας. Ακόμη, στην πρώτη περίπτωση οι διαφοροποιήσεις στο μέτρο ακρίβειας NSP για τον συνδυασμό των συχνοτήτων είναι πολύ μικρές – της τάξης των μερικών cm – , ενώ για τις απλές συχνότητες οι τιμές διαφέρουν μερικά μέτρα.

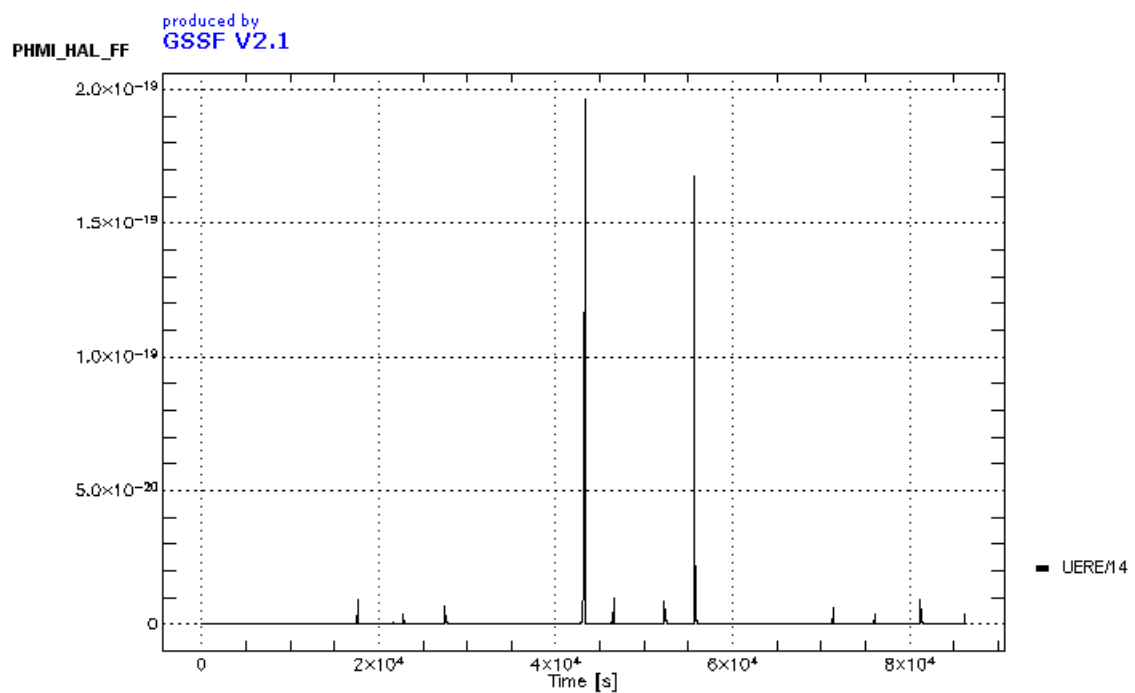
▪ **Σενάριο 10^ο:** Ανάλυση Ακεραιότητας για διπλή συχνότητα (υπηρεσία SOL)

Δίνονται τα UERE /14 και UERE /16, τα οποία αντιστοιχούν στις συχνότητες E5b/L1 και E5a/L1. Για ίδιες συνθήκες και παραμέτρους προσομοίωσης επιλέχθηκε ανάλυση τύπου Integrity, ώστε να είναι δυνατή η σύγκριση των διπλών συχνοτήτων E5b/L1 και E5a/L1. Εδώ ισχύει ό,τι και προηγουμένως. Το μέτρο σύγκρισης των δυο συνδυασμών συχνοτήτων είναι το PHMI (HAL)_{FF}. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν είναι αυτά που παρουσιάζονται στα σχήματα 5.50 και 5.51:

Προκύπτει πως για δέκτη διπλής συχνότητας ο ποιοτικός δείκτης Integrity Risk, που εκφράζει στην ουσία την πιθανότητα να διακυβευτεί η ακεραιότητα του συστήματος ελαχιστοποιείται και, με τον τρόπο αυτόν, εξασφαλίζεται η ακεραιότητα του συστήματος (εμπιστοσύνη που μπορεί να έχει ο χρήστης στο σύστημα.). Οι τιμές είναι πάρα πολύ μικρές, τάξης μεγέθους 10^{-19} έως 10^{-61} . Για εφαρμογές υψηλής ακρίβειας οι απαιτήσεις ακεραιότητας είναι αυξημένες και οι αντίστοιχες τιμές που αναμένονται είναι της τάξης του 10^{-9} (GSSF Operations Manual, 2005). Οι παραπάνω τιμές που εξήχθησαν είναι μέσα στα όρια που ορίζονται. Μεταξύ των δυο διαγραμμάτων παρατηρείται όμως μια μικρή απόκλιση στις τιμές που είναι άξια αναφοράς. Για το UERE/14 το PHMI εμφανίζει τιμές κατά τι μεγαλύτερες από εκείνες για το UERE/16.



Σχήμα 5.50 Μέτρο PHMI για δέκτη διπλής συχνότητας



Σχήμα 5.51 Μέτρο PHMI για δέκτη διπλής συχνότητας

❖ Galileo χρήστης αεροπλοΐας ➔ Σενάρια 11^ο και 12^ο

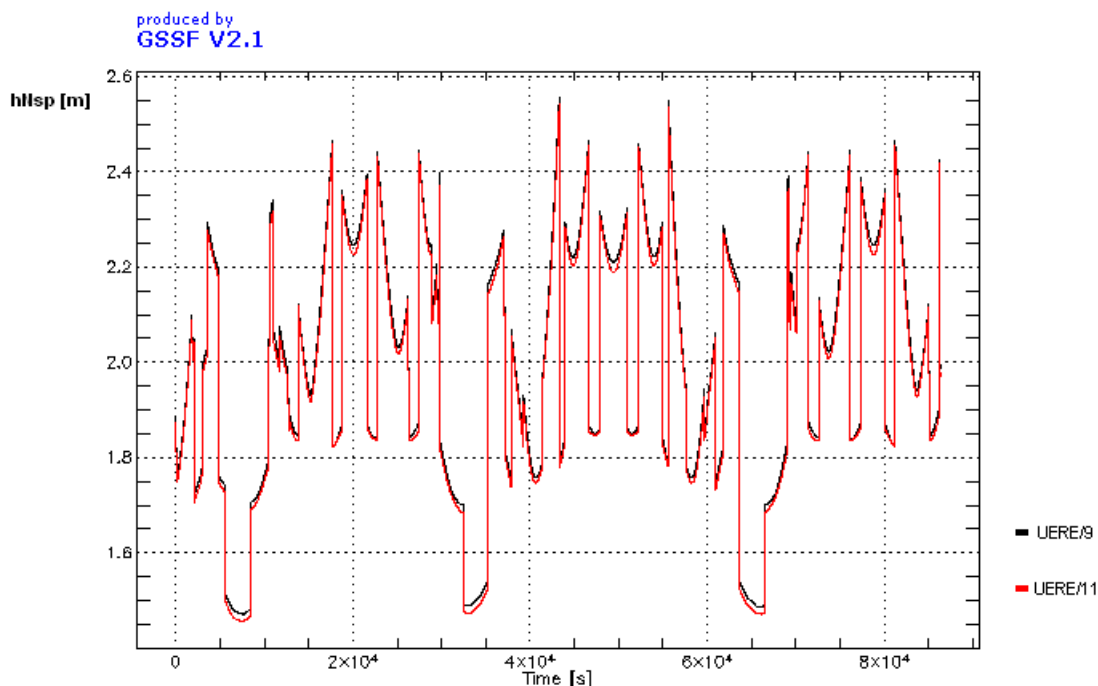
Στην περίπτωση του χρήστη αεροπλοΐας το πρόγραμμα δίνει προϋπολογισμένα UERE μόνο για διπλή συχνότητα τόσο για υπολογισμούς ανάλυσης Ακρίβειας (Accuracy) όσο και Ακεραιότητας (Integrity). Τα σενάρια συνοψίζονται στον πίνακα 5.52 και είναι τα εξής δυο:

A/A Σεναρίου	Δορυφ. σύστημα	Τύπος χρήστη	Χαρακτηριστικά που εξετάζονται	Ως προς τις παραμέτρους	Δέκτης	Συχνότητες	Τύπος UERE
11	Galileo	Αεροπλάνο	Ακρίβεια	NSP	Δυο συχνοτήτων	E5a/L1	11
12			Ακεραιότητα	PHMI_HAL		E5b/L1	9
						E5a/L1	15
						E5b/L1	13

Πίνακας 5.52 Aeronautical user

▪ Σενάριο 11^ο: Ανάλυση Ακρίβειας για διπλή συχνότητα (υπηρεσία SOL)

Δίνονται τα UERE /9 και UERE /11, τα οποία αντιστοιχούν στις συχνότητες E5b/ L1 και E5a/L1. Για ίδιες συνθήκες και παραμέτρους προσομοίωσης επιλέχθηκε ανάλυση τύπου NSP, ώστε να είναι δυνατή η σύγκριση των διπλών συχνοτήτων E5b/ L1 και E5a/L1.



Σχήμα 5.53 Μέτρο NSP για δέκτη διπλής συχνότητας

Όπως και στην ανάλογη περίπτωση του κινηματικού δέκτη σε μη αστική περιοχή (βλ. Σχ. 5.49) έτσι κι εδώ τα αποτελέσματα της ανάλυσης NSP δίνουν τιμές που παρουσιάζουν ίδια

χρονοσειρά (βλ. Σχ. 5.53) και για τους δύο συνδυασμούς συχνοτήτων, και μικρή απόκλιση στις τιμές μεταξύ τους. Για το UERE/9 ο οριζοντιογραφικός δείκτης (hNSP) διαφοροποιείται ελάχιστα με τιμές κατά 1 έως 2 cm μεγαλύτερες από εκείνες για το UERE/11. Και για τις δυο περιπτώσεις, όμως, οι τιμές κυμαίνονται από 1,46 έως 2,6 m. Συνεπώς τόσο για δέκτη αεροπλοΐας διπλής συχνότητας E5b/ L1 όσο και για τον αντίστοιχο συχνότητας E5a/L1 η ακρίβεια στον προσδιορισμό της θέσης είναι πολύ καλή.

Αν είναι σκόπιμο να γίνει σύγκριση μεταξύ των δυο τύπων χρήστη του συστήματος, του κινηματικού σε μη αστική περιοχή και του χρήστη αεροπλοΐας, το συμπέρασμα που εξάγεται είναι πως, για τα UERE budgets που δίνει το πρόγραμμα GSSF, η ακρίβεια που επιτυγχάνεται για τον πρώτο και για δέκτη διπλής συχνότητας είναι -αν και ελάχιστα- οπωσδήποτε καλύτερη από αυτή για τον χρήστη αεροπλοΐας. Αυτό εξηγείται καθώς στην αεροπλοΐα είναι πολύ πιο δύσκολο να διατηρηθεί υψηλή ακρίβεια καθ' όλη τη διαδρομή εφόσον οι δυναμικές που αναπτύσσονται είναι μεγαλύτερες σε σχέση με έναν κινηματικό δέκτη της στεριάς (π.χ. αυτοκίνητο). Άρα τα αποτελέσματα είναι συγκρίσιμα.

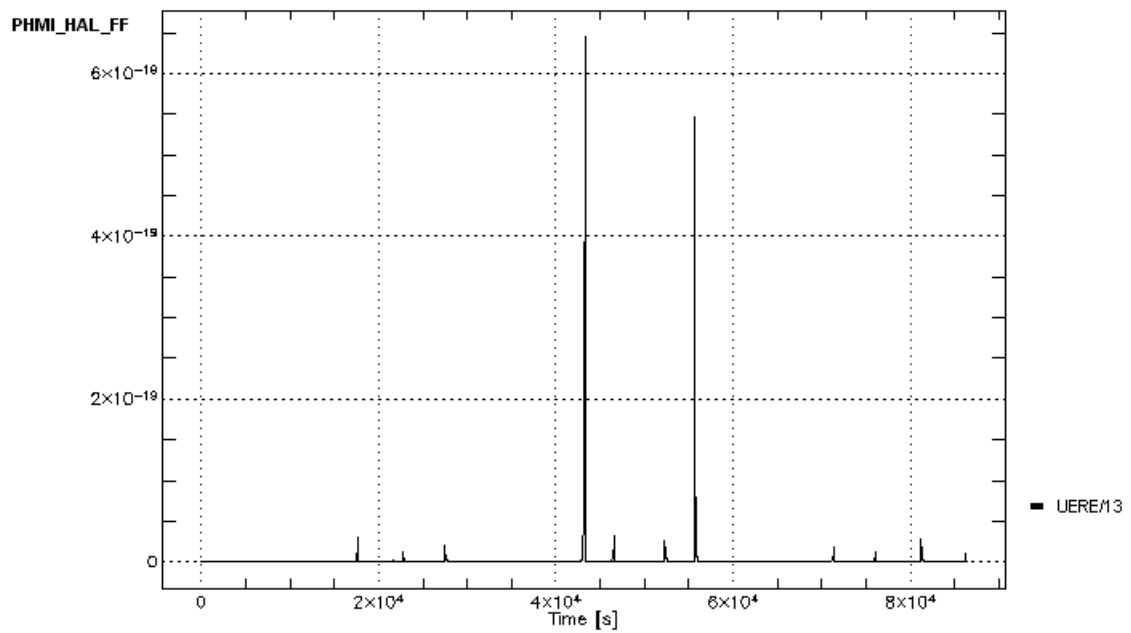
- **Σενάριο 12^ο:** Ανάλυση Ακεραιότητας για διπλή συχνότητα (υπηρεσία SOL)

Δίνονται τα UERE /13 και UERE /15, τα οποία αντιστοιχούν στις συχνότητες E5b/L1 και E5a/L1 . Για ίδιες συνθήκες και παραμέτρους προσομοίωσης επιλέχθηκε ανάλυση τύπου Integrity, ώστε να είναι δυνατή η σύγκριση των διπλών συχνοτήτων E5b/L1 και E5a/L1. Το μέτρο σύγκρισης των δυο συνδυασμών συχνοτήτων είναι το PHMI (HAL)_{FF}. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν εμφανίζονται στα παρακάτω διαγράμματα (βλ. Σχ. 5.54 & 5.55):

Προκύπτει πως για δέκτη διπλής συχνότητας το Integrity Risk παίρνει πάρα πολύ μικρές τιμές, τάξης μεγέθους 10^{-19} έως 10^{-60} , δηλαδή εμφανίζει σχεδόν μηδενική πιθανότητα να διακυβευτεί η ακεραιότητα του συστήματος. Αυτό σημαίνει πως η ακεραιότητα του σήματος για τις συγκεκριμένες συχνότητες είναι πολύ μεγάλη. Τόσο για το UERE/13 όσο και για το UERE/15 η κατανομή των τιμών του PHMI είναι ίδια. Μεταξύ των δυο διαγραμμάτων παρατηρείται, όμως, μια μικρή απόκλιση στις τιμές που είναι άξια αναφοράς. Για το UERE/13 το PHMI εμφανίζει τιμές κατά τι μεγαλύτερες από εκείνες για το UERE/15.

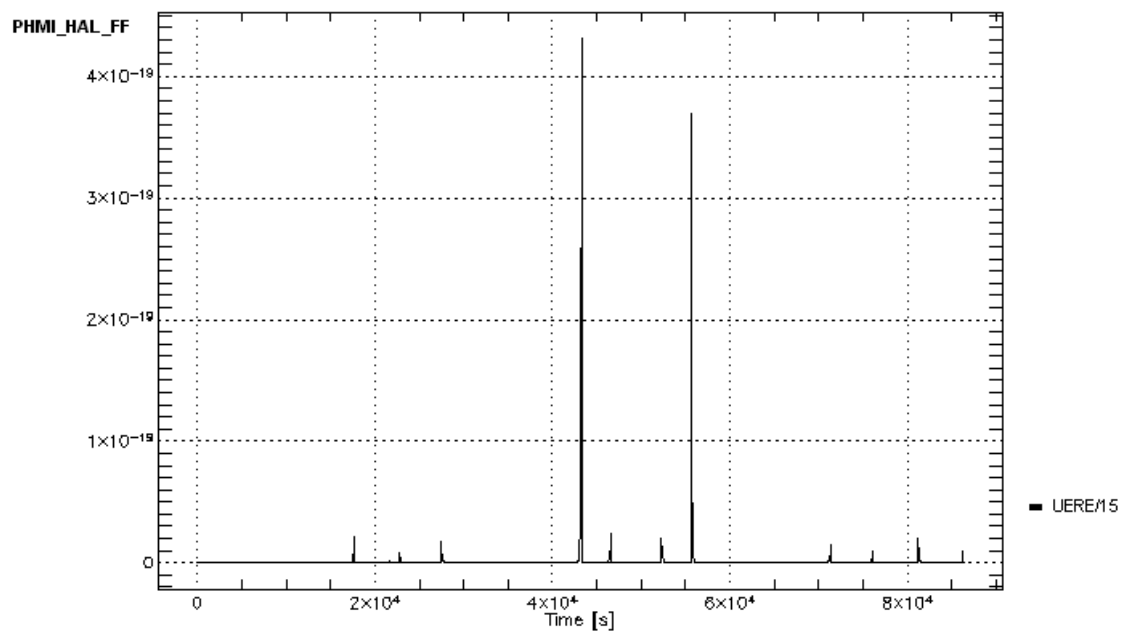
:

produced by
GSSF V2.1



Σχήμα 5.54 Μέτρο PHMI για δέκτη διπλής συχνότητας

produced by
GSSF V2.1



Σχήμα 5.55 Μέτρο PHMI για δέκτη διπλής συχνότητας

6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

6.1 Συμπεράσματα

Στην παρούσα ενότητα συνοψίζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από όλη την πορεία της εργασίας βάσει των στόχων που τέθηκαν στην αρχή.

Από το βιβλιογραφικό κομμάτι της εργασίας και ύστερα από διεξοδική διερεύνηση των βασικών χαρακτηριστικών του Galileo προκύπτει το συμπέρασμα πως το νέο δορυφορικό σύστημα πλοήγησης και εντοπισμού θέσης αποτελεί πράγματι μια νέα, προηγμένη και σύγχρονη τεχνολογία που είναι απαραίτητη στον τομέα της δορυφορικής πλοήγησης, καθώς αυτό επιτάσσουν οι απαιτήσεις για εξελιγμένες δορυφορικές υποδομές που ολοένα εγείρονται στις μέρες μας. Το σύστημα Galileo είναι ικανό να ανταποκριθεί σε αυτές, παρέχοντας ένα ευρύ φάσμα υπηρεσιών, για την ακρίβεια πέντε επίπεδα υπηρεσιών ελεύθερης ή περιορισμένης πρόσβασης, με μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό ακριβείας, με χρέωση ή χωρίς. Ο τεχνικός σχεδιασμός και οι προδιαγραφές του έχουν καθοριστεί έτσι ώστε το σύστημα να προσφέρει συνεχή και απρόσκοπτη λειτουργία ακόμη και κάτω από τις πιο ακραίες καταστάσεις. Κατ' αυτό τον τρόπο το νέο δορυφορικό σύστημα θα επεκτείνει τη χρήση των τεχνολογιών πλοήγησης καλύπτοντας παράλληλα και τα κενά που αφήνουν τα υπάρχοντα συστήματα GPS και GLONASS. Όντας ένα αμιγώς πολιτικό σύστημα θα παρέχει υπηρεσίες ελεύθερης πρόσβασης για όλους τους χρήστες παγκοσμίως σε αντίθεση με το στρατιωτικό GPS. Θα παρουσιάζει καλύτερη ακρίβεια στίγματος και χρόνου, μεγαλύτερη αξιοπιστία στις μετρήσεις, και καλύτερη παγκόσμια κάλυψη από ότι το σύστημα GPS. Θα παρέχει συνεχείς υπηρεσίες χωρίς ενδεχόμενη σκόπιμη μείωση της ακρίβειας (SA) για τις πολιτικές χρήσεις σε αντίθεση με το GPS. Θα εκπέμπει ισχυρό σήμα ικανό να καλύπτει τις πυκνές αστικές περιοχές (urban canopy) καλύτερα από το GPS. Θα παρέχει υπηρεσίες πολύ καλής αξιοπιστίας δεδομένης της δυνατότητας εκπομπής ενός σήματος ακεραιότητας (integrity message) στον χρήστη, αντίθετα με το GPS που δεν έχει αυτή τη δυνατότητα.

Στη συνέχεια και μέσω της σύγκρισης των δύο συστημάτων GPS και Galileo εξήχθησαν τα εξής συμπεράσματα:

- η δορυφορική γεωμετρία του Galileo επαναλαμβάνεται κάθε 9 d και 7h περίπου σε αντίθεση με το GPS για το οποίο η περίοδος επανάληψης είναι 24 h.

- το Galileo παρέχει για στατικό εντοπισμό θέσης μεγαλύτερη διαθεσιμότητα ορατών δορυφόρων (6 - 9) και καλύτερη γεωμετρία (1,8 - 2,8) σε αντίθεση με το GPS (4 - 8 και 1,7 - 7,5 αντίστοιχα).
- το Galileo παρέχει για κινηματικό εντοπισμό θέσης μεγαλύτερη διαθεσιμότητα ορατών δορυφόρων (7 - 10) και καλύτερη γεωμετρία (1,5 - 2,5) σε αντίθεση με το GPS (5 - 8 και 1,7 - 4,5 αντίστοιχα)
- το Galileo επικρατεί του GPS καλύπτοντας τις ακραίες γεωγραφικές περιοχές άνω των 75° (B. και N. Πόλος), όπου το GPS εμφανίζει μεγάλη αδυναμία. Ενώ για τις περιοχές του ισημερινού το GPS εμφανίζει μεγαλύτερη διαθεσιμότητα σε σχέση με το Galileo.
- το Galileo για μονόσυχο δέκτη δίνει μεγαλύτερη ακρίβεια στον κινηματικό εντοπισμό θέσης απ' ότι το GPS.
- Για διπλόσυχο στατικό δέκτη το GPS παρέχει μεγαλύτερη ακρίβεια (1,7 - 4,6 m) απ' ό,τι το σύστημα Galileo, που δίνει 3,5 - 7,5 m αντίστοιχα, καθότι για το πρώτο οι ασάφειες φάσης επιλύονται σε πραγματικό χρόνο με πολύ καλή ακρίβεια.

Τέλος, ύστερα από την αξιολόγηση του συστήματος για διάφορους χρήστες, όπως παρουσιάστηκε μέσω των δοκιμών του κεφαλαίου 5, τα συμπεράσματα που προέκυψαν σχετικά με τη λειτουργικότητα του συστήματος Galileo μεμονωμένα αλλά και συγκριτικά με το υπάρχον σύστημα GPS συνοψίζονται στα εξής:

- Ο δορυφορικός σχηματισμός του συστήματος Galileo επαναλαμβάνεται κάθε 9^d και 7^h.
- Η ορατότητα και η γεωμετρία του δορυφορικού συστήματος εξαρτώνται από την γωνία ανύψωσης. Καθώς αυξάνει η γωνία περιορίζεται ο αριθμός των ορατών δορυφόρων και η γεωμετρία τους γίνεται χειρότερη.
- Ο συνδυασμός των συστημάτων Galileo και GPS είναι ιδανικός για τον εντοπισμό θέσης. Βελτιώνει κατά πολύ την κάλυψη και την διαθεσιμότητα. Ο ελάχιστος

αριθμός πέντε και τεσσάρων ορατών δορυφόρων για το κάθε σύστημα ξεχωριστά με το συνδυασμό τους αυξάνεται σε δέκα.

- Ο συνδυασμός των συχνοτήτων E5b/L1 του Galileo είναι ο καταλληλότερος για παρατηρήσεις με στατικό δέκτη.
- Για το Galileo και για μονόσυχο κινηματικό δέκτη, μεταξύ των συχνοτήτων L1 και E5b, η πρώτη παρέχει μεγαλύτερη ακρίβεια (9 - 13 m αντί των 15 - 21 m) στον κινηματικό εντοπισμό θέσης και μεγαλύτερη ακεραιότητα (32-55% κίνδυνος έναντι του 69-82%).
- Για το Galileo και για διπλόσυχο κινηματικό δέκτη, τόσο οι συχνότητες E5b /L1 όσο και οι E5a/L1 παρέχουν μεγάλη ακρίβεια στον κινηματικό εντοπισμό θέσης (της τάξης των 1,4 – 2,5 m) καθώς και μεγάλη ακεραιότητα του συστήματος ($\ll 10^{-19} \cong 0$ ο κίνδυνος).
- Για το Galileo, για κινηματικό δέκτη διπλής συχνότητας παρέχεται πολύ μεγαλύτερη ακρίβεια (1,45 - 2,5 m) απ' ό,τι για έναν αντίστοιχο μονής συχνότητας (9 -13 m).
- Για το Galileo και για διπλόσυχο δέκτη αεροπλοΐας, τόσο οι συχνότητες E5b /L1 όσο και οι E5a/L1 παρέχουν μεγάλη ακρίβεια στον κινηματικό εντοπισμό θέσης (της τάξης των 1,46 – 2,6 m) καθώς και μεγάλη ακεραιότητα του συστήματος ($\ll 10^{-19} \cong 0$ ο κίνδυνος).
- Η ακρίβεια εντοπισμού θέσης για διπλόσυχο κινηματικό δέκτη εμφανίζεται –αν και ελάχιστα – καλύτερη από αυτή που επιτυγχάνεται για διπλόσυχο δέκτη αεροπλοΐας.

Από τα παραπάνω αποδεικνύεται πως το σύστημα Galileo λειτουργεί αποδοτικά σύμφωνα με τις προδιαγραφές και τους στόχους που τέθηκαν εξ αρχής, επιτυγχάνοντας πολύ καλή ακρίβεια στίγματος και χρόνου, μεγάλη αξιοπιστία στις μετρήσεις και παγκόσμια κάλυψη.

6.2 Προτάσεις

Στα πλαίσια του παρόντος πονήματος εξετάστηκαν και διερευνήθηκαν σημαντικές πτυχές του αντικειμένου μελέτης. Το συγκεκριμένο θέμα, όμως, δεδομένου ότι αφορά σε ένα αναπτυσσόμενο δορυφορικό σύστημα δεν εξαντλείται εδώ. Κάθε παραπέρα διερεύνηση είναι πολύ χρήσιμη για την κατανόηση και καλύτερη γνώση των δυνατοτήτων αυτής της νέας τεχνολογίας. Ως εκ τούτου, η έρευνα της παρούσας εργασίας θα μπορούσε να επεκταθεί περαιτέρω στα εξής:

- Στη σύγκριση των προσομοιωμένων δεδομένων για στατικό και κινητό εντοπισμό με πραγματικά δεδομένα, στην περίπτωση που αυτά θα ήταν διαθέσιμα στον χρήστη.
- Στην ανάπτυξη λογισμικού προσομοίωσης σε άλλο περιβάλλον (λ.χ. κώδικας Matlab) για σύγκρισή του με το χρησιμοποιούμενο GSSF. Αυτό θα είχε ως αποτέλεσμα την αξιολόγηση της αξιοπιστίας του προσομοιωτικού εργαλείου.
- Στη σύγκριση του συστήματος Galileo με το ρωσικό GLONASS. Αυτή η σύγκριση έχει νόημα, γιατί μπορεί το σύστημα GLONASS να μην είναι ακόμη πλήρως επιχειρησιακό, πλην όμως αναμένεται κάποια στιγμή να αναπτυχθεί πλήρως και να αποτελεί και αυτό ανταγωνιστικό δορυφορικό σύστημα πλοήγησης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Altamini Z., (2005), “Terrestrial Reference Systems: Definition, realization and Application to the ITRF”, May.
- [2] Píriz R., Fernández V., Auz A., Tavella P., Sesia I., Cerretto G., Falcone M., Navarro D., Hahn J., González F., Tossaint M., Gandara M., (2006), “The Galileo System Test Bed V2 for Orbit and Clock Modeling”.
- [3] Svehla D., Rothacher M., (2006), “Combined processing and orbit determination of Galileo and GPS satellites using phase clocks”, July.
- [4] Chersich M., (2007), “Geolocalnet Project”, March.
- [5] Zimmermann F., Haak T., Steindl E., Vardarajulu S., Kalden O., Hill C., (2005), “Generating Galileo Raw Data – Approach and Application”, May – June.
- [6] Galileo Joint Undertaking, (2005), “L1 band part of Galileo Signal in Space ICD (SIS ICD)”.
- [7] Simon M., Galileo Joint Undertaking, (2005), “GalileoThe European Programme for Global Navigation Services”, January.
- [8] Seynat C., Kealy A., Zhang K., (2004), “A Performance Analysis of Future Global Navigation Satellite Systems”, December.
- [9] Wirola L., Syrjarinne J., (2007), “Bringing All GNSSs into Line”, September.
- [10] Detain D., (2006), “The First Galileo Satellites (Galileo In-Orbit Validation Element G I O V E)”, August.
- [11] European Commission 2003 – Παρουσίαση, Directorates – General Energy and Transport.
- [12] Επιτροπή των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, (2006), “Πράσινη Βίβλος - για τις εφαρμογές της δορυφορικής πλοήγησης”.
- [13] Γρεβενίτη Γ., Νιωτάκη Ε., (2001), “Galileo, Global Navigation Satellite System”, March.
- [14] Benedicto J., Dinwiddy S.E., Gatti G., Lucas R., Lugert M., (2000), “Galileo: Satellite System Design and Technology Developments”, November.
- [15] Falcone M., (2004), “Galileo Overall Architecture”, September.
- [16] Wisse E., Van Kleef A.J.P., (2007), “3d positioning: Galileo and GPS in practice”.
- [17] Barrot J., (2007), “Growing Galileo Conference and Exhibition”, November.
- [18] Wang J., Keller W., Sharifi M.A., (2006), “Comparison of availability of Galileo, GPS and a combined Galileo / GPS navigation systems”.
- [19] European Commission, (2004), “World – Wide Radionavigation System (WWRNS) - Galileo receiver performance standards”, April.

- [20] Serodio R., (2006), “SAR / Galileo System Link Quality Analysis”, July.
- [21] European Commission 2003, “The Galilei Project - Galileo Design Consolidation”.
- [22] O’Keefe K., Dr. Lachapelle G., (2001), “North American System Benefits of Galileo”, March.
- [23] Galileo Joint Undertaking, (2004), “Galileo Research and Development Activities”, May.
- [24] Lachapelle G., Petovello M., (2006), “GNSS Solutions”, July / August.
- [25] European Commission, ESA, (2002), “Mission High Level Definition”, September.
- [26] Gurtner W., Estey L., (2005), “Proposal for RINEX Version 3.00 Observation Files”, May.
- [27] IFEN GmbH, 2007, “NAVX – NSR – GPS / Galileo Navigation Software Receiver”.
- [28] Gurtner W., Estey L., (2007), “The Receiver Independent Exchange Format”, November.
- [29] Sleewaegen J.-M., “Observation codes for unknown tracking modes”.
- [30] GSSF Operations Manual Volume 1, (2005), GSSFP2.OM.001, May.
- [31] GSSF Operations Manual, Volume 2, (2005), Algorithms and Models, GSSFP2.OM.002, May.
- [32] Zimmermann F., Thomas Haak, Hill C., (2004), “Galileo System Simulation Facility”, 8th International Workshop on Simulation for European Space Programmes, October.
- [33] Anonymous, (2004), “Earth to Galileo: spread the world”, September.
- [34] Anonymous, (2004), “Galileo: On the right track”, November.
- [35] Anonymous, (2004), “Science and Technology: Where its at; Galileo and GPS;”, January.
- [36] Feller, Gordon, (2003), “Europe’s Galileo moves toward launch”, November.
- [37] Wall R., (2004), “Cross Talk; Despite some progress, discussion on GPS – Galileo interference are still in a stall”, January.
- [38] Wall R., (2003), “The Chinese Connection Beijing’s plan to join Europe’s Galileo satnav system could draw a rebuff from the U.S.”, September.
- [39] Michael A., (2003), “European Challenger Go-ahead for Galileo may force US leaders to stake a new position on navsat system”, September.
- [40] Michael A., (2002), “Europe Declares Satnav Independence”, April.
- [41] European Space Agency / Galileo Joint Undertaking, (2006), “Galileo Open Service Signal In Space Interface Control Document (OS SIS ICD)”.
- [42] Δερμάνης Α., “Συστήματα Αναφοράς και Χρόνου” Τομέας Γεωδαισίας και Τοπογραφίας – ΤΑΤΜ, ΑΠΘ.

- [43] Marradi L., Franzoni G., Foglia L., Fossati D., Cornacchini C., Le Goff M., Duchesne L., Foged L., Fernandez A. J., Caramagno A., Schweikert R., Woerz T., Gabaglio V., (2006), The GARDA Project, Building a Galileo Receiver, Journal “Inside GNSS”, Nov – Dec.
- [44] Gerein N., Olynik M. Clayton M., Auld J., Murfin T., (2005), “NovAtel’s Galileo Test Receiver”, Proc of ION GNSS 2005, Long Beach, California, September.
- [45] Lachapelle G., Petovello M., (2006), GNSS Solutions, Orbital precession, optimal dual-frequency techniques, and Galileo receivers, Journal “Inside GNSS”, Jul – Aug.
- [46] Hennen L., Karapiperis T., (2006), “Galileo Applications”, STOA workshop report, Sep.

ΔΙΚΤΥΑΚΟΙ ΤΟΠΟΙ

http://ec.europa.eu/dgs/energy_transport/galileo/doc/galileo_leaflet_en.pdf (30/12/2007).

http://www.europarl.europa.eu/news/public/story_page (30/12/2007).

<http://www-pw.physics.uiowa.edu/~jbg/ephemeris.html> (30/12/2007).

<http://iris.ekt.org.gr/cordis/news/eu/2001/#1> (31/12/2007).

http://directory.eoportal.org/pres_GIOVEGalileoInOrbitValidationElement.html (7/1/2008).

http://ec.europa.eu/dgs/energy_transport/galileo/programme/index_en.htm (07/01/2007).

http://www.esa.int/esaNA/GGGMX650NDC_index_0.html (10/01/2008).

<http://www.galileoju.com/page.cfm?voce=m&idvoce=301&plugIn=1> (10/01/2008).

http://europa.eu/scadplus/glossary/galileo_el.htm (20/01/2008).

http://en.wikipedia.org/wiki/GLONASS#Current_status (22/01/2008).

<http://www.esa.int/esaNA/galileo.html> (24/01/2008).

http://en.wikipedia.org/wiki/Galileo_positioning_system (28/01/2008).

http://ec.europa.eu/dgs/energy_transport/galileo/index_en.htm (30/01/2008).

<http://searchmobilecomputing.techtarget.com/sDefinition> (01/02/2008).

http://en.wikipedia.org/wiki/Galileo_positioning_system (04/02/2008).

http://ec.europa.eu/dgs/energy_transport/galileo/green-paper/index_en.htm (06/02/2008).

http://www.europa.eu.int/comm/energy_transport/en/gal_en.html (10/02/2008).

<http://ta-nea.dolnet.gr/print.php?e=A&f=18426&m=N66&aa=1> (13/02/2008).

<http://www.genesis-office.org/> (16/02/2008).

<http://www.esa.int/export/esaSA/navigation.html> (20/02/2008).

<http://ursaminor.nl/ursaminor/documents> (23/02/2008).

http://www.enet.gr/online/online_hprint?q=gps&a=&id=21794836 (23/02/2008).

<http://www.euractiv.com/en/science/galileo/article-117496> (23/02/2008).

http://ec.europa.eu/dgs/energy_transport/galileo/green-paper/index_en.htm (25/02/2008).

http://www.esa.int/SPECIALS/GIOVE-B_launch/SEMGVUZXUFF_0.html (25/02/2008).

<http://www.imerisia.gr/defaultold.asp?catid=4669&subid=20110&pubid=90827> (26/02/2008).

http://www.galileo-services.org/news_events/news_events.html (03/03/2008).

<http://www.cnomy.com/?dn=galileo-pgm.org&pid=1PONU28HS&prvtof=> (05/03/2008).

<http://www.globalsecurity.org/space/world/europe/images/gali> (08/03/2008).

<http://www.space.com/missionlaun> (09/03/2008).

www.amsat.org/amsat/keps/kepmodel.html (15/03/2008).

<http://www-leland.stanford.edu/~iburrell/sat/kepler.html> (17/03/2008).

<http://www.techteam.gr/lofiversion/index.php/t10959.html> (22/03/2008).

<http://kom.aau.dk/~borre/> (30/03/2008).

<http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=IP/04/1461&format=HTML&aged=0&language=EN&guiLanguage=fr> (30/03/2008).

http://der.topo.auth.gr/RF/ReferenceFrames_2007-08_11.pps (30/3/2008).

<http://www.dlr.de/en/desktopdefault.aspx/> (15/5/ 2008).

http://www.europarl.europa.eu/stoa/publications/studies/stoa175_en.pdf (20/5/2008).

<http://www.novatel.com/Documents/Papers> (20/5/2008).

<http://www.thespacereview.com/article/534/1> (01/6/2008).

http://www.cere.gr/upload/APOPSEIS_20061110.pdf (01/6/08).

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

A Πίνακες UERE

B Αρχείο RINEX

Πίνακες UERE

UERE/2	Error Source	Elevation angle [deg]								
		5	10	15	20	30	40	50	60	90
	Residual Ionosphere	1256	1124	1006	903	733	608	553	553	553
	OD&TS	67	67	67	67	67	67	67	67	67
	Residual Troposphere	135	75	51	39	27	21	18	16	14
	Thermal Noise, Interference, Multipath Random	20	20	19	18	18	17	17	17	17
	Multipath Bias	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	Satellite BGD	64	64	64	64	64	64	64	64	64
	Code-Carrier Ionospheric Divergence	60	60	60	60	60	60	60	60	60
	Total (1-sigma error [cm])	1269	1133	1015	912	744	621	567	567	567
	Total + 10% Margin (1-sigma error [cm])	1396	1246	1117	1003	818	683	624	623	623

Πίνακας A1. UERE/2 - OS Single frequency, E5b, Rural Pedestrian/Vehicle

UERE/4	Error Source	Elevation angle [deg]								
		5	10	15	20	30	40	50	60	90
	Residual Ionosphere	737	660	591	530	430	357	325	325	325
	OD&TS	67	67	67	67	67	67	67	67	67
	Residual Troposphere	135	75	51	39	27	21	18	16	14
	Thermal Noise, Interference, Multipath Random	55	50	46	43	40	38	38	38	38
	Multipath Bias	120	120	120	120	120	120	120	120	120
	Satellite BGD	56	56	56	56	56	56	56	56	56
	Code-Carrier Ionospheric Divergence	60	60	60	60	60	60	60	60	60
	Total (1-sigma error [cm])	768	685	616	557	462	394	364	364	364
	Total + 10% Margin (1-sigma error [cm])	845	753	678	612	508	433	401	401	401

Πίνακας A2. UERE /4 – OS Single frequency, L1, Rural Pedestrian/Vehicle

	Error Source	Elevation angle [deg]								
		5	10	15	20	30	40	50	60	90
UERE/6	Residual Ionosphere	8	7	6	6	5	4	3	3	3
	OD&TS	67	67	67	67	67	67	67	67	67
	Residual Troposphere	135	75	51	39	27	21	18	16	14
	Thermal Noise, Interference, Multipath Random	53	44	37	30	23	19	16	16	16
	Multipath Bias	7	7	7	7	7	7	7	7	7
	Satellite BGD	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Code-Carrier Ionospheric Divergence	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Total (1-sigma error [cm])	160	110	93	84	76	73	72	71	71
	Total + 10% Margin (1-sigma error [cm])	176	121	102	92	84	80	79	78	78

Πίνακας A3. UERE/6 - OS Dual-frequency w/o Integrity, E5b-L1, Rural Vehicle

	Error Source	Elevation angle [deg]								
		5	10	15	20	30	40	50	60	90
UERE/8	Residual Ionosphere	8	7	6	6	5	4	3	3	3
	OD&TS	67	67	67	67	67	67	67	67	67
	Residual Troposphere	135	75	51	39	27	21	18	16	14
	Thermal Noise, Interference, Multipath Random	49	41	34	28	21	17	15	15	15
	Multipath Bias	7	7	7	7	7	7	7	7	7
	Satellite BGD	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Code-Carrier Ionospheric Divergence	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Total (1-sigma error [cm])	159	109	92	83	76	73	71	71	70
	Total + 10% Margin (1-sigma error [cm])	175	120	101	91	83	80	78	78	77

Πίνακας A4. UERE/8 - OS Dual-frequency w/o Integrity, E5a-L1, Rural Vehicle

	Error Source	Elevation angle [deg]								
		5	10	15	20	30	40	50	60	90
UERE/9	Residual Ionosphere	8	7	6	6	5	4	3	3	3
	OD&TS	67	67	67	67	67	67	67	67	67
	Residual Troposphere	135	75	51	39	27	21	18	16	14
	Thermal Noise, Interference, Multipath Random	38	29	34	27	20	16	14	13	13
	Multipath Bias	16	16	16	16	16	16	16	16	16
	Satellite BGD	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Code-Carrier Ionospheric Divergence	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Total (1-sigma error [cm])	157	106	93	84	77	74	73	72	72
	Total + 10% Margin (1-sigma error [cm])	172	117	102	92	85	81	80	79	79

Πίνακας A5. UERE/9 - SOL Dual-frequency with Integrity, E5b-L1, Aeronautical

	Error Source	Elevation angle [deg]								
		5	10	15	20	30	40	50	60	90
UERE/11	Residual Ionosphere	8	7	6	6	5	4	3	3	3
	OD&TS	67	67	67	67	67	67	67	67	67
	Residual Troposphere	135	75	51	39	27	21	18	16	14
	Thermal Noise, Interference, Multipath Random	36	27	31	25	19	15	13	12	12
	Multipath Bias	15	15	15	15	15	15	15	15	15
	Satellite BGD	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Code-Carrier Ionospheric Divergence	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Total (1-sigma error [cm])	156	106	91	83	76	73	72	71	71
	Total + 10% Margin (1-sigma error [cm])	171	116	101	91	84	81	79	79	78

Πίνακας A6. UERE/11 - SOL Dual-frequency with Integrity, E5a-L1, Aeronautical

	Error Source	Elevation angle [deg]								
		5	10	15	20	30	40	50	60	90
UERE/13	Residual Ionosphere	8	7	6	6	5	4	3	3	3
	OD&TS	87	87	87	87	87	87	87	87	87
	Residual Troposphere	135	75	51	39	27	21	18	16	14
	Thermal Noise, Interference, Multipath Random	38	29	34	27	20	16	14	13	13
	Multipath Bias	16	16	16	16	16	16	16	16	16
	Satellite BGD	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Code-Carrier Ionospheric Divergence	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Total (1-sigma error [cm])	166	120	108	101	95	93	91	91	91
	Total + 10% Margin (1-sigma error [cm])	183	132	119	111	104	102	101	100	100

Πίνακας Α7. UERE/13 - SOL Dual-frequency with Integrity, E5b-L1, Aeronautical, Protection Level

	Error Source	Elevation angle [deg]								
		5	10	15	20	30	40	50	60	90
UERE/14	Residual Ionosphere	8	7	6	6	5	4	3	3	3
	OD&TS	87	87	87	87	87	87	87	87	87
	Residual Troposphere	135	75	51	39	27	21	18	16	14
	Thermal Noise, Interference, Multipath Random	47	39	33	27	20	16	14	14	14
	Multipath Bias	7	7	7	7	7	7	7	7	7
	Satellite BGD	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Code-Carrier Ionospheric Divergence	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Total (1-sigma error [cm])	168	122	107	100	94	91	90	90	90
	Total + 10% Margin (1-sigma error [cm])	184	134	117	109	103	101	99	99	98

Πίνακας Α8. UERE/14 - SOL Dual-frequency with Integrity, E5b-L1, Rural Vehicle, Protection Level

	Error Source	Elevation angle [deg]								
		5	10	15	20	30	40	50	60	90
UERE/15	Residual Ionosphere	8	7	6	6	5	4	3	3	3
	OD&TS	87	87	87	87	87	87	87	87	87
	Residual Troposphere	135	75	51	39	27	21	18	16	14
	Thermal Noise, Interference, Multipath Random	36	27	31	25	19	15	13	12	12
	Multipath Bias	15	15	15	15	15	15	15	15	15
	Satellite BGD	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Code-Carrier Ionospheric Divergence	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Total (1-sigma error [cm])	165	119	107	100	94	92	91	90	90
	Total + 10% Margin (1-sigma error [cm])	182	131	118	110	104	101	100	100	99

Πίνακας A9. UERE/15 - SOL Dual-frequency with Integrity, E5a-L1, Aeronautical, Protection Level

	Error Source	Elevation angle [deg]								
		5	10	15	20	30	40	50	60	90
UERE/16	Residual Ionosphere	8	7	6	6	5	4	3	3	3
	OD&TS	87	87	87	87	87	87	87	87	87
	Residual Troposphere	135	75	51	39	27	21	18	16	14
	Thermal Noise, Interference, Multipath Random	43	36	30	25	19	15	13	13	13
	Multipath Bias	7	7	7	7	7	7	7	7	7
	Satellite BGD	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Code-Carrier Ionospheric Divergence	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Total (1-sigma error [cm])	167	121	106	99	93	91	90	90	89
	Total + 10% Margin (1-sigma error [cm])	183	133	117	109	103	100	99	99	98

Πίνακας A10. UERE/16 - SOL Dual-frequency with Integrity, E5a-L1, Rural Vehicle, Protection Level

UERE/17	Error Source	Elevation angle [deg]								
		5	10	15	20	30	40	50	60	90
	Residual Ionosphere error	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	OD&TS error	65	65	65	65	65	65	65	65	65
	Residual Troposphere error	124	70	48	36	25	19	16	14	13
	Thermal noise, interfer., multipath random	181	181	181	181	181	181	181	181	181
	Multipath Bias	42	42	42	42	42	42	42	42	42
	Satellite BGD error	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Code-Carrier Ionospheric divergence error	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	total	232	209	202	200	198	198	197	197	197
	total+10% margin	256	230	223	220	218	217	217	217	217

Πίνακας A11. UERE/17 - OS Dual-frequency w/o Integrity, E5b-L1, Fixed User

UERE/23	Error Source	Elevation angle [deg]								
		5	10	15	20	30	40	50	60	90
	Residual Ionosphere	3173	2839	2543	2281	1853	1537	1317	1176	1049
	OD&TS	87	87	87	87	87	87	87	87	87
	Residual Troposphere	135	75	51	39	27	21	18	16	14
	Thermal Noise, Interference, Multipath Random	11	10	8	7	5	5	4	4	4
	Multipath Bias	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Satellite BGD	64	64	64	64	64	64	64	64	64
	Code-Carrier Ionospheric Divergence	180	180	180	180	180	180	180	180	180
	Total (1-sigma error [cm])	3183	2848	2552	2291	1865	1552	1334	1195	1070
	Total + 10% Margin (1-sigma error [cm])	3192	2857	2561	2301	1877	1566	1351	1213	1090

Πίνακας A12. UERE/23 - SOL Single frequency, E5b, Rural Vehicle, Protection Level

UERE/25	Error Source	Elevation angle [deg]								
		5	10	15	20	30	40	50	60	90
	Residual Ionosphere	1769	1583	1418	1272	1033	857	735	656	585
	OD&TS	87	87	87	87	87	87	87	87	87
	Residual Troposphere	135	75	51	39	27	21	18	16	14
	Thermal Noise, Interference, Multipath Random	18	15	13	10	8	6	6	6	6
	Multipath Bias	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	Satellite BGD	56	56	56	56	56	56	56	56	56
	Code-Carrier Ionospheric Divergence	180	180	180	180	180	180	180	180	180
	Total (1-sigma error [cm])	1787	1599	1434	1289	1054	882	764	688	621
	Total + 10% Margin (1-sigma error [cm])	1804	1614	1450	1307	1075	907	792	719	655

Πίνακας A13. UERE/25 - SOL Single frequency, L1, Rural Vehicle, Protection Level

UERE/29	Error Source	Elevation angle [deg]								
		5	10	15	20	30	40	50	60	90
	Residual Ionosphere	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	OD&TS	65	65	65	65	65	65	65	65	65
	Residual Troposphere	124	70	48	36	25	19	16	14	13
	Thermal Noise, Interference, Multipath Random	195	195	195	195	195	195	195	195	195
	Multipath Bias	40	40	40	40	40	40	40	40	40
	Satellite BGD	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Code-Carrier Ionospheric Divergence	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Total (1-sigma error [cm])	243	221	215	213	211	210	210	210	210
	Total + 10% Margin (1-sigma error [cm])	268	243	236	234	232	232	231	231	231

Πίνακας A14. UERE/29 - OS Dual-frequency w/o Integrity, E5a-L1, Fixed User

Αρχείο RINEX

Appendix B - RINEX 3.00 File generated with GSSF

```

3.00      O      M      RINEX VERSION / TYPE
GSSF      GSSF Community      25-May-05 06:57      PGM / RUN BY / DATE
RINEX file generated by GSSF      COMMENT
KOUR      MARKER NAME
0      MARKER NUMBER
svaradarajulu      GSSF Community      OBSERVER / AGENCY
RX9      GSSF RDG      GSSF V2.0      REC # / TYPE / VERS
RX9      GSSF RDG      ANT # / TYPE
3839248.0513 -5059856.0467 579716.8603      APPROX POSITION XYZ
Approx coords replaced by True simulation coords      COMMENT
0.0000      0.0000      0.0000      ANTENNA: DELTA H/E/N
1      2      WAVELENGTH FACT L1/2
E      4      D1A      L1A      C1A      S1A      SYS / # / TYPES OF OBSERV
300.000      INTERVAL
2003      6      20      9      0      0.0000000      GPS      TIME OF FIRST OBS
END OF HEADER
03 06 20 09 00 0.0000000 0 9E11E12E18E19E25E26E27E32E33E34
-214.53000 123807764.36800 23559839.38400 61.69200
-2145.90000 137840533.57800 26230191.16700 58.67600
1994.99300 127883428.09300 24335412.70900 62.19600
-596.85200 135983233.72200 25876756.53200 58.90600
-1763.99700 134236494.87000 25544362.26800 57.29200
-1943.90400 144863861.91100 27566686.14000 51.98300
1078.54800 141732024.51300 26970718.41600 56.01100
883.16100 134814499.04800 25654354.50600 57.64600
210.85700 140097889.15200 26659752.86000 57.08100
03 06 20 09 05 0.0000000 0 10E11E12E18E19E25E26E27E32E33E34
-348.63600 123892223.27700 23575911.36200 61.75900
-2228.15500 138496754.93100 26355065.92300 58.19600
2837.41700 146107813.13000 27803401.48300 49.91800
1904.52000 127298366.20800 24224079.14300 61.60700
-666.04300 136172824.92900 25912834.53100 59.10700
-1761.07500 134765436.27100 25645016.45700 57.59300
-1876.37100 145437022.48100 27675754.95600 51.02600
1142.71900 141398863.03300 26907319.86700 56.22400
914.57700 134544786.96100 25603030.01900 57.34900
192.38600 140037327.53700 26648228.36000 57.12200
03 06 20 09 10 0.0000000 0 10E11E12E18E19E25E26E27E32E33E34
-482.33400 124016864.88200 23599629.87000 61.85500
-2305.28800 139176890.76600 26484491.48600 57.71300
2828.99800 145257704.90900 27641631.24700 51.32400
1808.57600 126741273.84000 24118067.99500 60.96700
-729.83800 136382369.34400 25952709.52100 59.15500
-1752.12500 135292594.57000 25745331.34100 58.16700
-1805.76200 145989457.01900 27780879.81900 50.11300
1206.04200 141046571.03600 26840280.93300 56.45200
941.93600 134266253.46500 25550026.82700 57.28600
168.97700 139983048.44900 26637899.39500 57.15800
03 06 20 09 15 0.0000000 0 9E11E12E18E19E25E26E32E33E34
-615.11200 124181489.79900 23630956.96400 61.97600
-2377.11200 139879375.89700 26618169.94200 57.22800
2814.73900 144410999.57600 27480508.58300 52.74800
1707.43400 126213752.14700 24017683.93600 60.26300
-788.06700 136610221.92700 25996068.42100 59.16800
-1737.30200 135816183.98000 25844967.08200 58.72900
1268.23300 140675445.39500 26769658.08800 56.69500
965.01900 133980148.76500 25495582.92000 57.34000
140.64900 139936531.16800 26629047.46500 57.19000
03 06 20 09 20 0.0000000 0 9E11E12E18E19E25E26E32E33E34
-746.46900 124385746.71300 23669825.75500 61.88800
-2443.46900 140602593.30200 26755793.64400 56.74200
2794.59500 143569455.82600 27320368.13500 54.15900
1601.39400 125717316.36600 23923215.35400 60.06300
-840.58600 136854690.81900 26042589.30000 59.18200
-1716.77500 136334467.66800 25943593.19700 59.15200
1329.01000 140285868.08400 26695523.99000 56.95400
983.61900 133687787.05200 25439948.33300 57.39600
107.44200 139899245.83900 26621952.30500 57.21500
03 06 20 09 25 0.0000000 0 9E11E12E18E19E25E26E32E33E34
-875.91400 124629135.31600 23716141.05700 61.45400
-2504.22500 141344882.10900 26897046.50800 56.25700
2768.54400 142734842.60200 27161546.50900 55.05600
1490.78900 125253386.77500 23834932.49300 60.42000
-887.28200 137114045.33500 26091942.83100 59.19700

```

-1690.73100	136845762.13300	26040889.30100	59.18100
1388.08700	139878306.24200	26617967.54500	57.23000
997.54100	133390542.74700	25383384.64300	57.85500
69.42000	139872646.96900	26616890.70000	57.23300
03 06 20 09 30 0.0000000 0 9E11E12E18E19E25E26E32E33E34			
-1002.97200	124911010.36500	23769780.10000	60.97400
-2559.27400	142104545.64300	27041605.67400	55.74400
2736.58100	141908933.02100	27004381.14000	55.89800
1375.97700	124823279.90600	23753085.88100	61.12200
-928.06300	137386524.01600	26143793.80000	59.01700
-1659.36700	137348441.50100	26136546.00700	59.04600
1445.18300	139453311.94700	26537093.81300	57.52200
1006.60500	133089846.63900	25326164.05400	58.43800
26.67000	139858166.72400	26614135.20200	57.24300
03 06 20 09 35 0.0000000 0 9E11E12E18E19E25E26E32E33E34			
-1127.18600	125230586.70700	23830593.47000	60.45500
-2608.53600	142879859.16900	27189142.93400	54.89900
2698.72500	141093498.25400	26849209.06000	56.42000
1257.34600	124428200.18000	23677904.71000	61.81100
-962.86600	137670342.42700	26197802.64100	58.80300
-1622.89400	137840941.11900	26230265.56800	58.67700
1500.01600	139011521.93000	26453023.96300	57.83100
1010.64400	132787181.49900	25268568.80800	59.03200
-20.70200	139857208.24400	26613952.79500	57.24400
03 06 20 09 40 0.0000000 0 9E11E12E18E19E25E26E32E33E34			
-1248.12000	125586945.20400	23898406.22600	60.00700
-2651.95300	143669077.55000	27339326.19400	54.01600
2655.01400	140290300.87600	26696365.67500	56.95100
1135.30800	124069232.11500	23609595.36100	61.89400
-991.65300	137963700.83700	26253626.89400	58.58600
-1581.53200	138321761.05700	26321762.55900	58.32400
1552.30700	138553656.99300	26365895.17200	58.15700
1009.50900	132484077.54400	25210890.04900	59.63500
-72.56400	139871138.83200	26616603.71600	57.23400
03 06 20 09 45 0.0000000 0 9E11E12E18E19E25E26E32E33E34			
-1365.36200	125979039.50800	23973019.29700	60.17200
-2689.49600	144470442.52800	27491820.89500	52.64600
2605.51300	139501088.06700	26546183.49000	57.48800
1010.29900	123747333.00600	23548340.00400	61.64200
-1014.41000	138264791.74300	26310922.59000	58.36500
-1535.51300	138789469.27800	26410764.47700	57.98700
1601.77900	138080521.26500	26275860.43800	58.50100
1003.06800	132182107.31500	25153427.02300	59.87100
-128.76500	139901283.32500	26622340.00300	57.21400
03 06 20 09 50 0.0000000 0 9E11E12E18E19E25E26E32E33E34			
-1478.52600	126405703.51600	24054210.75200	60.49600
-2721.15400	145282189.85600	27646291.25700	51.28300
2550.30800	138727584.76700	26398990.70300	58.03200
882.77400	123463326.49600	23494295.35100	60.73800
-1031.14600	138571807.00600	26369345.64800	58.14300
-1485.07700	139242704.28100	26497012.22600	57.66800
1648.16000	137593001.34700	26183088.46100	58.86300
991.20600	131882880.40600	25096486.02300	59.99100
-189.12700	139948917.34600	26631404.44800	57.18100
03 06 20 09 55 0.0000000 0 9E11E12E18E19E25E26E32E33E34			
-1587.25500	126865659.50100	24141737.45900	61.13900
-2746.94000	146102556.20000	27802401.81000	49.92700
2489.50900	137971486.06100	26255109.91000	58.58100
753.20500	123217896.86700	23447591.66100	59.41700
-1041.89500	138882944.85500	26428553.21900	57.92000
-1430.47000	139680177.74800	26580260.65700	57.36500
1691.18100	137092065.03900	26087763.47100	59.19600
973.82900	131588037.64400	25040379.31500	60.11100
-253.45700	140015260.79500	26644029.20100	57.13600