

# ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ



Τμήμα Ψηφιακών Συστημάτων

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ : « ΨΗΦΙΑΚΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΑ »

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

*« Μελέτη βελτίωσης της ακρίβειας & ασφάλειας πλοήγησης με  
χρήση του Ευρωπαϊκού Δορυφορικού Συστήματος EGNOS »*



=====

=====

=====

=====

Όνοματεπώνυμο : ΛΑΡΕΝΤΖΑΚΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ  
( ΜΕ / 07059 )

Επιβλέπων : Αναπλ. Καθ. *Αθαν. Κανάτας*

ΠΕΙΡΑΙΑΣ , 2010.

## Τίτλος Μεταπτυχιακής Εργασίας

**« Μελέτη βελτίωσης της ακρίβειας & ασφάλειας πλοήγησης με χρήση του Ευρωπαϊκού Δορυφορικού Συστήματος EGNOS »**

### **α ). Πρόλογος**

Η εργασία αυτή έγινε με στόχο την κατανόηση των τρόπων για ακριβέστερο προσδιορισμό της θέσης --σε "πραγματικό" χρόνο--, οχημάτων, τρένων, πλοίων, αεροπλάνων, η πεζών εφοδιασμένων με κατάλληλες συσκευές παγκόσμιου εντοπισμού θέσης ( αναβαθμισμένα GPS ). Στην προσπάθεια αυτή, γίνεται συγκέντρωση και παράθεση κανονισμών διεθνών οργανισμών, δημοσιευμένων ερευνητικών αναφορών, θεωρητικών προσεγγίσεων και πειραματικών αποτελεσμάτων και καταγραφών ιδιωτικών, κρατικών αλλά και διακρατικών Ευρωπαϊκών φορέων και ινστιτούτων. Η μεθοδολογία για την επαύξηση της ακρίβειας υπολογισμού της πραγματικής θέσης, ταχύτητας και κατεύθυνσης, ενσωματώνει πολυκανναλικούς δορυφορικούς δέκτες σε επίγειους δορυφορικούς σταθμούς, που επεξεργάζονται ( προς το παρόν ) σήματα του Αμερικανικού συστήματος δορυφόρων GPS, και του Ρωσικού συστήματος δορυφόρων GLONASS. Τα σήματα αυτά αποστέλλονται σε κέντρα συγκέντρωσης, επεξεργασίας, διαχείρισης και αποστολής δεδομένων, που με την χρήση τριών Ευρωπαϊκών δορυφόρων, διανέμουν πλέον τα επεξεργασμένα δεδομένα στις αναβαθμισμένες συσκευές εντοπισμού θέσης (GPS με EGNOS). Αυτές με την σειρά τους, αναλαμβάνουν και αποκωδικοποιούν συμπληρωματικά μαζί με τα σήματα του Αμερικανικού συστήματος GPS ή του Ρωσικού συστήματος GLONASS και τα λαμβανόμενα σήματα του Ευρωπαϊκού συστήματος EGNOS. Οι συσκευές αυτές που είναι εφοδιασμένες με τη δυνατότητα αποκωδικοποίησης των σημάτων και δεδομένων της Ευρωπαϊκής υπηρεσίας του EGNOS ( European Geostationary Navigation Overlay Service ), πραγματοποιούν διόρθωση θέσης, τόσο ακριβέστερα και ασφαλέστερα, όσο περισσότεροι είναι οι επίγειοι σταθμοί υποστήριξης της υπηρεσίας αυτής. Ο ακριβέστερος και ταχύτερος προσδιορισμός θέσης, έχει σαν αποτέλεσμα την βελτίωση της ασφάλειας πλοήγησης, ειδικά σε συστήματα που εμπλέκουν ανθρώπινες ζωές και πρέπει να διασφαλίζουν την ακεραιότητα της ζωής των μετακινουμένων ατόμων ( life critical systems ).

### **β ). Ευχαριστίες**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλαν με οποιονδήποτε τρόπο στη προσπάθειά μου για παρακολούθηση του μεταπτυχιακού προγράμματος που έχει σαν αποτέλεσμα και κατάληξη, την συγγραφή αυτής της μεταπτυχιακής διπλωματικής μου εργασίας.

Ειδικότερα θα ήθελα να ευχαριστήσω :

**α) όλους ανεξαιρέτως τους μεταπτυχιακούς συμφοιτητές μου** για την επί τέσσερα εξάμηνα εποικοδομητική συνεργασία μας σε όλα τα αντικείμενα του μεταπτυχιακού προγράμματος,

β) όλους τους διδάσκοντες στο μεταπτυχιακό πρόγραμμα καθηγητές μου (*Αθ.Κανάτα, Γ.Ευθύμογλου, Γ.Πάντο, Π.Δεμέστιχα, Γ.Δημητρακόπουλο, Κ.Τσαγκάρη, Ν.Μ.Σγούρο, Δ.Αδαμόπουλο, Βερ.Σταυρουλάκη, Μαρ.Θεμιστοκλέους, Φλ.Μαλαματένιου, Μικ.Πουλημενοπούλου, Απ.Μηλιώνη, Σωκ.Κάτσικα, Χ.Ξενάκη, Κ.Λαμπρινουδάκη, Ι.Παραβάντη*), για την ευρύτητα γνώσεων που μου μετέδωσαν κατά την καθημερινή παρακολούθηση των μαθημάτων τους,

γ) *όλο το γραμματειακό προσωπικό* του μεταπτυχιακού, για τις συμβουλές και την διοικητική υποστήριξή του,

δ) τον επιβλέποντα, προσηνή, φιλικό και ακούραστο καθηγητή μου *Αθανάσιο Κανάτα*, που με τις συμβουλές, επίβλεψη και καθοδήγησή του, έγινε εφικτή η συγγραφή αυτής της εργασίας.

ε) τον οξυδερκή, προνοητικό και οραματιστή Γενικό Διευθυντή Αεροναυτιλίας της Υπηρεσίας Πολιτικής Αεροπορίας Ελλάδος *Κο Μαρίνο Κάρδαρη*, που με παρότρυνε να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο σύστημα – υπηρεσία (EGNOS) πριν αυτό γίνει αποδεκτό, πιστοποιηθεί και εφαρμοστεί για αξιόπιστη, απαιτητική και ασφαλή Αεροπορική πλοήγηση.

ζ) *την γυναίκα μου Βασιλική και την κόρη μου Στέλλα*, που επί δύο και πλέον χρόνια υπομένουν καρτερικά και ανέχονται την καθημερινή, πολύωρη, απουσία μου από το σπίτι, επωμιζόμενες όλες τις οικιακές υποχρεώσεις που δημιουργούνται λόγω της ελάχιστης συμμετοχής μου στις οικογενειακές ενασχολήσεις.

### **γ). Αφιέρωση**

Η μεταπτυχιακή αυτή εργασία αφιερώνεται στην καλοσυνάτη σύντροφο στη ζωή και *γυναίκα μου Βασιλική*, και στην αξιαγάπητη *κόρη μας Στέλλα*, που προετοιμάζεται και αυτή σκληρά για να πετύχει στον Πανεπιστημιακό στίβο, δίνοντας Πανελλήνιες εξετάσεις το καλοκαίρι του 2010.

### **δ). Π Ε Ρ Ι Ε Χ Ο Μ Ε Ν Α**

- 1. Σύντομογραφίες – Επεξηγήσεις**
- 2. Ιστορική αναδρομή**
- 3. Μέθοδοι και όργανα εντοπισμού θέσης ανά τους αιώνες**
- 4. Η σημερινή πραγματικότητα του GPS**
- 5. Το Αμερικανικό σύστημα GPS**
- 6. Τα χαρακτηριστικά των σημάτων του Αμερικανικού GPS**
- 7. Η σύνθεση των σημάτων L1 και L2 του GPS**
- 8. Το Ρωσικό σύστημα GLONASS**
- 9. Αρχές λειτουργίας του συστήματος GLONASS**
- 10. Αναγνώριση των δορυφόρων GPS και GLONASS**
- 11. Πληροφορίες εκπεμπόμενες από δορυφόρους GPS - GLONASS – GALLILEO**

12. Πηγές λαθών των συστημάτων GPS–GLONASS-GALILEO
13. Γενικά για το σύστημα GNSS και το GALILEO
14. Τα σήματα του GALILEO
15. Ένταξη της Ελλάδος στην Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Διαστήματος ( ESA )
16. Τι είναι η υπηρεσία του συστήματος EGNOS
17. Άλλες παγκόσμιες υπηρεσίες( συστήματα ) βελτίωσης της ακρίβειας και διαθεσιμότητας των δορυφορικών συστημάτων πλοήγησης.
18. Τοπικό Σύστημα Βελτίωσης Προσδιορισμού Θέσης (LAAS)
19. Σύγκριση ακρίβειας συστημάτων προσδιορισμού θέσης
20. Συστήματα πλοήγησης και εντοπισμού επόμενης γενεάς (Next Generation systems )
21. Φέρον Δυαδικής Μετάθεσης 1.1( Binary Offset Carrier 1.1 )
22. Η Εποπτική Αρχή του Ευρωπαϊκού GNSS ( GSA)
23. Η οργανωτική δομή της Υπηρεσίας του EGNOS
24. Οι επίγειες εγκαταστάσεις του συστήματος EGNOS
25. Περιοχές μελλοντικής επέκτασης του EGNOS
26. Η συμμετοχή της Ελλάδος στο EGNOS και GALILEO
27. Δομή ενός σταθμού RIMS του EGNOS
28. Οφέλη από την εφαρμογή του EGNOS στην Αεροναυτιλία
29. Βιβλιογραφία

#### 1. Συντομογραφίες - Επεξηγήσεις

- UTC : Universal Time Co-ordinated ( Παγκόσμιος Συγχρονισμένος Χρόνος )
- ENT : Egnos Network Time ( Δικτυακός Χρόνος του συστήματος EGNOS )
- GNSS : Global Navigation Satellite System ( Παγκόσμιο Σύστημα Δορυφορικής Πλοήγησης )
- NAVSTAR : Navigation Signal Timing and Ranging ( Σήμα Ναυσιπλοΐας για Χρονισμό και εύρεση Απόστασης )
- SBAS : Satellite Based Augmentation System ( Σύστημα Βελτίωσης Βασισμένο σε Δορυφόρους )
- MCC : Master Control Center ( Κύριο Κέντρο Ελέγχου )

- CCF : **C**entral **C**omputer **F**acilities ( Κεντρικά Υπολογιστικά Συστήματα)
- LME : **L**ocal **M**aintenance **E**quipment ( Τοπικό Σύστημα Συντήρησης )
- GALILEO : Ευρωπαϊκό σύστημα εντοπισμού θέσης ( Προς τιμήν του Ιταλού αστρονόμου Galileo Galilei )
- GIOVE : **G**eostationary **I**n **O**rbit **V**alidation **E**quipment ( Γεωστατική Συσκευή Αξιολόγησης σε Τροχιά )
- ARTEMIS : **A**dvanced **R**elay **T**echnology **M**ission ( Γεωστατικός Δορυφόρος Πλοήγησης)
- GSA : **G**alileo **S**upervisory **A**uthority ( Ευρωπαϊκή Εποπτική Αρχή των συστημάτων EGNOS και GALILEO )
- EGNOS : **E**uropean **G**eostationary **N**avigation **O**verlay **S**ervice ( Ευρωπαϊκή Γεωστατική Υπηρεσία Υπερτιθέμενης Πλοήγησης )
- GPS : **G**lobal **P**ositioning **S**ystem ( Αμερικανικό σύστημα εντοπισμού θέσης)
- DGPS : **D**ifferential **G**lobal **P**ositioning **S**ystem ( Διαφορικό Σύστημα Παγκόσμιου Εντοπισμού Θέσης )
- WAAS : **W**ide **A**rea **A**ugmentation **S**ystem ( Αμερικανικό σύστημα βελτίωσης του GPS αντίστοιχο του Ευρωπαϊκού EGNOS )
- IRNSS : **I**ndian **R**egional **N**avigational **S**atellite **S**ystem ( Ινδικό σύστημα εντοπισμού θέσης )
- GAGAN : **G**PS **A**ided **G**eo **A**ugmented **N**avigation ( Ινδικό σύστημα βελτίωσης του Ινδικού IRNSS)
- MTSAS : **M**ultifunctional **T**ransport **S**atellites **S**ystem ( Ιαπωνικό σύστημα εντοπισμού στίγματος )
- MSAS : **M**ulti-functional **S**atellite **A**ugmentation **S**ystem ( Ιαπωνικό σύστημα βελτίωσης στίγματος του Ιαπωνικού MTSAS )
- GLONASS : **G**LObal **N**avigation **S**atellite **S**ystem ( Ρωσικό σύστημα εντοπισμού )
- COMPASS : ( Beidou) ( Κινεζικό σύστημα εντοπισμού θέσης )
- ETG : **E**uropean **T**ripartite **G**roup
- ESA : **E**uropean **S**pace **A**gency ( Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Διαστήματος )
- ESSP : **E**uropean **S**atellite **S**pace **P**rovider ( Ευρωπαϊκός Πάροχος Διαστημικών Δορυφόρων ).
- EOIG : **E**uropean **O**perators and **I**nfrastucture **G**roup ( Ευρωπαϊκός Όμιλος Υποδομών και Επιχειρησιακών Χειριστών )
- GMES : **G**lobal **M**onitoring **E**nviroment **S**ystem ( Παγκόσμιο [Δορυφορικό] Σύστημα Επιτήρησης [και Ασφάλειας] Περιβάλλοντος )
- Υ.Π.Α. : **Υ**πηρεσία **Π**ολιτικής **Α**εροπορίας
- LAAS : **L**ocal **A**rea **A**ugmentation **S**ystem ( Τοπικό Σύστημα Βελτίωσης του εντοπισμού θέσης )

PDOP	: <b>P</b> osition <b>D</b> ilution <b>O</b> f <b>P</b> recision (Θέσης Μειωμένης Ακρίβειας)
SOG	: <b>S</b> peed <b>O</b> ver <b>G</b> round
COG	: <b>C</b> ourse <b>O</b> ver <b>G</b> round
MIT	: <b>M</b> assachusetts <b>I</b> nstitute of <b>T</b> echnology (Τεχνολογικό Ινστιτούτο Μασαχουσέτης)
GRS-80	: <b>G</b> eodetic <b>R</b> eference <b>S</b> ystem <b>1980</b> (Γεωδετικό Σύστημα Αναφοράς 1980)
WGS-84	: <b>W</b> orldwide <b>G</b> eodetic <b>S</b> ystem <b>1984</b> (Παγκόσμιο Γεωδετικό Σύστημα 1984)
SA	: <b>S</b> elective <b>A</b> vailability (Επιλεκτική Διαθεσιμότητα)
PRN	: <b>P</b> seudo - <b>R</b> andom <b>N</b> umber (Ψευδοτυχαίος Αριθμός)
TEC	: <b>T</b> otal <b>E</b> lectron <b>C</b> ontent (Ολική Περιεκτικότητα Ηλεκτρονίων)
RIMS	: <b>R</b> anging and <b>I</b> ntegrity <b>M</b> onitoring <b>S</b> tation (Σταθμός ελέγχου απόστασης και ακεραιότητας της πληροφορίας)
SISNeT	: <b>S</b> ignal- <b>I</b> n- <b>S</b> pace through <b>I</b> nternet
BOC	: <b>B</b> inary <b>O</b> ffset <b>C</b> arrier (Φέρον Δυαδικής Μετάθεσης)
TLM	: <b>T</b> elemetry (Τηλεμετρία)
HOW	: <b>H</b> and <b>O</b> ver <b>W</b> ord
ILS	: <b>I</b> nstrument <b>L</b> anding <b>S</b> ystem (Σύστημα Προσγείωσης με Όργανα)
GBAS	: <b>G</b> round <b>B</b> ased <b>A</b> ugmentation <b>S</b> ystem ("Επίγειο Σύστημα Βελτιωμένης Προσγείωσης")
NDB	: <b>N</b> avigational <b>D</b> irectional <b>B</b> eacon (Κατευθυντικός Ραδιοφάρος)
DME	: <b>D</b> istance <b>M</b> easurement <b>E</b> quipment (Συσκευή Μέτρησης Απόστασης)
VOR	: <b>V</b> ery high frequency (VHF) <b>O</b> mnidirectional <b>R</b> ange (Πολύ Υψηλής Συχνότητας Πανκατευθυντικός Αεροναυτιλιακός Ραδιοφάρος)
MLS	: <b>M</b> icrowave <b>L</b> anding <b>S</b> ystem (Μικροκυματικό Σύστημα Προσγείωσης)
RPS	: <b>R</b> elativistic <b>P</b> ositioning <b>S</b> ystems (Συσχετιζόμενα Συστήματα Εντοπισμού)
ADS-B	: <b>A</b> utomatic <b>D</b> ependent <b>S</b> urveillance <b>B</b> roadcast (Αυτόματη Εκπομπή Ανεξάρτητης Παρακολούθησης)
MEDA	: <b>M</b> editerranean <b>E</b> conomic <b>D</b> evelopment <b>A</b> rea
TWAN	: <b>T</b> ransport <b>W</b> ide <b>A</b> rea <b>N</b> etwork (Δίκτυο Μεταφοράς Ευρείας Περιοχής)

## 2. Ιστορική αναδρομή

Σύμφωνα με τα μέχρι τώρα ευρήματα οι αρχαίοι Έλληνες είχαν δημιουργήσει το δικό τους GPS (Σύστημα Παγκόσμιου Εντοπισμού Θέσης). Πρόκειται για τον πολύ γνωστό σε όλους Μηχανισμό των Αντικυθήρων, ο οποίος μπορούσε να προσδιορίζει το

γεωγραφικό μήκος κάθε περιοχής και να χρησιμεύει στη δημιουργία αξιόπιστων χαρτών από τον 2ο αιώνα π.Χ. Δεδομένου ότι εκείνη την εποχή δεν υπήρχε ούτε το Γκρίνουιτς ούτε ο Ισημερινός, οι Έλληνες αστρονόμοι είχαν προσδιορίσει έναν μεσημβρινό ο οποίος διερχόταν από τη Ρόδο και την Αλεξάνδρεια και ο οποίος χρησιμοποιείτο για να υπολογίζεται η απόσταση και η θέση διαφόρων προορισμών.



Σύμφωνα με τον διευθυντή του Εργαστηρίου Αστροφυσικής του Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών, Αν. Καθηγητή Ξενοφώντα Μουσά, με τον τρόπο αυτό και με τον Μηχανισμό των Αντικυθήρων, δημιουργούνταν αξιόπιστοι χάρτες που περιλάμβαναν νέες περιοχές. Ο Μηχανισμός μπορούσε να προσδιορίζει το γεωγραφικό μήκος διαφόρων περιοχών αξιοποιώντας την εύρεση της θέσης της Σελήνης στον ουρανό.

Πιο συγκεκριμένα, όταν ένα πλοίο ξεκινούσε από τη Ρόδο με σκοπό να μετρήσει το γεωγραφικό μήκος στις Συρακούσες ή στο Γιβραλτάρ, ο πλοηγός όριζε στον μηχανισμό τη θέση της Σελήνης όπως αυτή φαινόταν στον ουρανό της περιοχής απ' όπου σάλπαρε, δηλαδή τη Ρόδο. Έβρισκε λοιπόν τη θέση της Σελήνης σε σχέση με τη θέση κάποιου λαμπρού αστεριού που εκείνη την ώρα έβλεπε. Όταν έπειτα από λίγες ημέρες το πλοίο βρισκόταν στις Συρακούσες ή στο Γιβραλτάρ, ο πλοηγός μετρούσε τη διαφορά θέσης της Σελήνης ανάμεσα στην πρόβλεψη του μηχανισμού, που τους έδειχνε πού είναι η Σελήνη στη Ρόδο και την πραγματική θέση της Σελήνης που έβλεπαν στον ουρανό. Από τη διαφορά που προέκυπτε καθόριζε το γεωγραφικό μήκος της περιοχής όπου βρισκόταν.

Ο μηχανισμός των Αντικυθήρων χρονολογείται μεταξύ του 150 π.Χ. και του 100 π.Χ. και ανακαλύφθηκε σε αρχαίο ναυάγιο ανοιχτά του νησιού Αντικύθηρα (ανάμεσα στα Κύθηρα και την Κρήτη). Πρόκειται για την αρχαιότερη σωζόμενη διάταξη με γρανάζια (30 ή 32) και είναι φτιαγμένος από μπρούντζο σε ένα ξύλινο πλαίσιο. Χρησιμοποιήθηκε για τον καθορισμό των θέσεων της Σελήνης και των πέντε γνωστών την εποχή εκείνη πλανητών, μέσα στον χρόνο. Από την ανακάλυψη του, οι μελετητές προσπάθησαν να ανακαλύψουν τα μυστικά που κρύβει η αρχαία συσκευή χρησιμοποιώντας ακτίνες Χ, προκειμένου να «κοιτάξουν» στα ενδότερα του μηχανισμού του οποίου η κατασκευή αποδίδεται στον Ίππαρχο. Βέβαια, η θεωρία και η επιστημονική έρευνα που οδήγησε στην κατασκευή του, αποδίδεται στον Αρχιμήδη, έναν από τους μεγαλύτερους αρχαίους Έλληνες μαθηματικούς και όχι μόνο.

Πρόσφατα, επιστήμονες, αφού μελέτησαν τον μηχανισμό των Αντικυθήρων, κατάφεραν να ανακατασκευάσουν τον αρχαίο μηχανισμό, χρησιμοποιώντας τα ίδια υλικά. Για πρώτη φορά, μετά από περισσότερα από 2.000 χρόνια, παρουσιάστηκαν όλα τα κύρια χαρακτηριστικά και οι λειτουργίες του αρχαίου μηχανισμού των Αντικυθήρων.

### 3. Μέθοδοι και όργανα εντοπισμού θέσης ανά τους αιώνες

Τα σημεία του ορίζοντα, ή ακόμη και οι αστέρες, χρησιμοποιούνταν από την Αρχαιότητα για τον προσανατολισμό των ανθρώπων. Ένα σταθερό άστρο στον ουρανό, με γνωστή γεωγραφική θέση ως προς το σημείο παρατήρησης, αποτελούσε σημείο αναφοράς και βοηθούσε τους ανθρώπους στο να βρουν τη σωστή πορεία τους. Το γεγονός π.χ. ότι ο Πολικός Αστέρας είναι ευθυγραμμισμένος σχεδόν τέλεια με τον άξονα της γής και δεν φαίνεται να μετακινείται ( με την περιστροφή της γής ), αποτελούσε γνωστό σημείο αναφοράς κατά την αρχαιότητα .

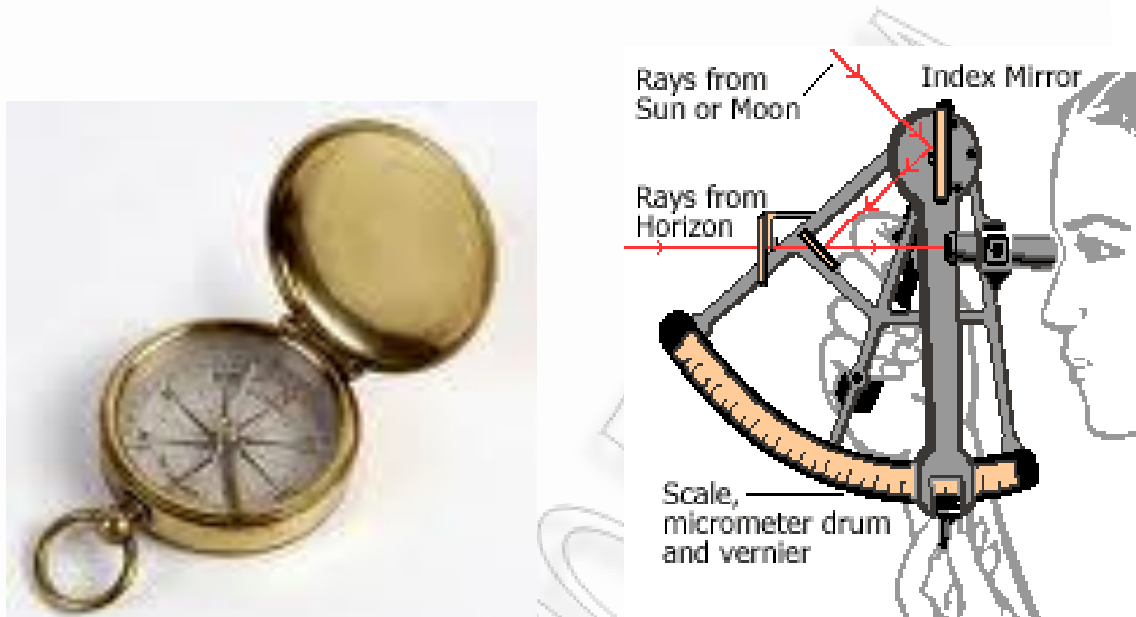


Στη ανωτέρω πολύωρη λήψη φωτογραφίας, φαίνεται καθαρά ο Πολικός Αστέρας ακίνητος στο κέντρο της φωτογραφίας, ενώ όλοι οι άλλοι αστέρες διαγράφουν μικρή κυκλική τροχιά.

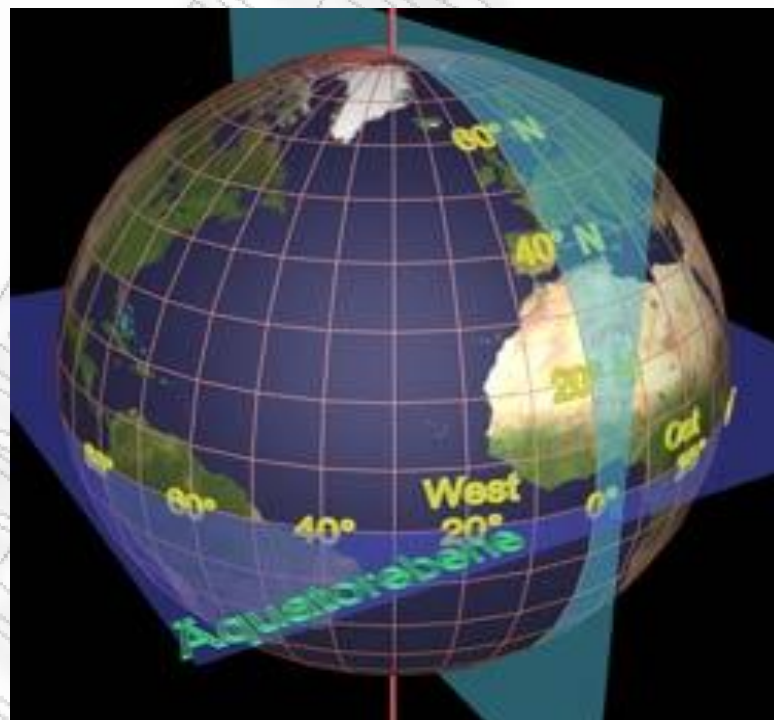
Στον προσανατολισμό συνέβαλαν αργότερα και άλλα μέσα, όπως η πυξίδα και ο εξάντας. Ωστόσο ο εξάντας στην πρώιμη μορφή του είχε τη δυνατότητα να παράσχει



πληροφορίες μόνο για το Γεωγραφικό Πλάτος και όχι για το Γεωγραφικό Μήκος, γεγονός που αποτελούσε ένα σημαντικό μειονέκτημα, ιδιαίτερα για τους ναυτικούς.



Όργανα ναυσιπλοίας & προσδιορισμού στίγματος (θέσης) [ Αριστερά η πυξίδα και δεξιά ο εξάντας ]

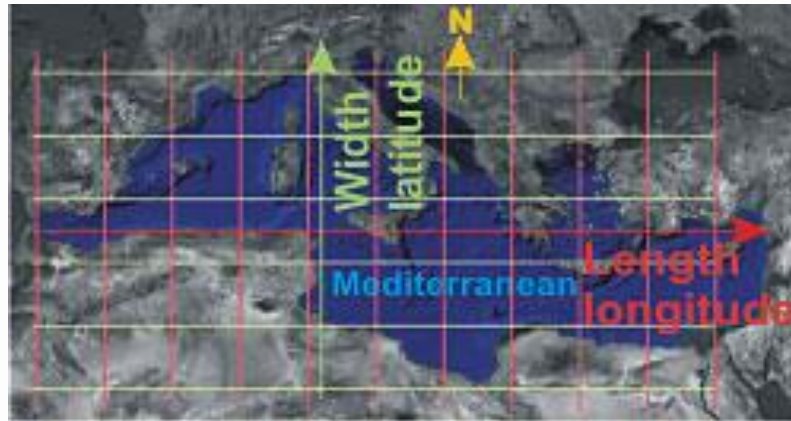


Η Γή με τους κύκλους του Γεωγραφικού Πλάτους και Μήκους

Τον 17ο αιώνα το Ηνωμένο Βασίλειο συννέστησε ένα συμβούλιο επιστημόνων, το οποίο θα επιβράβευε χρηματικά όποιον θα μπορούσε να εφεύρει ένα όργανο, το οποίο θα

« Μελέτη βελτίωσης της ακρίβειας & ασφάλειας πλοήγησης με χρήση του Ευρωπαϊκού Δορυφορικού Συστήματος EGNOS »

επέτρεπε τον ακριβή υπολογισμό και των δύο γεωγραφικών συντεταγμένων, δηλαδή μήκους και πλάτους ( longitude και latitude ) .



Εδώ θα πρέπει να ειπωθεί ότι η καταγωγή των αγγλικών λέξεων του μήκους και του πλάτους βρίσκεται στην Μεσόγειο θάλασσα. Το μήκος ( length or longitude ) προέρχεται από την λέξη του μήκους ( longness ) της Μεσογείου θάλασσας , ενώ το πλάτος ( latitude ) προέρχεται επίσης από το μέγεθος του πλάτους ( latter , lateral ) της θάλασσας αυτής. Επειδή κατά τον τότε γνωστό κόσμο ( κατά την αρχαιότητα ), η Μεσόγειος εκτεινόταν από την Ανατολή έως την Δύση και από τον Βορρά έως τον Νότο , το μήκος και το πλάτος αυτής της θάλασσας καθόρισαν και τις ονομασίες του μηκών ( longitudes ) και των πλατών ( latitudes ), των περιοχών και πόλεων γύρω από τα παράλια της θάλασσας αυτής.

Το 1761 ο Άγγλος ωρολογοποιός John Harrison, ύστερα από προσπάθειες δώδεκα ετών, κατασκεύασε ένα όργανο, το οποίο δεν ήταν άλλο από το γνωστό σημερινό **χρονόμετρο**.

Σε συνδυασμό με τον **εξάντα**, το **χρονόμετρο** επέτρεπε τον υπολογισμό του στίγματος των πλοίων με εξαιρετική ακρίβεια (για τα δεδομένα της εποχής).

Πέρασαν αρκετά χρόνια μέχρι να δημιουργηθούν τα πρώτα συστήματα εντοπισμού θέσης που βασίζονταν σε ηλεκτρομαγνητικά κύματα (**πομποί – δέκτες, radar**), στα μέσα του 20ου αιώνα. Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιήθηκαν ευρύτατα κατά τη διάρκεια του Δευτέρου Παγκοσμίου Πολέμου (και χρησιμοποιούνται ακόμη). Τα συστήματα εντοπισμού θέσης της εποχής εκείνης αποτελούνταν από ένα δίκτυο σταθμών (πομπών) βάσης και κατάλληλους δέκτες. Ανάλογα με την ισχύ του σήματος που λάμβανε κάθε δέκτης από σταθμούς ( πομπούς ) γνωστής γεωγραφικής θέσης , σχηματίζονταν δύο ή περισσότερες συντεταγμένες, μέσω των οποίων προσδιοριζόταν η θέση των σημείων ενδιαφέροντος επάνω σε ένα χάρτη. Στην περίπτωση αυτή, όμως, υπήρχαν δύο διαφορετικά προβλήματα:

- Στην πρώτη περίπτωση η χρήση σταθμών βάσης, που θα εξέπεμπαν σήμα σε υψηλή συχνότητα, διέθεταν μεν υψηλή ακρίβεια εντοπισμού , αλλά είχαν μικρή εμβέλεια.
- Στη δεύτερη περίπτωση συνέβαινε το ακριβώς αντίθετο, δηλαδή ο σταθμός βάσης χρησιμοποιούσε χαμηλή συχνότητα εκπομπής σήματος , προσφέροντας έτσι μεγαλύτερη εμβέλεια , αλλά η ακρίβεια εντοπισμού που παρείχε ήταν χαμηλή.

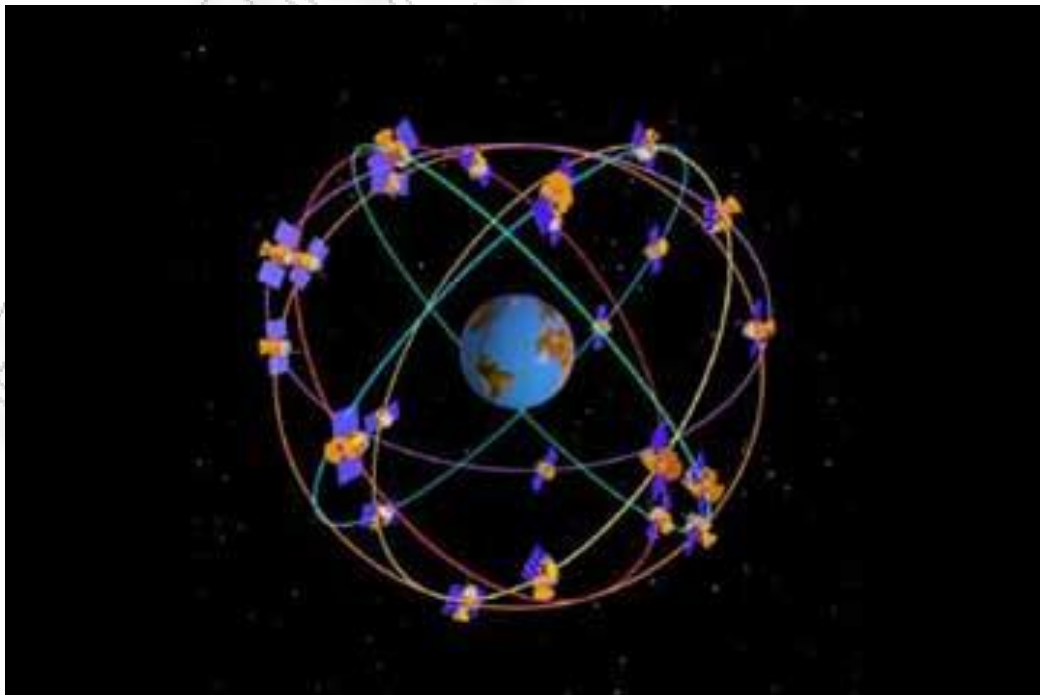
Έστω και με αυτά τα προβλήματα , η αρχή της χρήσης ραδιοκυμάτων για τον εντοπισμό της θέσης ενός σημείου είχε ήδη γίνει.

Το **Global Positioning System** στη σημερινή του μορφή βασίζεται σε παρεμφερή τεχνολογία. Συνδυάζει όλες τις μεθόδους που είχαν χρησιμοποιηθεί στον ουρανό, δηλαδή την τεχνολογία των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων καθώς και την παρατήρηση ενός – τεχνητού αυτή τη φορά- ουράνιου σώματος. Οι σταθμοί βάσης που λαμβάνουν και δέχονται τα απαραίτητα ηλεκτρομαγνητικά κύματα δεν είναι πλέον επίγειοι, αλλά εδρεύουν σε δορυφόρους. Ένα δίκτυο πολυάριθμων δορυφόρων που βρίσκεται σε σταθερή θέση γύρω από τον πλανήτη μας, δίνει την δυνατότητα στους δέκτες GPS να παρέξουν το ακριβές στίγμα ενός σημείου οπουδήποτε στον κόσμο.

Όταν, το 1957, πραγματοποιήθηκε η εκτόξευση του δορυφόρου **Sputnik**, οι άνθρωποι είχαν ήδη αντιληφθεί ότι ένα τεχνητό ουράνιο σώμα κοντά στη Γη είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί για να εντοπιστεί η θέση ενός σημείου πάνω στον πλανήτη. Αμέσως μετά την εκτόξευσή του, οι ερευνητές του Ινστιτούτου Τεχνολογίας της Μασαχουσέτης (MIT) διαπίστωσαν ότι το σήμα που λαμβανόταν από τον δορυφόρο αυξανόταν καθώς αυτός πλησίαζε προς το επίγειο σημείο παρατήρησης και μειωνόταν όταν ο δορυφόρος απομακρυνόταν από αυτό. Αυτό ήταν και το πρώτο βήμα για την υλοποίηση της τεχνολογίας που σήμερα αποκαλείται GPS (Global Positioning System). Με τον ίδιο τρόπο που η θέση ενός δορυφόρου μπορούσε να εντοπιστεί ανάλογα με την ισχύ του σήματος που λαμβάνεται από αυτόν, υπήρχε και η δυνατότητα να συμβεί το ακριβώς αντίθετο: Ο δορυφόρος να χρησιμοποιηθεί για να εντοπιστεί η θέση ενός σημείου με ιδιαίτερη ακρίβεια. Στην πραγματικότητα ένας δορυφόρος δεν είναι αρκετός για να υπάρξουν ακριβή αποτελέσματα, αλλά απαιτούνται τουλάχιστον τρεις όπως θα δούμε στη συνέχεια.

#### 4. **Η σημερινή πραγματικότητα του GPS**

Το όνομά του GPS προέρχεται από τα αρχικά των λέξεων Global Positioning System, το οποίο ουσιαστικά σημαίνει σύστημα προσδιορισμού θέσης (στίγματος) επί της επιφάνειας της γης ή κοντά σε αυτήν.



Από το 2011 ο αστερισμός του GLONASS θα περιλαμβάνει 27 ή 28 δορυφόρους

Η ιδέα του παγκόσμιου εντοπισμού θέσης ( GPS ), υλοποιείται με την ανάπτυξη και αρμονική λειτουργία τριών τομέων :

- του τομέα διαστήματος ( Δορυφόροι )
- του τομέα ελέγχου ( επίγειοι σταθμοί ελέγχου )
- του τομέα των δεκτών του χρήστη ( GPS των χρηστών )

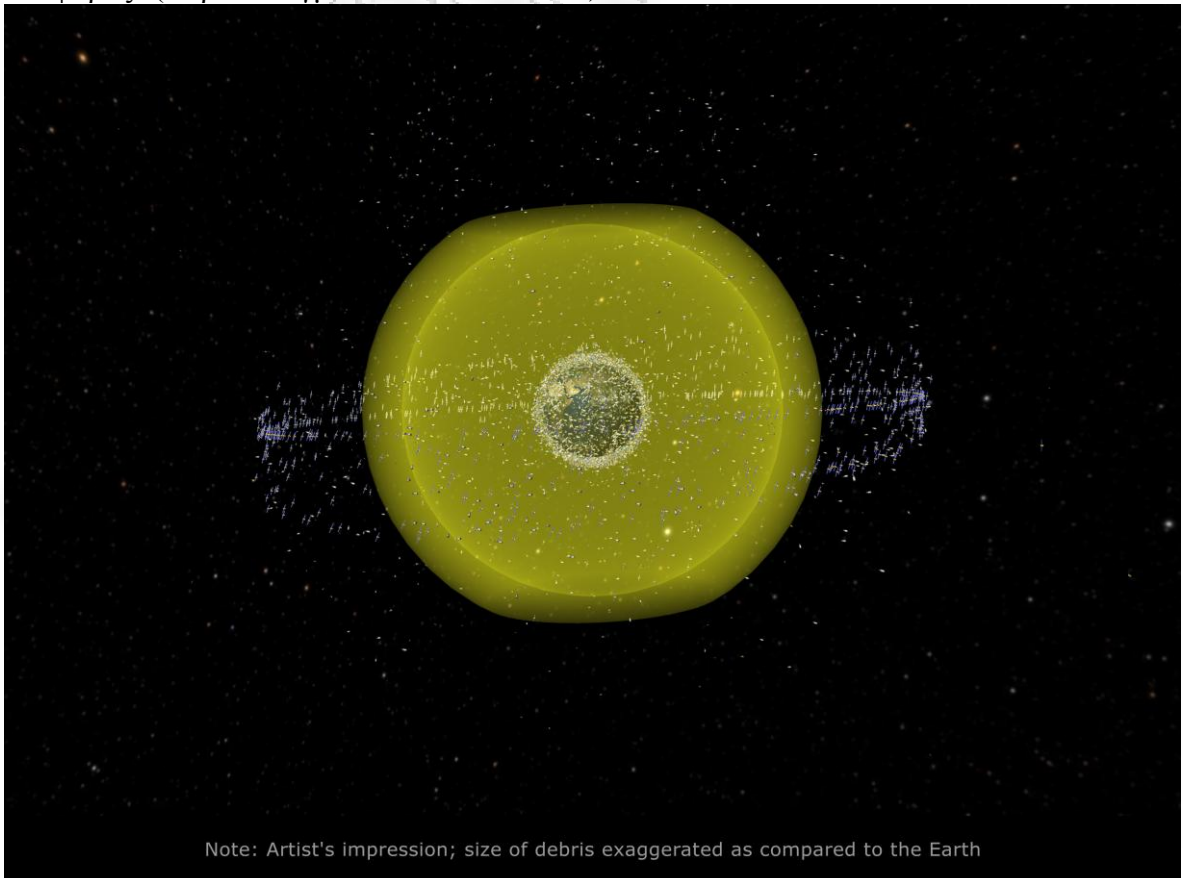
Αναφορικά με τον τομέα του διαστήματος ( Δορυφόροι ), στον πιο κάτω πίνακα δίνονται συνοπτικά κάποια χαρακτηριστικά των μέχρι σήμερα χρησιμοποιούμενων δορυφόρων :

<b>Τύποι Δορυφόρων του Αμερικανικού συστήματος GPS</b>									
<b>Χαρακτηριστικά</b>									
Τύπος ( Μοντέλο )	Βάρος (Κιλά)	Καύσιμο	Έλεγχος κάθε... (ημέρες)	Χρόνος ζωής (έτη)	Υψος (ναυτ.μ.)	Ανύψωση	Ισχύς εκπομπής (w)	Ατομικά Ρολόγια	Δυνατότητες -Χρήση-
Μοντέλο I	845	Υδραζίνη		13	10.900	63°	200	1 Καισίου & 2 ρουβιδίου	Πολιτική
Μοντέλο II	1500		- 14 για έλεγχο, - 180 για άντληση κενού της λυχνίας δέσμης καισίου, - 365 για διόρθωση θέσης	15	Σε 6 Διαφορετικά ύψη			2 Καισίου & 2 ρουβιδίου - Σταθερότητα 10-13 δευτερ.	Επιλεκτική Διαθεσιμότητα + εξαπάτηση -Στρατιωτική & Πολιτική -
Μοντέλο II A (Advanced)			- 180 για άντληση κενού της λυχνίας δέσμης καισίου, -365 για διόρθωση θέσης	15				2 Καισίου & 2 ρουβιδίου - Σταθερότητα 10-13 δευτερ.	
Μοντέλο II R (Replacement)			14, - 180	16			400	3 ρουβιδίου - Ακρίβεια +-1 δευτερ./10 <sup>6</sup> έτη	Δεύτερο Πολιτικό σήμα (L2C) και το Στρατιωτικό σήμα M στις συχνότητες L1 και L2. Χρήση επίσης της συχνότητας L5
Μοντέλο IIR -M ( Replacement- Modernized))	2.000						50	3 ρουβιδίου - Ακρίβεια +-1 δευτερ./10 <sup>6</sup> έτη	Δεύτερο Πολιτικό σήμα (L2C) και το Στρατιωτικό σήμα M στις συχνότητες L1 και L2. Χρήση επίσης της συχνότητας L5

Μοντέλο II F (Future)								hydrogen- maser clocks - Εξαιρετική ακρίβεια	Δεύτερο Πολιτικό σήμα (L2C) και το Στρατιωτικό σήμα M στις συχνότητες L1 και L2. Χρήση επίσης της συχνότητας L5
--------------------------	--	--	--	--	--	--	--	---	---

## 5. Το Αμερικανικό σύστημα GPS

Το Αμερικανικό GPS είναι ένα σύστημα που αποτελείται από 24 δορυφόρους που βρίσκονται σε τροχιά στο διάστημα, σε απόσταση 11 χιλιάδων ναυτικών μιλίων περίπου από τη γη ( 20.000 χιλιόμετρα περίπου ) και κινούνται σε 6 διαφορετικές τροχιές .Το GPS είναι μια συσκευή φαινομενικά απλή, φτηνή, και με μικρές διαστάσεις - ειδικά τα GPS χειρός είναι και πολύ "της μόδας" τελευταία. Για να δουλέψει η συσκευή GPS που έχουμε στο σκάφος ή που κρατάμε στο χέρι μας, έχουν δαπανηθεί εκατομμύρια δολάρια, ατέλειωτες ώρες σε εργαστήρια έρευνας, έχουν συνδυαστεί πολλές επιστήμες μαζί και έχουν σταλεί και στέλνονται ακόμα πολλές αποστολές στο διάστημα για να μεταφέρουν τους απαραίτητους δορυφόρους. Οι δορυφόροι αυτοί βρίσκονται διαρκώς σε κίνηση, κάνοντας 2 πλήρεις περιφορές γύρω από τη γη σε λιγότερο από 24 ώρες. Αν το υπολογίσουμε με μαθηματικά θα δούμε ότι η ταχύτητά τους φτάνει τα 1,8 μίλια το δευτερόλεπτο ( 3,24 χιλιόμετρα το δευτερόλεπτο ) Η μετάδοση από κάθε δορυφόρο πληροφοριών για την ακριβή ώρα και θέση του, επιτρέπει σε έναν κατάλληλο δέκτη (συσκευή GPS ) να υπολογίσει με τριγωνισμό τη δική του θέση, η οποία εμφανίζεται στην οθόνη του , εκφρασμένη σε συντεταγμένες ενός συγκεκριμένου γεωδαιτικού συστήματος αναφοράς ( προεπιλεγμένο το WGS 84 ).



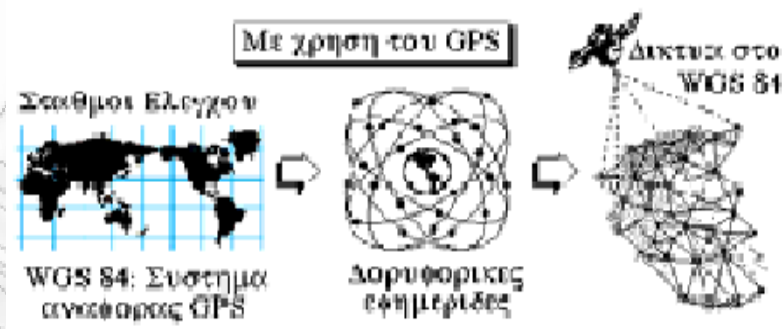
Οι διάφοροι υπολογισμοί που αφορούν τη χρήση του GPS αναφέρονται συνήθως στο γεωκεντρικό ελλειψοειδές που σχετίζεται με το **Παγκόσμιο Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς WGS-84** (*World Geodetic System 1984*). Το WGS-84 είναι ένα γήινο σύστημα αναφοράς, το οποίο έχει ορισθεί με βάση τις μηχανικές ιδιότητες της Γης και η υλοποίηση του έχει επιτευχθεί σαν αποτέλεσμα παρατηρήσεων διαφόρων δορυφόρων με τη μέθοδο μετρήσεων Doppler. Συγκεκριμένα, το WGS-84 ορίζεται ως εξής:

- Η αρχή του συστήματος των καρτεσιανών συντεταγμένων είναι το κέντρο της Γης.
- Ο άξονας Z είναι παράλληλος προς την διεύθυνση του μέσου(συμβατικού) γήινου πόλου (όπως ορίζεται από το *Bureau International de l'Heure, BIH*).
- Ο άξονας X ορίζεται σαν η τομή του μεσημβρινού Greenwich και του ισημερινού που αντιστοιχεί στο μέσο γήινο πόλο.
- Ο άξονας Y ορίζεται ώστε να συμπληρώνεται ένα δεξιόστροφο ορθογώνιο σύστημα.

Αντίστοιχα το ελλειψοειδές αναφοράς του WGS-84 καθορίζεται από τις εξής βασικές παραμέτρους:

- μεγάλος ημιάξονας  $a = 6378137 \text{ m} \pm 2 \text{ m}$ ,
- παγκόσμια βαρυτημετρική σταθερά  $GM = 3986005 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{s}^2$ ,
- γωνιακή ταχύτητα της Γης  $\omega = 7292115 \times 10^{-11} \text{ radians/sec}$ , και
- κανονικοποιημένος συντελεστής του δυναμικού έλξης της Γης  $C2,0 = -484.16685 \times 10^{-6}$ .

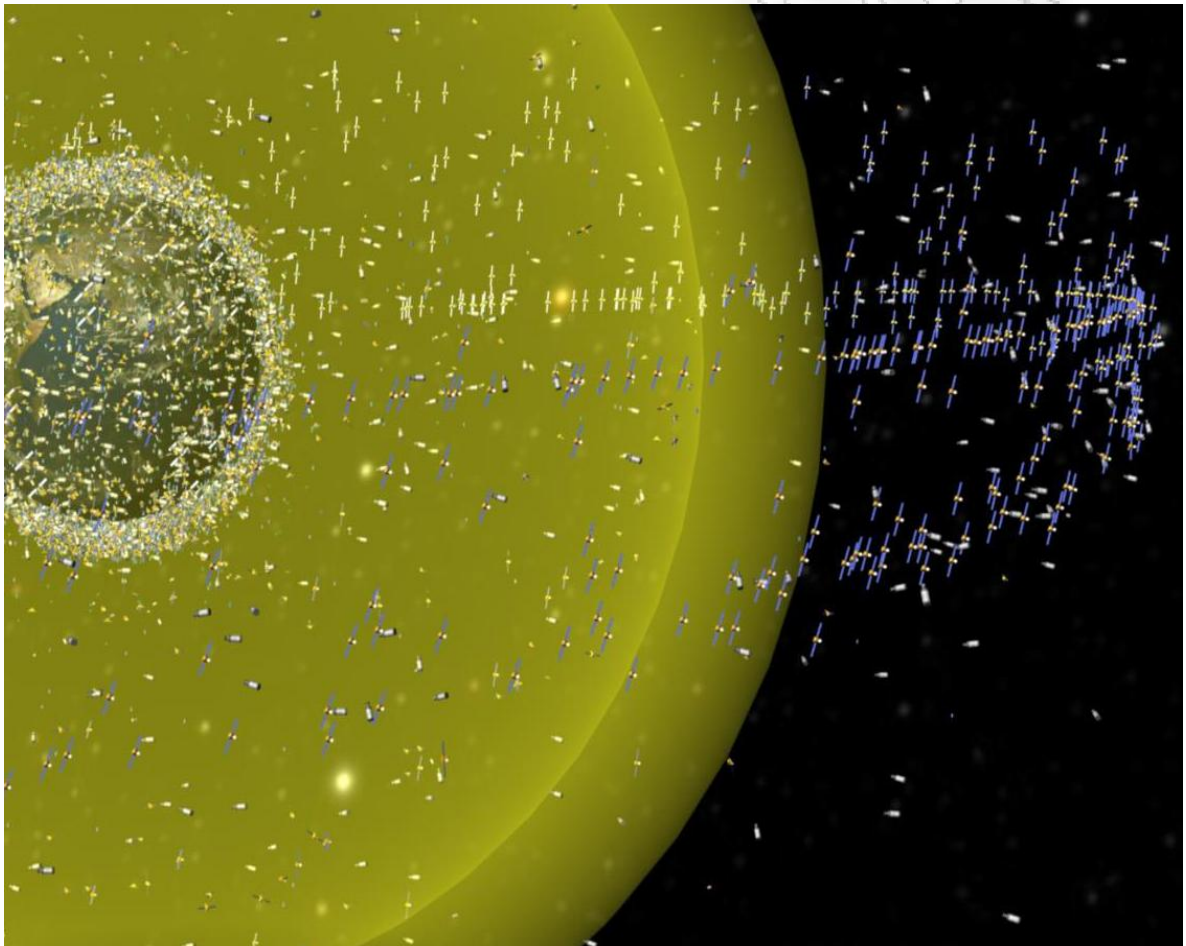
Το ελλειψοειδές WGS-84 είναι πρακτικά ίδιο με το επίσης διεθνώς αποδεκτό σύστημα **GRS-80** (*Geodetic Reference System 1980*). Στη περίπτωση του GPS, οι σταθμοί ελέγχου των δορυφόρων GPS έχουν γνωστές συντεταγμένες αναφερόμενες με μεγάλη ακρίβεια στο σύστημα WGS-84. Έτσι πρακτικά, ο ακριβής προσδιορισμός αγνώστων σημείων στο WGS-84 υλοποιείται ουσιαστικά μέσω των τροχιακών εφημερίδων των δορυφόρων GPS, ο υπολογισμός των οποίων βασίζεται μεταξύ άλλων και στις συντεταγμένες των σταθμών ελέγχου.



Το δίκτυο δορυφόρων που αναγνωρίζουν οι συσκευές GPS του εμπορίου, έχει τεθεί σε τροχιά από τις Υπηρεσίες Άμυνας των ΗΠΑ και λέγεται NAVSTAR (υπάρχει και το αντίστοιχο ρωσικό δίκτυο δορυφόρων GLONASS, το οποίο διέθετε ένα αστερισμό από 20 περίπου δορυφόρους, δημιουργήθηκε την ίδια δεκαετία του 1980 και αποτελεί το « αντίπαλο δέος » του Αμερικανικού GPS). Κατά την διάρκεια συγγραφής αυτής της εργασίας ( Απρίλιος του 2010 ), το ρωσικό σύστημα δορυφορικής πλοήγησης GLONASS, επεκτείνεται με την εκτόξευση (7) ή (8) ακόμα δορυφόρων εντός του έτους 2010, με αποτέλεσμα το 2011 ο αστερισμός του GLONASS να περιλαμβάνει 27 ή 28 λειτουργικούς δορυφόρους και « να καλύπτει τελικά ολόκληρο τον πλανήτη » σύμφωνα με τις δηλώσεις του Ρώσου πρωθυπουργού στα μέσα μαζικής ενημέρωσης .

Το εν χρήσει Αμερικανικό δίκτυο δορυφόρων GPS εκπέμπει σε δύο συχνότητες, από τις οποίες η μία χρησιμοποιείται μόνο για στρατιωτικούς σκοπούς, ενώ η δεύτερη, που είναι ανοιχτή σε κοινή χρήση, παρέχει μειωμένη ακρίβεια.

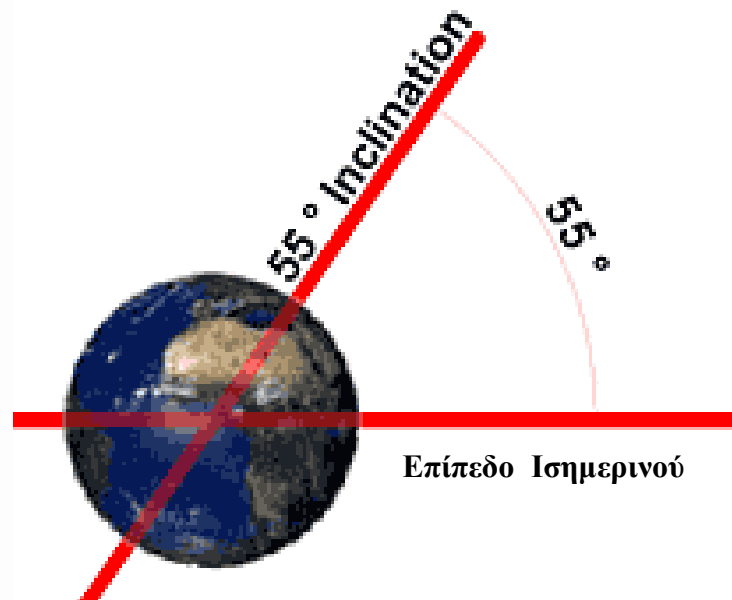
Υπάρχουν σήμερα διάφορων τύπων δέκτες δορυφορικών σημάτων του GPS, που εξυπηρετούν διαφορετικές εφαρμογές και απαιτήσεις ακρίβειας, όπως οι απλοί προσιτοί δέκτες χειρός της τάξεως των 100 - 300 ευρώ με ακρίβεια της τάξεως των  $\pm 20$  έως  $\pm 30$  μέτρων, αλλά και οι πιο απαιτητικοί τοπογραφικοί διαφορικοί δέκτες (differential GPS) της κατηγορίας των 6.000 έως 12.000 ευρώ με ακρίβεια  $\pm 0,4$  έως  $\pm 7$  μέτρων.



Η εικόνα δίνει πολύ παραστατικά, μια γραφική απεικόνιση του μεγάλου αριθμού δορυφόρων στην περιοχή της γεωστατικής τροχιάς, αλλά και του συνωστισμού δορυφόρων, υπολειμμάτων δορυφόρων και άλλων "ανθρωπογενών σκουπιδιών" στις περιοχές χαμηλών τροχιών (Low Orbits), γύρω από την Γή.

Μερικά ενδιαφέροντα χαρακτηριστικά των δορυφόρων που χρησιμοποιούνται: Ο πρώτος δορυφόρος GPS εκτοξεύτηκε τον Φεβρουάριο του 1978. Ο κάθε δορυφόρος ζυγίζει κάτι λιγότερο από 1 τόνο, και το πλάτος του δεν ξεπερνά τα 10 μέτρα με τις ηλιακές κυψέλες σε ανοιχτή θέση. Η ισχύς του πομπού του είναι μέγιστο 50 watt. Κάθε δορυφόρος εκπέμπει σε τρεις διαφορετικές συχνότητες. Τα GPS πολιτικής χρήσης χρησιμοποιούν τη συχνότητα 'L1', στα 1575.42 MHz.. Οι δορυφόροι GPS έχουν μέση διάρκεια ζωής 10 χρόνια. Η αντικατάστασή τους γίνεται κανονικά εδώ και χρόνια με νέους δορυφόρους. Οι προγραμματισμένες διαστημικές αποστολές σήμερα περιλαμβάνουν αντικαταστάσεις δορυφόρων GPS που είχαν εκτοξευθεί και τεθεί σε τροχιά μέχρι το 2006.

Οι τροχιές των δορυφόρων GPS περνούν από περίπου 60 μοίρες βόρεια μέχρι 60 μοίρες νότια του Ισημερινού ( Inclination = Κλίση ως προς το επίπεδο του Ισημερινού – βλέπε σχέδιο που ακολουθεί ) Αυτό σημαίνει ότι κάποιος μπορεί να έχει σήμα από τους δορυφόρους σε οποιοδήποτε σημείο πάνω στη γη, οποιαδήποτε στιγμή. Καθώς πηγαίνουμε προς τους πόλους οι δορυφόροι δε θα περνούν πλέον από πάνω μας, με αποτέλεσμα να χάνουμε λίγο σε ακρίβεια.



Το μεγαλύτερο καλό που προσφέρει το σύστημα GPS σε σχέση με τα προηγούμενα συστήματα προσδιορισμού θέσης μέσω σταθμών εδάφους, είναι ότι το GPS δουλεύει ανεξάρτητα από τις καιρικές συνθήκες. Και βέβαια, στις δύσκολες συνθήκες είναι που το χρειάζεται κανείς περισσότερο.

## 6. Τα χαρακτηριστικά των σημάτων του Αμερικανικού GPS

Οι δορυφόροι του Αμερικανικού συστήματος εκπέμπουν όπως προαναφέρθηκε σε δύο συχνότητες της μπάντας L, στην  $L1 = 1575.42$  MHz και στην  $L2 = 1227.6$  MHz. Χρησιμοποιούν τρεις (3) ψευδο-τυχαίους αριθμούς θορύβου ( PRN ) που περιγράφουν τους κωδικούς περιοχής και αυτοί είναι οι ακόλουθοι :

- Ο κωδικός προσέγγισης / εμπλοκής (**coarse/acquisition (C/A) code**) είναι ένας κωδικός ψευδο-θορύβου, μήκους 1023 ψηφίων ( bits) δυαδικής ακολουθίας (PRN), ο οποίος εκπέμπεται με ταχύτητα 1.023 Mbit/s και επαναλαμβάνεται κάθε χιλιοστό του δευτερολέπτου ( millisecond ). Οι ακολουθίες αυτές ταυτίζονται ή ταυτοποιούνται επ' ακριβώς, μόνον όταν είναι εντελώς ίδιες. Κάθε δορυφόρος εκπέμπει έναν μοναδικό ψευδο-τυχαίο κωδικό ( PRN ) που δεν εναρμονίζεται με κανέναν άλλο ψευδο-τυχαίο αριθμό άλλου δορυφόρου. Με άλλα λόγια οι ψευδο-τυχαίοι κωδικοί ( PRN ) είναι εξαιρετικά « ορθογωνικοί » (διαφέρουν κατά  $90^\circ$ ) μεταξύ τους. Αυτό αποτελεί μια τεχνική πολλαπλής πρόσβασης με διαίρεση κώδικα (Code Division Multiple Access – CDMA), που επιτρέπει στον δέκτη GPS να αναγνωρίζει και να ξεχωρίζει μεταξύ τους, πολλούς δορυφόρους που χρησιμοποιούν ταυτόχρονα την ίδια συχνότητα. Ο κωδικός αυτός χρησιμοποιείται κυρίως για την αποκωδικοποίηση και την απόκτηση του κωδικού P (**precision code**).



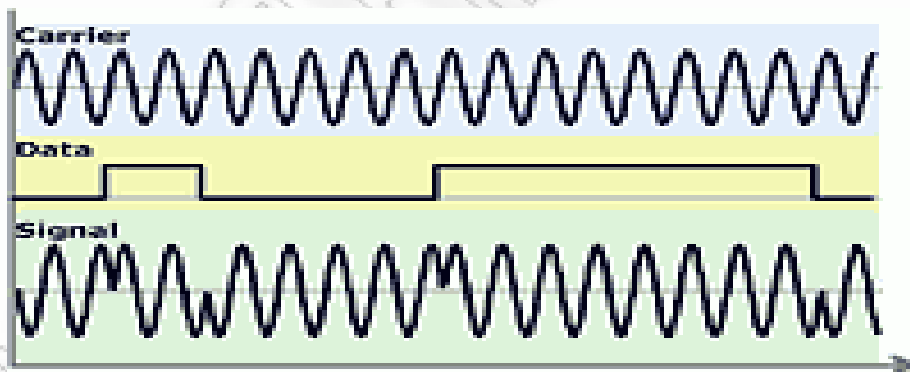
- Ο κωδικός ακριβείας (**precision (P) code**) έχει ταχύτητα ψηφίων ( chip rate ) 10,23 Mbit/s , περίοδο επανάληψης επτά ( 7 ) ημερών και είναι ο πρωταρχικός κωδικός της περιοχής πλοήγησης.
- Ο κωδικός Y, χρησιμοποιείται στη θέση του κωδικού P , όταν είναι ενεργοποιημένη η λειτουργία της εξαπάτησης ( anti-spoofing operation ).

Ο κωδικός C/A εκπέμπεται στην συχνότητα L1 και ο κωδικός P εκπέμπεται και στις δύο συχνότητες L1 και L2 . Οι διάφοροι δορυφόροι εκπέμπουν όλοι στις ίδιες συχνότητες L1 και L2 , αλλά με εξατομικευμένους κωδικούς ο κάθε ένας.

Λόγω των χαρακτηριστικών διασποράς του φάσματος των σημάτων ( spread spectrum characteristic ), το σύστημα εμφανίζει μεγάλη ανοχή στις παρεμβολές . Έτσι κάθε δορυφόρος εκπέμπει ένα σήμα πλοήγησης που περιέχει τα στοιχεία της τροχιάς του, τον ιδιαίτερο χρόνο του ( από το ατομικό του ρολόι), τον χρόνο του συστήματος και την κατάσταση των μηνυμάτων. Επιπρόσθετα εκπέμπεται μια ημερολογιακή κατάσταση ( almanac) που δίνει κατά προσέγγιση τα στοιχεία για κάθε ενεργό δορυφόρο. Αυτό επιτρέπει στην συσκευή του χρήστη να βρεί όλους τους δορυφόρους , που είχε εντοπίσει και είχε αποθηκεύσει κατά την πρώτη φορά που ενεργοποιήθηκε η συσκευή αυτή.

## 7. Η σύνθεση των σημάτων L1 και L2 του GPS

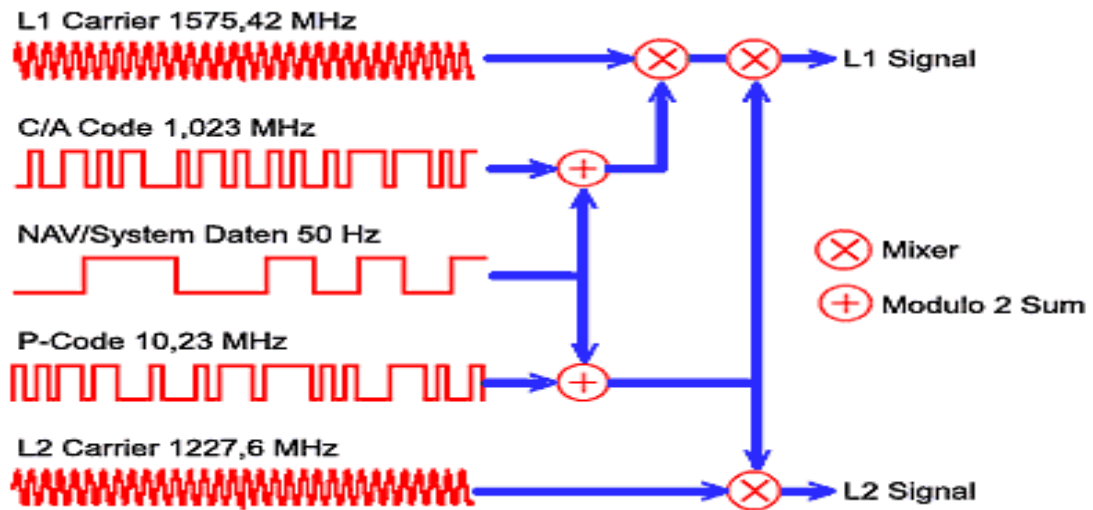
Κατωτέρω εξηγείται η τεχνική δημιουργίας και εκπομπής των σημάτων L1 και L2 των δορυφόρων GPS



Διαμόρφωση σήματος δεδομένων (data) σε ένα φέρον σήμα

Όταν ένα σήμα δεδομένων (data) διαμορφώνει κατά φάση ένα φέρον σήμα, τότε ο ημιτονοειδής ταλαντωτής του φέροντος σταματά και ξαναρχίζει με διαφορά φάσεως π.χ. 180°. Αυτή η μετάθεση φάσεως αναγνωρίζεται από τον κατάλληλο δέκτη ο οποίος αναδεικνύει πάλι τα δεδομένα(data) που εκπέμφθηκαν. Η διαμόρφωση φάσεως οδηγεί στην επέκταση της περιοχής συχνότητας του φέροντος (διασπορά φάσματος του φέροντος - spread spectrum ) , που εξαρτάται από το πόσο συχνά αλλάζει η φάση του φέροντος. Όταν η φάση αλλάζει , τα "μέγιστα" της κυματομορφής ακολουθούνται από τα "ελάχιστα" της κυματομορφής σε κοντινότερη απόσταση απ' ότι στο αρχικό σήμα φέροντος ( βλέπε αντίστοιχο γράφημα πιο πάνω). Η μέθοδος αυτή διαμόρφωσης χρησιμοποιείται μόνον για την εκπομπή ψηφιακών

δεδομένων ( data ). Στο διάγραμμα που ακολουθεί φαίνεται η σύνθεση των σημάτων που εκπέμπονται από τους δορυφόρους GPS.

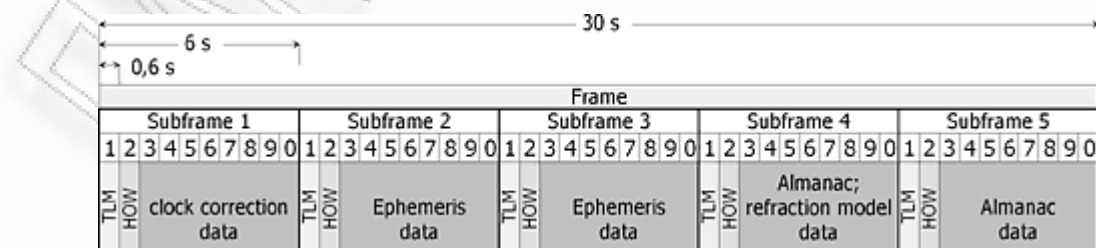


Σύνθεση των σημάτων L1 και L2 που εκπέμπουν οι δορυφόροι GPS.

**Σημείωση :** Το Modulo 2 Sum σημαίνει ότι οι προσθέσεις γίνονται σύμφωνα με τους αριθμητικούς κανόνες. Εάν το αποτέλεσμα είναι μεγαλύτερο του 2, τότε κρατείται μόνον το υπόλοιπο που δεν μπορεί να διαιρεθεί με το 2 (0+0=0; 0+1=1; 1+0=1; 1+1=0).

Στον κώδικα C/A που αναφέραμε πιο πάνω, περιλαμβάνονται πληροφορίες πλοήγησης που εκπέμπονται με το σήμα L1. Οι πληροφορίες αυτές αποτελούνται από ένα σήμα δεδομένων 50 Hz, που περιέχει τις τροχιές των δορυφόρων, διορθώσεις χρονισμού και άλλες παραμέτρους του συστήματος ( π.χ. πληροφορίες για την κατάσταση των δορυφόρων ). Τα δεδομένα αυτά εκπέμπονται συνεχώς από κάθε δορυφόρο και από τις πληροφορίες αυτές ο δέκτης λαμβάνει την ημερομηνία, τον κατά προσέγγιση χρόνο και την θέση κάθε δορυφόρου. Το πλήρες σήμα δεδομένων αποτελείται από 37500 ψηφία (bits) και με μία ταχύτητα 50 bits/s, απαιτούνται 12,5 λεπτά ώστε ο δέκτης να λάβει το ολοκληρωμένο σήμα δεδομένων. Αυτός είναι και ο χρόνος που απαιτείται ώστε ένας δέκτης GPS να προσδιορίσει αρχικά την θέση του ( εάν δεν υπάρχει καμία αρχική πληροφορία αποθηκευμένη στον δέκτη ή οι αποθηκευμένες πληροφορίες είναι παλιές και παρωχημένες ).

Το σήμα διαιρείται σε 25 πλαίσια, και κάθε πλαίσιο έχει μήκος 1500 ψηφία (bits) και χρειάζεται 30 δευτερόλεπτα για να εκπεμφθεί. Το ακόλουθο σχήμα μας δίνει παραστατικά την δομή κάθε πλαισίου.



Η δομή ενός "πλαισίου" δεδομένων του σήματος GPS

Τα 25 πλαίσια διαιρούνται σε υποπλαίσια ( με 300bits κάθε υποπλαίσιο και διάρκεια 6 δευτερολέπτων ). Κάθε υποπλαίσιο διαιρείται επίσης σε 10 ψηφιακές λέξεις ( με 30 ψηφία / λέξη και διάρκεια 0,6 δευτερόλεπτα ). Η πρώτη λέξη κάθε υποπλαισίου είναι λέξη τηλεμετρίας (TLM), περιλαμβάνει δηλαδή πληροφορίες για

« Μελέτη βελτίωσης της ακρίβειας & ασφάλειας πλοήγησης με χρήση του Ευρωπαϊκού Δορυφορικού Συστήματος EGNOS »

την παλαιότητα των δεδομένων της "εφημερίδας". Η επόμενη λέξη ονομάζεται HOW (hand over word) και περιλαμβάνει τον αριθμό των καταμετρημένων "εποχών" (z-epoches), είναι δηλαδή ο χρόνος (εβδομάδες) που μεσολάβησε από την προηγούμενη "επανεκκίνηση" του ρολογιού του συστήματος GPS της τελευταίας Κυριακής την 0:00 ώρα πριν την "επανεκκίνηση". Επειδή ο κώδικας (P) είναι διάρκειας 7 ημερών, η λέξη HOW χρησιμοποιείται από τους στρατιωτικούς δέκτες GPS για να έχουν πρόσβαση στον (P) κώδικα. Το υπόλοιπο από το πρώτο υποπλάισιο περιέχει δεδομένα για την κατάσταση και την ακρίβεια των δορυφόρων που τα εκπέμπουν, καθώς και δεδομένα διόρθωσης του χρόνου. Το δεύτερο (2) και τρίτο (3) υποπλάισιο περιέχουν δεδομένα της "εφημερίδας". Τα υποπλάισια 4 και 5 περιέχουν δεδομένα του "almanac", δηλαδή περιλαμβάνουν πληροφορίες για τις παραμέτρους των τροχιών όλων των δορυφόρων του αστερισμού, την τεχνική τους κατάσταση, την πραγματική τους σύνθεση, τον αριθμό ταυτότητας τους, κ.λ.π. (Το υποπλάισιο 4 περιέχει πληροφορίες για τους δορυφόρους 25 - 32, διορθώσεις ιονοσφαιρικών δεδομένων, ειδικές πληροφορίες και πληροφορίες χρόνου UTC, ενώ το υποπλάισιο 5 περιέχει πληροφορίες "almanac" για τους δορυφόρους 1 - 24, όπως επίσης χρόνο και αριθμό εβδομάδων του συστήματος GPS από την τελευταία "επανεκκίνηση").

Τα πρώτα τρία υποπλάισια είναι παρόμοια για όλα τα 25 πλάισια. Κάθε 30 δευτερόλεπτα εκπέμπονται με την βοήθεια των τριών αυτών υποπλαισίων, τα πλέον σημαντικά δεδομένα για τον προσδιορισμό θέσης. Από τα δεδομένα "almanac", ο δέκτης GPS αναγνωρίζει ποιους δορυφόρους θα πρέπει να χρησιμοποιήσει στην πραγματική τοποθεσία που εκείνη την στιγμή βρίσκεται. Ο δέκτης περιορίζει την έρευνά του στους δορυφόρους εκείνους που έχουν προηγουμένως ανιχνευτεί και έτσι επιταχύνει την διαδικασία προσδιορισμού της πραγματικής του θέσης.

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, τα σήματα δεδομένων περιέχουν παραμέτρους διόρθωσης του χρόνου των δορυφόρων. Γιατί όμως αυτό είναι απαραίτητο, αφού τα ατομικά τους ρολόγια είναι εξαιρετικά ακριβή? Κάθε δορυφόρος φέρει αρκετά ατομικά ρολόγια και εκπέμπει αρκετά ακριβή χρόνο. Όμως τα ατομικά ρολόγια κάθε δορυφόρου δεν είναι συγχρονισμένα με τον μοναδιαίο χρόνο αναφοράς του συστήματος GPS, αλλά λειτουργούν ανεξάρτητα. Έτσι απαιτούνται δεδομένα διόρθωσης για τον χρόνο κάθε δορυφόρου. Επί πλέον ο χρόνος αναφοράς του συστήματος GPS είναι διαφορετικός από τον διεθνή χρόνο (UTC), πού συγχρονίζεται με την περιστροφή της Γής και με την προσθήκη εκάστοτε κάποιων δευτερολέπτων (leap seconds).

Έάν ένας δορυφόρος δεν εκπέμπει σωστά τα δεδομένα του ή η τροχιά του είναι ασταθής, τότε πρέπει να σημαδευτεί (μαρκαριστεί) σαν "ασθενής" δορυφόρος από τον επίγειο σταθμό ελέγχου. Η πληροφορία αυτή εκπέμπεται από τον δορυφόρο, μαζί με το σήμα του. Τότε οι δέκτες δεν χρησιμοποιούν τα δεδομένα του δορυφόρου αυτού για τον προσδιορισμό της θέσης τους, εφ' όσον βέβαια στο ενσωματωμένο λειτουργικό τους πρόγραμμα, έχει γίνει ο κατάλληλος προγραμματισμός για αυτό. Ένας τυπικός λόγος για τον οποίον οι δορυφόροι πρέπει να μαρκάρονται σαν "ασθενείς" είναι η ανάγκη για διόρθωση της τροχιάς τους. Στην περίπτωση αυτή ενεργοποιούνται οι διορθωτικοί του πύραυλοι και το μαρκάρισμα "λάθους" δεν εκπέμπεται πλέον μόλις ο δορυφόρος σταθεροποιήσει την τροχιά του στη σωστή θέση.

Όταν τα δεδομένα εφημερίδας και "almanac" αποθηκευτούν στον GPS δέκτη, εξαρτάται από το πόσο αληθινά (πραγματικά) είναι, ώστε ο δέκτης GPS να

προσδιορίζει την αρχική του θέση. Εάν ο δέκτης δεν είχε καμία επαφή με τους δορυφόρους για μεγάλο χρονικό διάστημα, ο αρχικός χρόνος εντοπισμού θα είναι μεγάλος. Εάν η επαφή του δέκτη διακόπηκε για μικρό διάστημα (π.χ. κατά την διέλευση ενός τούνελ), τότε ο προσδιορισμός θέσης είναι πολύ σύντομος. Εάν ο χρόνος και ο τόπος είναι γνωστά και τα δεδομένα εφημερίδας και "almanac" είναι επικαιροποιημένα, τότε ο χρόνος εντοπισμού είναι μικρός. Αυτό συμβαίνει εάν έχουμε κλείσει τον δέκτη για 2-6 ώρες και η θέση μας είναι περίπου η ίδια που ήταν πριν την διακοπή του δέκτη. Στην περίπτωση αυτή ο χρόνος εντοπισμού της θέσης μας είναι περίπου 15 δευτερόλεπτα. Εάν τα δεδομένα "almanac" είναι διαθέσιμα και ο χρόνος του δέκτη είναι σωστός, αλλά τα δεδομένα της εφημερίδας είναι παλαιά, τότε χρειάζεται περίπου 45 δευτερόλεπτα για να επικαιροποιήσει τα δεδομένα της εφημερίδας και να προσδιορίσει την σωστή θέση. Τα δεδομένα της εφημερίδας θεωρούνται παλαιά όταν έχει περάσει περισσότερο από 2-6 ώρες από την ώρα "θέασης" κάθε δορυφόρου. Όσο περισσότεροι νέοι δορυφόροι είναι σε "θέαση" μετά από την τελευταία φορά λήψης, τόσος περισσότερος χρόνος απαιτείται για τον ακριβή προσδιορισμό της νέας θέσης του δέκτη GPS.

Εάν ούτε τα δεδομένα της εφημερίδας, ούτε τα δεδομένα "almanac" της τελευταίας θέσης είναι γνωστά, τότε σε πρώτη φάση πρέπει να συγκεντρωθούν όλα τα δεδομένα "almanac" από τους δορυφόρους που βρίσκονται σε θέα με τον δέκτη και αυτό θα διαρκέσει περίπου 12,5 λεπτά. Αυτό συμβαίνει όταν ο δέκτης είναι κλειστός για αρκετές εβδομάδες, ή αποθηκεύτηκε χωρίς μπαταρίες, ή ταξίδεψε περισσότερο από 300 Χιλιόμετρα από την τελευταία σταθερή του θέση. Στη τελευταία αυτή περίπτωση δεν απαιτείται η συλλογή δεδομένων "almanac", αλλά επειδή είναι σε θέαση οι "λάθος" δορυφόροι, ο δέκτης πρέπει να ξεχωρίσει μόνον αυτούς που βλέπει εκείνη την στιγμή. Στους περισσότερους δέκτες η διαδικασία αυτή μπορεί να συντομευθεί αν πληκτρολογήσουμε στον δέκτη την ημερομηνία και την κατά προσέγγιση θέση μας.

## 8. Το Ρωσικό σύστημα GLONASS

Το Ρωσικό σύστημα GLONASS έχει πάρα πολλές ομοιότητες με το Αμερικανικό σύστημα GPS, όσον αφορά τα γενικά χαρακτηριστικά του και τον τρόπο λειτουργίας του. Το Ρωσικό GLONASS σχεδιάστηκε για 21 δορυφόρους και τρεις εφεδρικούς για περιπτώσεις βλάβης ή λειτουργικών προβλημάτων.

Η πρώτη εκτόξευση δορυφόρων του συστήματος έγινε στο τέλος του 1982. Τα αρχικά σχέδια απαιτούσαν ένα πλήρες λειτουργικό σύστημα μέχρι το 1991, αλλά πολλές αποτυχημένες εκτοξεύσεις και λειτουργικά προβλήματα των πρώτων δορυφόρων δεν επέτρεψαν την επέκταση και ολοκλήρωση του σχεδιαζόμενου δορυφορικού σχηματισμού πριν από το τέλος του 1995. Ωστόσο το σύστημα κηρύχτηκε επίσημα πλήρως λειτουργικό τον Σεπτέμβριο του 1993.

Το 1989 εκτοξεύθηκαν επίσης δύο γεωδαιτικοί δορυφόροι με συστήματα λείζερ της σειράς Etalon, οι οποίοι τοποθετήθηκαν επίσης στην τροχιά των 19100 km των δορυφόρων GLONASS για να χαρακτηρίσουν πλήρως και αξιολογήσουν το πεδίο βαρύτητας στο προγραμματισμένο ύψος και την κλίση των τροχιών του GLONASS.

Όπως και με το GPS, οι δορυφόροι GLONASS τοποθετούνται σε σχεδόν κυκλικές τροχιές, σε ύψος περίπου 19100 km πάνω από τη Γη και σε τρία τροχιακά επίπεδα ανά 120° με κλίση 64.8° ως προς τον ισημερινό και είναι κατανεμημένοι ανά 45° στο επίπεδο κάθε τροχιάς.

Το Τμήμα Ελέγχου του συστήματος βρίσκεται εξ ολοκλήρου στο έδαφος της πρώην Σοβιετικής Ένωσης και αποτελείται από: το Κέντρο Ελέγχου Λειτουργίας και Ατομικών Προτύπων στη Μόσχα και τα Κέντρα Τηλεμετρίας και τους Σταθμούς Παρακολούθησης στην Αγία Πετρούπολη (St. Peterburg), Eniseisk και Komsomolskna-Amure.



Ο πύραυλος που μετέφερε δορυφόρους του GLONASS, σε εξέδρα του Μπαϊκονούρ (Καζακστάν)

Το GLONASS παρέχει ακρίβειες εντοπισμού στα επίπεδα  $\pm 100$  m με τα σήματα για πολιτική χρήση και ακρίβεια ( $\pm 10-20$  m με τα σήματα για στρατιωτική χρήση). Ωστόσο, σε σχέση με το GPS ένα σημαντικό πλεονέκτημα του GLONASS είναι ότι τα σήματα του για στρατιωτική χρήση είναι διαθέσιμα χωρίς οποιαδήποτε κρυπτογράφηση, όπως συμβαίνει με το GPS, αν και οι ρωσικές αρχές δεν συνιστούν τη χρήση τους από πολιτικούς χρήστες.



**GLONASS**  
Global Navigation Satellite System  
**Global'naya**  
**Navigatsionnaya**  
**Sputnikovaya**  
**Sistema**

- \* 1η εκτοξευση 12/10/1982
- \* 28 εκτοξευσεις (76 δορυφόροι) μέχρι το 2000  
11 δορυφοροι σε πληρη λειτουργια
- \* Τελικος σχηματισμος:  
21 δορυφοροι + 3 εφεδρικοι  
> 3 τροχιακα επιπεδα ( $i = 64.8^\circ$ )  
> Δορυφοροι ανα  $\sim 45^\circ$  σε καθε τροχια

**Συχνότητες (MHz):**  
L1 = 1602.00 + 0.5625 K  
L2 = 1246.00 + 0.4376 K  
(K = Καναλι συχνοτητας)

Χαρακτηριστικά του Ρωσικού αστερισμού δορυφόρων GLONASS

## 9. Αρχές λειτουργίας του συστήματος GLONASS

Όπως φαίνεται και στον πίνακα που ακολουθεί, τα τεχνικά χαρακτηριστικά του GLONASS διαφοροποιούν ελάχιστα τον τρόπο λειτουργίας του σε σχέση με το GPS. Για παράδειγμα, η μεγαλύτερη κλίση των τροχιακών επιπέδων του GLONASS δίνει ελαφρώς μεγαλύτερες γωνίες ύψους των δορυφόρων στις πολικές περιοχές. Εν τούτοις αυτό το πλεονέκτημα αντισταθμίζεται ως ένα ορισμένο βαθμό από τις χαμηλότερες τροχιές. Το χαμηλό τροχιακό ύψος οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι η Ρωσία, σε σχέση με τις ΗΠΑ, δεν είχε τις ίδιες δυνατότητες κατανομής των Σταθμών Παρακολούθησης και Ελέγχου σε παγκόσμιο επίπεδο, έτσι ώστε ήταν απαραίτητο να εξασφαλιστεί η τακτική εμφάνιση των δορυφόρων πάνω από την Σοβιετική Ένωση, γεγονός που επιτυγχάνεται με το δεδομένο σχηματισμό.

Η μεγαλύτερη διαφορά του GPS και GLONASS είναι ο τρόπος εκπομπής των σημάτων από τους δορυφόρους. Στο GPS όλοι οι δορυφόροι εκπέμπουν στις συχνότητες  $L1=1575.42$  MHz και  $L2=1227.6$  MHz και ο κάθε δορυφόρος διακρίνεται από το χαρακτηριστικό σήμα του κώδικα που εκπέμπει. Οι εκπομπές του GLONASS, για τη συχνότητα  $L1$ , καλύπτουν τις συχνότητες από τη περιοχή 1602 μέχρι 1615.5 MHz, με διαχωρισμό μεταξύ των συχνοτήτων του κάθε δορυφόρου ανά 562.6 MHz, δηλαδή ο κάθε δορυφόρος εκπέμπει σε κάπως διαφορετική συχνότητα  $L1=1602 + 0.5625 \chi K$  (MHz), όπου  $K$  είναι ο δείκτης του καναλιού της συχνότητας του εκάστοτε δορυφόρου.

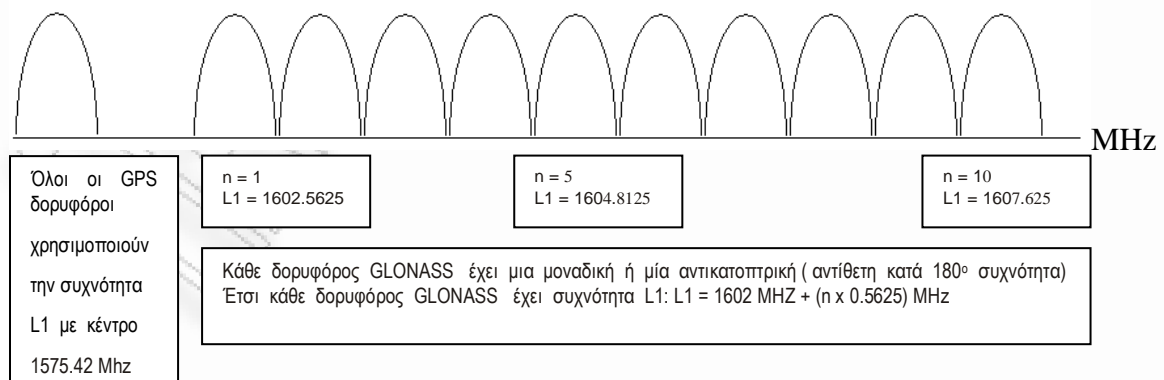
Μέχρι το 1998, οι τιμές των δεικτών  $K$  κυμαίνονταν από 1 έως 24. Ωστόσο οι συχνότητες των καναλιών που αντιστοιχούν στις μεγαλύτερες τιμές  $K$  δημιουργούσαν παρεμβολές στις συχνότητες που χρησιμοποιούνται από τα ραδιοτηλεσκόπια. Έτσι αποφασίστηκε από το 1998 μέχρι το 2005, οι αντιδιαμετρικά τοποθετημένοι δορυφόροι να χρησιμοποιούν κανάλια με κοινούς δείκτες  $K=1,2, \dots, 12$ , ενώ μετά το 2005, θα χρησιμοποιούνται κανάλια με τιμές  $K$  από  $-7$  έως 6. Αντίστοιχα, για τη συχνότητα  $L2$ , χρησιμοποιείται η ζώνη 1246 μέχρι 1256.5 MHz, με διαχωρισμό μεταξύ των συχνοτήτων του κάθε δορυφόρου ανά 437.5 MHz, δηλαδή ο κάθε δορυφόρος εκπέμπει σε κάπως διαφορετική συχνότητα  $L2=1246 + 0.4375 K$  (MHz). Η τεχνική αυτή, για την δημιουργία του σήματος, είναι γνωστή σαν *Πολλαπλή Πρόσβαση με Διαίρεση Συχνότητας* (*Frequency Division Multiple Access, FDMA*), ενώ η αντίστοιχη τεχνική στην οποία βασίζεται το GPS είναι γνωστή σαν *Πολλαπλή Πρόσβαση με Διαίρεση του Κώδικα* (*Code Division Multiple Access, CDMA*).

Συγκριτικά τεχνικά χαρακτηριστικά των συστημάτων GPS και GLONASS		
	GPS	GLONASS
# Δορυφόροι	24 + 3 εφεδρικοί	21 + 3 εφεδρικοί
# Τροχιές	6	3
Κλίση τροχιών	55°	64,8°
Ύψος τροχιών	20.180 km	19.130 km
Περίοδος περιστροφής	11 <sup>h</sup> 58 <sup>m</sup> 00 <sup>s</sup>	11 <sup>h</sup> 15 <sup>m</sup> 40 <sup>s</sup>
Γεωδαιτικό Datum	WGS-84	PZ-90
Κλίμακα Χρόνου	UTC	UTC
Τεχνική σημάτων	CDMA	FDMA
Συχνότητα L1	1575.42 MHz	1598.0625 - 1609.3125 ° MHz
Συχνότητα L2	1227.6MHz	1242.9375 - 1251.6875MHz
Μήκος C/A-κώδικα (# Chips)	1023	511
Μήκος P-κώδικα (# Chips)	2.35 x 10 <sup>14</sup>	5.11 x 10 <sup>6</sup>
Ρυθμός C/A-κώδικα (kbps)	1023	511
Ρυθμός P- κώδικα (Mbps)	10.23	5.11

Έτσι, στους δέκτες του σήματος GLONASS, ο κάθε δορυφόρος διακρίνεται από τη συχνότητα του. Η διαφορά αυτή, ενώ δεν επηρεάζει την ακρίβεια λειτουργίας του συστήματος, κάνει το GLONASS λιγότερο εύχρηστο σε σχέση με το GPS. Για στρατιωτικούς κυρίως σκοπούς, το GLONASS χρησιμοποιεί ένα κώδικα ανάλογο του P-κώδικα του GPS, του οποίου η συχνότητα είναι 5.11 MHz (σε σύγκριση με τη συχνότητα των 10.23 MHz στη περίπτωση του P-κώδικα) και μήκους  $5.11 \times 10^6$  chips. Αντίστοιχα, για τους πολιτικούς χρήστες, το GLONASS χρησιμοποιεί ένα κώδικα ανάλογο του C/A-κώδικα του GPS, του οποίου ο ρυθμός ψηφίων είναι 0.511 MHz (σε σύγκριση με τον ρυθμό 1.023 MHz στη περίπτωση του C/A-κώδικα) και μήκους 511 chips. Σε αντίθεση με το GPS, τα σήματα του GLONASS δεν υπόκεινται σε οποιαδήποτε εσκεμμένη υποβάθμιση του συστήματος, ανάλογη της Επιλεκτικής Διαθεσιμότητας του GPS, ενώ σχεδιάζεται οι επόμενοι (μελλοντικοί) δορυφόροι της σειράς GLONASS-M, να παρέχουν τον αντίστοιχο C/A-κώδικα τους και στις δύο συχνότητες L1 και L2, και κατά συνέπεια θα παρέχουν βελτιωμένη ακρίβεια εντοπισμού, σε σχέση με την ακρίβεια που παρέχεται σήμερα από το C/A-κώδικα του GPS.

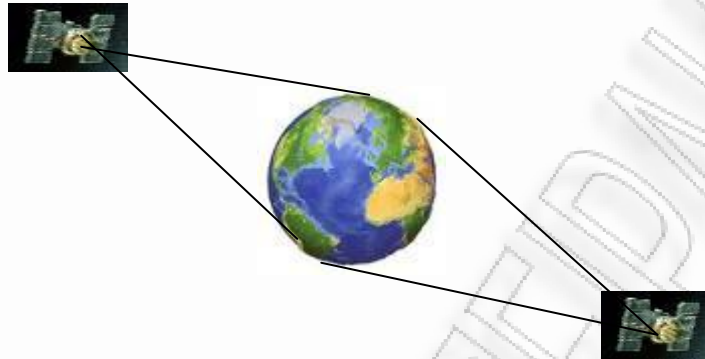
## 10. Αναγνώριση των δορυφόρων GPS και GLONASS

Ο κάθε δορυφόρος του αστερισμού GLONASS εκπέμπει σε ελαφρώς διαφορετικές συχνότητες L1 και L2, με τον P κώδικα παρόντα και στις δύο συχνότητες L1 και L2, και με τον C/A κώδικα παρόντα μόνον στην συχνότητα L1. Οι δορυφόροι της σειράς GLONASS-M, θα εκπέμπουν τον κώδικα C/A και στην συχνότητα L2. Ο κάθε δορυφόρος του αστερισμού GPS, εκπέμπει την συχνότητα L1 κεντραρισμένη στην συχνότητα 1575,42 MHz. Οι δορυφόροι του αστερισμού GPS αναγνωρίζονται από τον δέκτη NovAtel, λόγω του Ψευδο-τυχαίου κωδικού αριθμού Θορύβου (PRN). Σε αντίθεση με τους δορυφόρους του GPS, όλοι οι δορυφόροι του GLONASS, εκπέμπουν τον ίδιο κωδικό σε διαφορετικές συχνότητες. Παράγουν τα σήματα χρονισμού και συχνότητας από ένα από τα τρία ατομικά ρολόγια Καισίου που βρίσκονται στον δορυφόρο και λειτουργούν στους 5 MHz. Έτσι για παράδειγμα η συχνότητα L1 δημιουργείται ως εξής:  $L1 = 1602 \text{ MHz} + (n \times 0,5625) \text{ MHz}$ , όπου  $n = \eta$  συχνότητα του αριθμού καναλιού ( $n = 0,1,2,3, \dots$ ). Αυτό σημαίνει ότι οι δορυφόροι εκπέμπουν σήματα στην δική τους ιδιαίτερη συχνότητα, που ξεχωρίζει από τις άλλες κατά πολλαπλάσιο του 0,5625 MHz ή 562,5 KHz από την συχνότητα των άλλων δορυφόρων.



Σύγκριση σημάτων συχνοτήτων των δορυφόρων του GPS και GLONASS

Τα σήματα των δορυφόρων του GLONASS είναι δεξιόστροφα πολωμένα, όπως και τα σήματα των δορυφόρων του GPS, και έχουν ένταση σήματος συγκρίσιμη με των δορυφόρων του GPS.



Το σύστημα του GLONASS επιτυγχάνει την λειτουργία 24 δορυφόρων χρησιμοποιώντας 12 μόνον κανάλια συχνοτήτων, διότι χρησιμοποιεί ζεύγη αντιδιαμετρικών δορυφόρων που εκπέμπουν στην ίδια συχνότητα. Οι δορυφόροι αυτοί βρίσκονται στο ίδιο τροχιακό επίπεδο αλλά διαφέρουν κατά 180° στο πλάτος. Έτσι δεν είναι ορατοί ταυτόχρονα και οι δύο δορυφόροι του ίδιου τροχιακού επιπέδου από τον ίδιο δέκτη στο ίδιο σημείο της γής, άρα τα σήματα του ενός δορυφόρου δεν παρεμβάλουν τα σήματα του άλλου δορυφόρου του ίδιου ζεύγους.

## 11. Πληροφορίες εκπεμπόμενες από δορυφόρους GPS - GLONASS – GALLILEO

Κατάσταση του αστερισμού δορυφόρων του GPS την 09/04/2010 σύμφωνα με το ημερολόγιο (ephemeris) που λαμβάνεται στο Κέντρο Αναλυτικής Πληροφορήσης ( IAC).

Επίπεδο	Θέση υποδοχής	Ψευδο-τυχαίος αριθμός	NORAD	Τύπος SC	Ημερομηνία εκτόξευσης	Ημερομηνία εισόδου σε επιχειρησιακή λειτουργία	Ημερομηνία διακοπής επιχειρησιακής λειτουργίας	Ενεργή ζωή (σε μήνες)	Σημειώσεις
A	1	9	22700	Π-A	26.06.93	20.07.93	24.03.10	199.5	Σε φάση τεχνικής συντήρησης
	2	31	29486	Π-R-M	25.09.06	13.10.06		41.8	
	3	8	25030	Π-A	06.11.97	18.12.97		146.8	
	4	27	22108	Π-A	09.09.92	30.09.92		209.8	
	6	7	32711	Π-R-M	15.03.08	24.03.08		24.5	
B	1	16	27663	Π-R	29.01.03	18.02.03		85.5	
	2	1	34661	Π-R-M	24.03.09				Σε φάση ένταξης λειτουργίας
	3	28	26407	Π-R	16.07.00	17.08.00		115.8	
	4	12	29601	Π-R-M	17.11.06	13.12.06		39.7	
	5	30	24320	Π-A	12.09.96	01.10.96		161.3	
C	1	29	32384	Π-R-M	20.12.07	02.01.08		27.2	
	2	3	23833	Π-A	28.03.96	09.04.96		166.6	
	3	19	28190	Π-R	20.03.04	05.04.04		72.0	
	4	17	28874	Π-R-M	26.09.05	13.11.05		51.6	
	5	6	23027	Π-A	10.03.94	28.03.94		191.6	



<b>D</b>	1	2	28474	II-R	06.11.04	22.11.04		64.4	
	2	11	25933	II-R	07.10.99	03.01.00		123.2	
	3	21	27704	II-R	31.03.03	12.04.03		83.8	
	4	4	22877	II-A	26.10.93	22.11.93		196.5	
	5	24	21552	II-A	04.07.91	30.08.91		219.8	
<b>E</b>	1	20	26360	II-R	11.05.00	01.06.00		118.1	
	2	22	28129	II-R	21.12.03	12.01.04		74.9	
	3	10	23953	II-A	16.07.96	15.08.96		163.0	
	4	18	26690	II-R	30.01.01	15.02.01		109.6	
	5	32	20959	II-A	26.11.90	10.12.90		183.6	
	6	5	35752	II-R-M	17.08.09	27.08.09		7.4	
<b>F</b>	1	14	26605	II-R	10.11.00	10.12.00		111.9	
	2	15	32260	II-R-M	17.10.07	31.10.07		29.3	
	3	13	24876	II-R	23.07.97	31.01.98		146.1	
	4	23	28362	II-R	23.06.04	09.07.04		68.9	
	5	26	22014	II-A	07.07.92	23.07.92		212.3	

### Ημερολόγιο ( κατάλογος ) του αστερισμού δορυφόρων του GPS ( Almanac )

PRN	Ημερομ	t	e	i	dΩ/dt	A	LΩ	ω	m	af0	af1
01											
02	11.04.10	61440	0,00949	53,88911	-4,57076E-7	26561,15919	6,12576	172,91268	83,34525	2,45094E-4	3,63798E-12
03	11.04.10	61440	0,01296	53,10942	-4,73447E-7	26560,04189	-59,85126	56,59425	79,05807	5,39780E-4	3,63798E-12
04	11.04.10	61440	0,00908	53,83967	-4,58385E-7	26559,79528	7,15193	34,55546	-100,02856	5,72205E-5	7,27596E-12
05	11.04.10	61440	0,00187	54,93007	-4,74756E-7	26559,83554	66,82250	19,80977	171,08972	-1,90735E-6	0,00000E0
06	11.04.10	61440	0,00620	53,53411	-4,66898E-7	26559,67449	-55,82621	-63,26509	-152,49976	6,68526E-4	-7,27596E-12
07	11.04.10	61440	0,00335	55,65963	-4,39395E-7	26560,36399	-172,82938	174,57398	-7,84847	0,00000E0	0,00000E0
08	11.04.10	61440	0,01099	56,88220	-4,28263E-7	26560,21804	-168,99535	177,26646	-43,69080	4,76837E-6	0,00000E0
09											
10	11.04.10	61440	0,00917	54,64476	-4,77376E-7	26557,78218	68,31408	38,16457	174,36640	-4,00543E-5	0,00000E0
11	11.04.10	61440	0,01055	50,93653	-4,82614E-7	26560,35896	-6,25880	45,85717	-14,37370	-5,53131E-5	0,00000E0
12	11.04.10	61440	0,00354	55,57483	-4,63624E-7	26560,16771	-112,47524	-28,57327	-6,12415	-1,27792E-4	3,63798E-12
13	11.04.10	61440	0,00436	56,90177	-4,32192E-7	26558,79376	130,91373	95,13804	136,02804	3,05176E-4	0,00000E0
14	11.04.10	61440	0,00496	56,51622	-4,38085E-7	26560,47975	129,68154	-121,28499	125,22251	3,24249E-5	3,63798E-12
15	11.04.10	61440	0,00247	54,66021	-4,57730E-7	26560,57034	126,09519	-11,12896	120,93477	-2,87056E-4	3,63798E-12
16	11.04.10	61440	0,00587	55,64555	-4,62969E-7	26560,45962	-111,47988	-14,53686	-139,04481	-6,00815E-5	-3,63798E-12
17	11.04.10	61440	0,00535	55,00972	-4,50527E-7	26558,96990	-51,69430	-144,85188	149,83882	1,43051E-4	0,00000E0
18	11.04.10	61440	0,01115	53,72809	-4,86543E-7	26559,77515	68,34992	-134,46624	-125,03570	6,10352E-5	0,00000E0
19	11.04.10	61440	0,00635	54,87754	-4,48563E-7	26560,34386	-48,53389	-9,93598	115,40179	-2,67029E-5	0,00000E0
20	11.04.10	61440	0,00434	53,72088	-4,85888E-7	26559,29703	65,25842	75,20109	-116,79956	5,72205E-5	0,00000E0
21	11.04.10	61440	0,01631	53,47094	-4,60350E-7	26559,98149	7,78585	-143,36145	-61,30508	-5,24521E-5	0,00000E0
22	11.04.10	61440	0,00515	53,59454	-4,88508E-7	26559,49834	68,63696	-110,24117	179,75948	1,74522E-4	0,00000E0
23	11.04.10	61440	0,00650	55,47423	-4,47908E-7	26560,17274	127,49702	172,19376	84,39324	3,73840E-4	0,00000E0
24	11.04.10	61440	0,00573	54,42126	-4,52492E-7	26572,35368	9,94233	-27,38589	175,84193	2,77519E-4	0,00000E0
25											
26	11.04.10	61440	0,01943	56,77268	-4,33502E-7	26546,25366	130,72879	61,73301	1,59132	-3,81470E-5	-3,63798E-12
27	11.04.10	61440	0,02156	56,04964	-4,34811E-7	26559,60907	-176,06059	-82,23043	127,13902	1,42097E-4	0,00000E0
28	11.04.10	61440	0,01594	55,54393	-4,62969E-7	26559,68456	-111,03399	-112,27201	-172,13806	-1,81198E-5	0,00000E0
29	11.04.10	61440	0,00304	55,02894	-4,48563E-7	26560,76159	-51,22187	-75,06990	-49,83525	1,11580E-4	0,00000E0
30	11.04.10	61440	0,01206	54,73197	-4,72792E-7	26560,52001	-115,50487	84,58054	-145,37749	2,32697E-4	0,00000E0
31	11.04.10	61440	0,00750	55,96175	-4,37431E-7	26559,79025	-172,86526	-60,95058	-10,56535	-4,19617E-5	0,00000E0
32	11.04.10	61440	0,01268	54,97435	-4,74101E-7	26560,65087	71,92429	-57,08709	36,67605	5,34058E-5	-7,27596E-12

PRN – Ψευδοτυχαίος αριθμός ( Pseudo Random Number )  
Date – Ημερομηνία (UTC)  
t – Χρόνος Αναφοράς ( σε δευτερόλεπτα )  
e – Εκκεντρότητα ( Eccentricity )  
i – Τροχιακή κλίση ( σε μοίρες )  
 $d\Omega/dt$  – Ρυθμός ορθής ανόδου  $\Omega$  ( μοίρες / δευτερόλεπτο )  
A- Ημι-κύριος ( Δευτερεύων ) άξονας ( σε Χιλιόμετρα )  
 $L\Omega$  - Γεωγραφικό μήκος (γεωγραφικός παράλληλος) του ανοδικού κόμβου τομής  
δύο τροχιών (σε μοίρες) την 00 ώρες 00 λεπτά 00 δευτερ. της ημερομηνίας βάσης  
 $\omega$  - Όρισμα του Περιγείου ( σε μοίρες )  
m – Μέση τιμή ανωμαλίας ( σε μοίρες )  
af0 – Διόρθωση Χρόνου ( σε δευτερόλεπτα )  
af1 – Ρυθμός Διόρθωσης Χρόνου af0 ( δευτερόλεπτα / δευτερόλεπτο )

Αναλύοντας τώρα το περιεχόμενο που έχει η πληροφορία που εκπέμπει ένας δορυφόρος , βλέπουμε ότι το σήμα του GPS περιέχει ένα "ψευδο-τυχαίο" κωδικό θορύβου , το ephemeris και κάποια δεδομένα καταλόγου (αλμανάκ όπως λέγονται) . Ο ψευδο-τυχαίος κωδικός προσδιορίζει την ταυτότητα του δορυφόρου που εκπέμπει. Κάθε δορυφόρος έχει ένα χαρακτηριστικό αριθμό PRN (pseudo-random noise number), από το 1 μέχρι το 32. Αυτός ο αριθμός φαίνεται και στην οθόνη του GPS για να καταλαβαίνουμε ποιος ή ποιοι δορυφόροι είναι στην εμβέλειά μας.

Αφού λοιπόν είπαμε ότι υπάρχουν μόνο 24 δορυφόροι, θα αναρωτηθεί κανείς γιατί οι αναγνωριστικοί κωδικοί είναι 32. Ο λόγος είναι καθαρά τεχνικός. Έχοντας παραπάνω κωδικούς διαθέσιμους διευκολύνεται η διαχείριση του δικτύου. Όταν ένας νέος δορυφόρος εισάγεται στο δίκτυο, ξεκινάει τη λειτουργία του πριν ο παλιότερος που θα αντικατασταθεί , σταματήσει . Με αυτό τον τρόπο είναι σίγουρο ότι θα υπάρχει ο ελάχιστος αριθμός δορυφόρων εν λειτουργία. Ο νέος δορυφόρος χρησιμοποιεί ένα νέο κωδικό αναγνώρισης ώστε να μην δημιουργείται σύγχυση στο δίκτυο.

Τα δεδομένα Ephemeris εκπέμπονται συνεχώς από κάθε δορυφόρο και περιέχουν σημαντικές πληροφορίες όπως η κατάσταση του δορυφόρου (αν είναι σε λειτουργία ή όχι, αν έχει προβλήματα και που, κτλ.), η ημερομηνία και η ώρα. Χωρίς αυτά τα στοιχεία το GPS δεν θα γνώριζε την τρέχουσα ημερομηνία και ώρα, το χρονικό στίγμα, πληροφορίες σημαντικές για τον προσδιορισμό της θέσης.

Τα δεδομένα αλμανάκ ( ημερολογίου ) πληροφορούν το GPS του χρήστη για τη θέση που θα βρίσκεται κάθε δορυφόρος σε οποιαδήποτε στιγμή της μέρας. Έτσι κάθε δορυφόρος εκπέμπει πληροφορίες για την τροχιά του και τη θέση του , καθώς και για κάθε άλλο δορυφόρο στο δίκτυο για επιπλέον ασφάλεια.

Για να το δούμε απλοποιημένα : Κάθε δορυφόρος εκπέμπει ένα μήνυμα το οποίο λέει "Είμαι ο δορυφόρος νούμερο X, η θέση μου αυτή τη στιγμή είναι η Y, και το μήνυμα αυτό στάλθηκε τη χρονική στιγμή Z". Το GPS μας λαμβάνει αυτή την πληροφορία, και φυλάει τα δεδομένα ephemeris, και αλμανάκ για να τα χρησιμοποιήσει και στη συνέχεια. Με βάση αυτή την πληροφορία επίσης, το GPS μπορεί να κάνει και διορθώσεις στο εσωτερικό του ρολόι ώστε να υπάρχει συγχρονισμός.

**Κατάσταση του αστερισμού GLONASS την ημέρα 08/04/2010.**

<b>Σύνολο δορυφόρων στον αστερισμό</b>	<b>23 SC</b>
Λειτουργικοί	21 SC
Σε φάση αξιολόγησης	-
Σε φάση επισκευής - συντήρησης	-
Εφεδρικοί	2 SC
Σε φάση απόσυρσης	-

**Κατάσταση του αστερισμού GLONASS την ημέρα 08/04/2010 βασισμένη στην ανάλυση του ημερολογίου και των μηνυμάτων πλοήγησης του ελήφθησαν στις 22:00 08/04/10 (UTC) στο Κέντρο Αναλυτικής Πληροφορίας (IAC PNT TsNIImash)**

Επίπεδο τροχιάς	Θέση τροχιάς	Κανάλι Ραδιοσυχρότητας	# GC	Εκτοξευτηκε	Έναρξη λειτουργίας	Τέλος λειτουργίας	Χρόνος ζωής (σε μήνες)	Κατάσταση υγείας δορυφόρου		Σχόλια	
								Σε κατάλογο	Σε εφημερίδα (UTC)		
I	1	01	730	14.12.09	30.01.10		3.8	+	+ 21:30 08.04.10	Σε λειτουργία	
	2	-4	728	25.12.08	20.01.09		15.4	+	+ 22:15 08.04.10	Σε λειτουργία	
	3	05	727	25.12.08	17.01.09		15.4	+	+ 22:15 08.04.10	Σε λειτουργία	
	4	06	733	14.12.09	24.01.10		3.8	+	+ 22:15 08.04.10	Σε λειτουργία	
	5	01	734	14.12.09	10.01.10		3.8	+	+ 20:59 08.04.10	Σε λειτουργία	
	7	05	712	26.12.04	07.10.05		63.4	+	+ 20:59 08.04.10	Σε λειτουργία	
	8	06	729	25.12.08	12.02.09		15.4	+	+ 20:59 08.04.10	Σε λειτουργία	
II	9	-2	722	25.12.07	25.01.08		27.5	+	+ 22:15 08.04.10	Σε λειτουργία (L1 o	
	10	-7	717	25.12.06	03.04.07		39.5	+	+ 22:14 08.04.10	Σε λειτουργία	
	11	00	723	25.12.07	22.01.08		27.5	+	+ 22:15 08.04.10	Σε λειτουργία	
	13	-2	721	25.12.07	08.02.08		27.5	+	+ 20:59 08.04.10	Σε λειτουργία	
	14	-7	715	25.12.06	03.04.07		39.5	+	+ 20:59 08.04.10	Σε λειτουργία	
	15	00	716	25.12.06	12.10.07		39.5	+	+ 20:59 08.04.10	Σε λειτουργία	
III	17	04	718	26.10.07	04.12.07		29.4	+	+ 20:59 08.04.10	Σε λειτουργία	
	18	-3	724	25.09.08	26.10.08		18.4	+	+ 22:15 08.04.10	Σε λειτουργία	
	19	03	720	26.10.07	25.11.07		29.4	+	+ 22:15 08.04.10	Σε λειτουργία	
	20	02	719	26.10.07	27.11.07		29.4	+	+ 22:15 08.04.10	Σε λειτουργία	
	21	04	725	25.09.08	05.11.08		18.4	+	+ 22:15 08.04.10	Σε λειτουργία	
	22	-3	731	02.03.10	28.03.10		1.2	+	+ 20:59 08.04.10	Σε λειτουργία	
			726	25.09.08	13.11.08	31.08.09	18.4			Εφεδρικός	

23	03	732	02.03.10	28.03.10		1.2	+	+ 20:59 08.04.10	Σε λειτουργία
		714	25.12.05	31.08.06	19.03.10	51.5			Εφεδρικός
24	02	735	02.03.10	28.03.10		1.2	+	+ 20:59 08.04.10	Σε λειτουργία

### Ημερολόγιο του GLONASS ALMANAC για την 08/04/2010

NS	TΩ	Trev	e	i	LΩ	ω	δt2	nl	ΔT
01	31890.781	40543.992	0.00046	64.73721	-10.294533	20.247803	1.7166138E-4	1	0.0015258789
02	37101.438	40544.027	0.00037	64.50461	-31.977768	15.144653	1.373291E-4	-4	0.0016479492
03	1588.9375	40543.973	0.00011	64.51268	116.424866	82.71057	3.8146973E-5	5	0.0015258789
04	6550.8438	40543.996	0.00161	64.72108	95.56029	134.7583	7.6293945E-5	6	0.0014648438
05	11620.906	40543.97	0.00058	64.72451	74.37041	75.76172	1.411438E-4	1	0.0014648438
06									
07	21808.281	40544.14	0.0008	63.660725	28.819542	120.92651	2.0980835E-4	5	0.0015869141
08	26877.875	40543.934	0.00019	64.50084	10.738621	38.704834	6.866455E-5	6	0.0015869141
09	29983.406	40544.055	0.00048	65.18919	117.06722	54.849243	1.296997E-4	-2	1.8310547E-4
10	34921.562	40544.047	0.00165	65.584015	96.076126	161.71326	1.2207031E-4	-7	1.2207031E-4
11	40073.344	40544.04	0.00198	65.20155	74.910446	0.20324707	1.2207031E-4	0	1.2207031E-4
12									
13	9782.656	40544.082	0.00053	65.18868	-158.52756	91.18103	2.632141E-4	-2	4.272461E-4
14	14619.8125	40544.047	0.00141	65.56943	-179.12401	159.15344	1.411438E-4	-7	2.4414062E-4
15	19901.375	40544.527	0.00251	65.568054	158.80309	-5.6359863	-1.1444092E-5	0	1.8310547E-4
16									
17	28518.062	40544.062	0.00176	64.89874	-116.3629	-169.93103	2.822876E-4	4	-0.0017089844
18	33595.688	40544.055	0.00279	64.795746	-137.99136	-22.098999	1.5258789E-5	-3	-0.0017089844
19	38619.75	40544.004	0.00019	64.88295	-158.59572	-69.63135	1.2588501E-4	3	-0.0015869141
20	3233.0625	40544.1	0.0015	64.89617	-10.705833	-16.166382	6.866455E-5	2	-0.001953125
21	8208.469	40544.03	0.002	64.80382	-31.874943	-178.73657	1.8692017E-4	4	-0.001953125
22	13314.219	40543.98	0.00341	64.77995	-53.401623	-6.300659	1.1444092E-5	-3	-0.0017700195
23	18370.875	40544.03	0.00004	64.76245	-74.52335	104.69971	1.449585E-4	3	-0.0017700195
24	23447.969	40543.97	0.00053	64.772575	-95.74345	92.21924	3.8146973E-6	2	-0.0017089844

NS - Satellite Number ( Αριθμός Δορυφόρου )

TΩ - Equator time [sec] ( Χρόνος Ισημερινού σε δευτερόλεπτα )

Trev - Revolution period [sec] ( Περίοδος περιστροφής σε δευτερόλεπτα )

e - Eccentricity ( Εκκεντρότητα )

i - Orbital inclination [deg] ( Τροχιακή κλίση σε μοίρες )

LΩ - Geographical longitude of ascending node in according with ICD GLONASS [deg] ( Γεωγραφικό μήκος του ανερχόμενου κόμβου σε μοίρες, σύμφωνα με την βιβλιογραφία του GLONASS )

ω - Argument of Perigee [deg] ( Όρισμα του περιγείου σε μοίρες )

δt2 - Correction to Board Time Scale [sec] ( Διόρθωση της Κλίμακας Χρόνου σε δευτερόλεπτα )

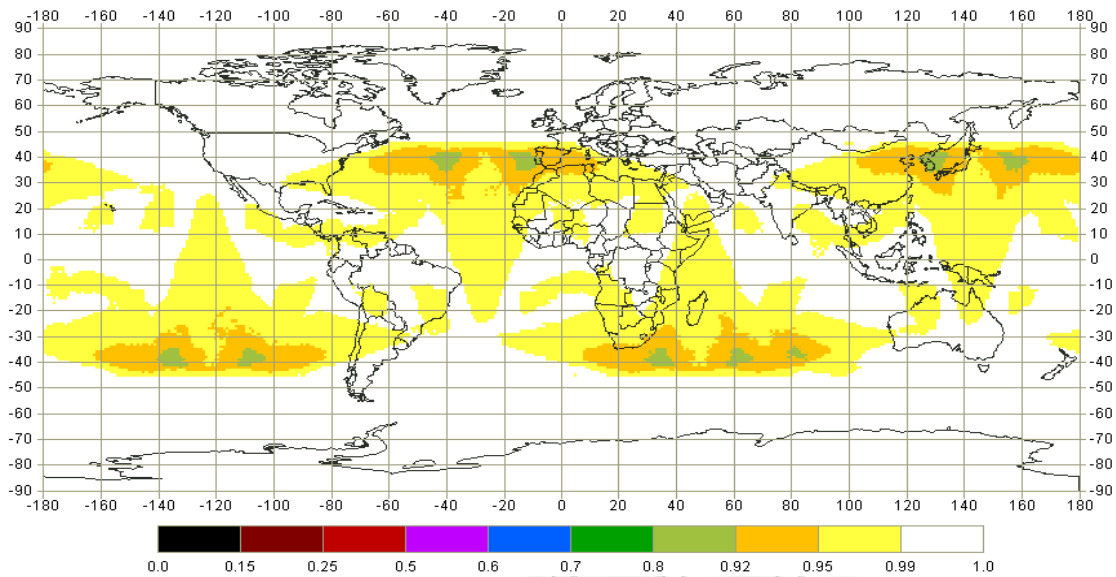
nl - Number of Frequency Slug ( Αριθμός των Διαχωριστικών Συχνότητας )

ΔT - Rate of Draconic period variation [sec] ( Ρυθμός μεταβολής Δρακωνικής περιόδου σε δευτερόλεπτα )

Ολοκλήρωση Διαθεσιμότητας της πλοήγησης του GLONASS ( PDOP<6 ) κατά την διάρκεια περιόδου 24 ωρών ( γωνιακή μάσκα >5° )

Ημερομηνία : 08/04/2010

Τρέχον αστερισμός : 21 SC σε λειτουργία ( 1,2,3,4,5,..,7,8,9,10,11,..,13,14,15,..,17,18,19,20,21,22,23,24 )



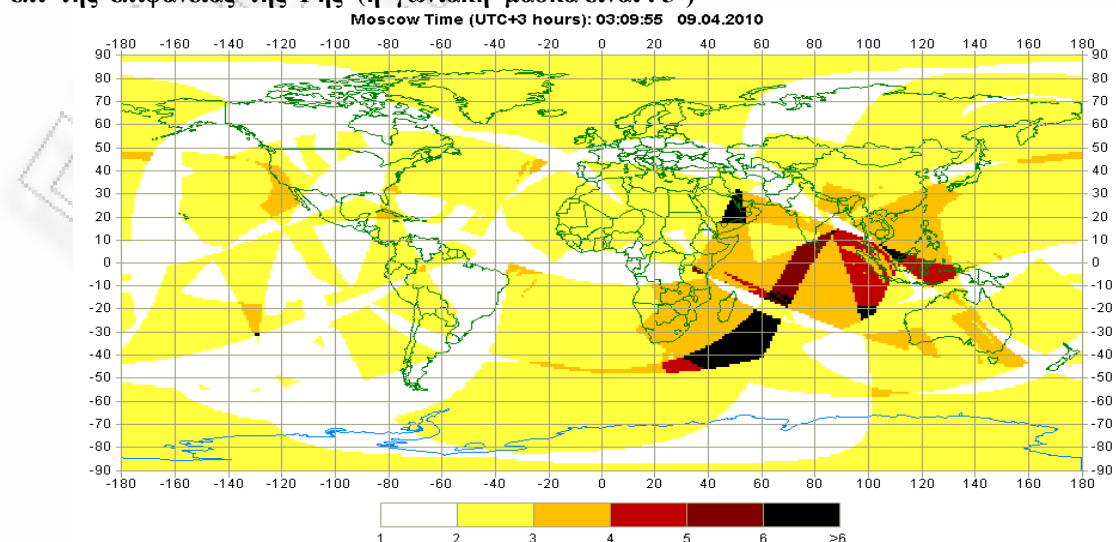
**Σημειώσεις :** α) Η διαθεσιμότητα υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τον τρέχοντα πίνακα για περίοδο 24 ωρών σαν ποσοστό του χρόνου κατά τον οποίο ισχύει η κατάσταση PDOP≤6, με γωνιακή μάσκα ≥5°, όπου PDOP είναι η ανάλυση της ακρίβειας θέσης ( τριών διαστάσεων ) . Βήμα υπολογισμού : 4 λεπτά σε διάρκεια και 1° μίρα επάνω από την επιφάνεια.

β) Η γωνιακή μάσκα είναι η γωνία ανώψωσης ενός δορυφόρου από τον ορίζοντα , με τυπική τιμή συνήθως 15° και μικρότερη δυνατή τιμή 5°. Κάτω από την τιμή αυτή η συσκευή GPS δεν λαμβάνει υπ όψιν τον συγκεκριμένο δορυφόρο ( που βρίσκεται μεν επάνω από τον ορίζοντα αλλά κάτω από 5° ) κατά τους υπολογισμούς του στίγματος.

γ) Η έγχρωμη κλίμακα κάτω από τον χάρτη είναι απεικόνιση του ποσοστού του χρόνου ( των 24 ωρών ) κατά τον οποίο έχουμε την μεγαλύτερη διαθεσιμότητα.

δ) Η μάσκα PDOP ( Position Dilution of Precision - Θέσης Μειωμένης Ακρίβειας ) προσδιορίζει ένα συντελεστή λάθους στην ακρίβεια θέσης , επάνω από τον οποίο οι συσκευές GPS δεν λαμβάνουν δεδομένα. Χαμηλός συντελεστής < 4 σημαίνει μικρό λάθος εντοπισμού θέσης , ενώ PDOP > 6 σημαίνει μεγάλο λάθος εντοπισμού θέσης. Τυπική τιμή του PDOP είναι < 6.

**Τρέχουσες τιμές του Συντελεστού Γεωμετρικής Θέσης PDOP ( Position Dilution of Precision ) επί της επιφάνειας της Γής ( η γωνιακή μάσκα είναι : 5° )**



Ας δούμε όμως γιατί ο χρονικός προσδιορισμός του σήματος είναι απαραίτητος?. Για να προσδιορίσει την ακριβή θέση του, το GPS συγκρίνει την ώρα που ο δορυφόρος εξέπεμψε το μήνυμα, με την ώρα που το μήνυμα ελήφθη από το GPS. Η διαφορά αυτή δείχνει στο GPS πόσο μακριά είναι ο δορυφόρος-αποστολέας. Αν τώρα προσθέσουμε και τις μετρήσεις που παίρνουμε και από τους άλλους δορυφόρους που βρίσκονται στην εμβέλειά μας, προσδιορίζουμε την ακριβή θέση μας με τριγωνομετρικούς υπολογισμούς. Αυτή ακριβώς είναι η δουλειά που κάνει το GPS. Γι' αυτό χρειάζονται τουλάχιστον τρεις δορυφόροι ώστε να μπορεί να προσδιοριστεί το γεωγραφικό μήκος και πλάτος (latitude/longitude), δηλαδή το στίγμα μας σε δύο διαστάσεις. Με περισσότερους από τρεις δορυφόρους διαθέσιμους, ένα GPS μπορεί να προσδιορίσει και την τρίτη διάσταση (το ύψος-altitude). Επειδή η πληροφορία αυτή εκπέμπεται συνεχώς από όλους τους δορυφόρους, το GPS μπορεί με τη διαφορά χρόνου και θέσης να προσδιορίσει και την ταχύτητα και την διεύθυνση που κινείται ('ground speed' ή SOG - Speed Over Ground, και 'ground track' ή COG - Course Over Ground).

## 12. Πηγές λαθών των συστημάτων GPS-GLONASS-GALILEO

Μέχρι εδώ, είδαμε την καλή πλευρά -θεωρητικά- του συστήματος. Γιατί όμως στην πράξη η απόδοση του GPS δεν είναι τόσο καλή; Γιατί το στίγμα που παίρνουμε δεν είναι τόσο ακριβές όσο το περιγράψαμε;

Υπάρχουν πολλοί παράγοντες που αυξάνουν το σφάλμα στις μετρήσεις. Ο κυριότερος παράγοντας είναι αυτό που λέμε Επιλεκτική Διαθεσιμότητα [Selective Availability (SA)] στην Αγγλική γλώσσα. Όπως λέει και η ίδια η λέξη, επίτηδες και επιλεκτικά, ελαττώνεται η ακρίβεια του στίγματος από το ίδιο το σύστημα. Το Αμερικανικό Υπουργείο Άμυνας κρίνει ότι η ακρίβεια που παρέχει το σύστημα GPS είναι αρκετή για χρήση μη-στρατιωτική. Αντίθετα, οι Αμερικανικές στρατιωτικές δυνάμεις έχουν στη διάθεσή τους το σύστημα σε πλήρη λειτουργία δίνοντας τους ακρίβεια εκατοστού.

Για εμάς λοιπόν που έχουμε την επιλεκτική διαθεσιμότητα (SA) της Αμερικής, η ακρίβεια του στίγματος έχει απόκλιση περίπου 100 μέτρων (328 πόδια). Ευτυχώς με διάφορα έξυπνα τρικ που χρησιμοποιούν τα ίδια τα GPS, η απόκλιση ελαττώνεται στα 20 έως 30 μέτρα.

Ο αρχικός σκοπός του GPS ήταν καθαρά στρατιωτικός. Ξεκίνησε με την πρωτοβουλία του τότε προέδρου των ΗΠΑ Ρόναλντ Ρέιγκαν και είχε ονομαστεί "Πόλεμος των Άστρων". Καθώς όμως το σύστημα εξελισσόταν και ο κόσμος εξοικειωνόταν στην ιδέα των δορυφόρων, άρχισαν να εμφανίζονται ιδέες για την εκμετάλλευση του συστήματος σε μη στρατιωτικές εφαρμογές. Με επίσημο διάγγελμα του προέδρου Ρέιγκαν, στις αρχές του 1980 το σύστημα GPS διατέθηκε προς χρήση στο κοινό, με τη διαφορά που προαναφέραμε, ότι δηλαδή η πλήρης λειτουργικότητα του συστήματος θα είναι διαθέσιμη μόνο στον Αμερικάνικο Στρατό. Ο λόγος ήταν να μην χρησιμοποιηθεί το σύστημα από τρομοκράτες και εχθρικές δυνάμεις.

Πιο κάτω παραθέτουμε αναλυτικά τις κυριότερες αιτίες δημιουργίας σφαλμάτων που αντιμετωπίζουμε, στην προσπάθεια ακριβέστερου εντοπισμού της θέσης μας, με την χρήση του GPS.

- A ). Λάθη ρολογιών και χρονισμού
- B ). Ιονοσφαιρικές καθυστερήσεις σημάτων
- Γ ). Τροποσφαιρικές - Ατμοσφαιρικές καθυστερήσεις
- Δ ). Πολλαπλές διαδρομές από ανακλάσεις

- Ε ). Λάθη εφημερίδων
- Ζ ). Γεωμετρία Δορυφόρων
- Η ). Επιλεκτική Διαθεσιμότητα
- Ι ). Άλλες πηγές λαθών

#### Α ). Λάθη ρολογιών και χρονοισμού

Είναι τα λάθη που εισάγονται στους υπολογισμούς, λόγω μη απόλυτου συγχρονισμού των ρολογιών των δορυφόρων, των επίγειων σταθμών ελέγχου και των συσκευών GPS των χρηστών .

#### **Τα χρονόμετρα των δορυφόρων**

Ένα δισεκατομμυριοστό του δευτερολέπτου (ένα nanosecond) ανακρίβειας στο ρολόι του δορυφόρου επιδρά σε 30 εκατοστά λάθους στον υπολογισμό της απόστασης από ένα δορυφόρο. Για αυτό τον λόγο, οι δορυφόροι είναι εξοπλισμένοι με ρολόγια (ατομικά χρονόμετρα) μεγάλης ακριβείας (χρονόμετρα καισίου ή ρουβιδίου ή ακόμα καλύτερα με Παθητικά Maser Ατόμων Υδρογόνου).



Ατομικό ρολόι καισίου

Ένα ατομικό ρολόι δουλεύει όπως ένα συμβατικό ρολόι, μόνον που αντί να χρησιμοποιεί μια ταλαντευόμενη μάζα, χρησιμοποιεί τις ιδιότητες των ατόμων κάποιων στοιχείων, όταν αυτά μεταπίπτουν από μια ενεργειακή κατάσταση (υψηλότερη στοιβάδα) σε μια άλλη (χαμηλότερη στοιβάδα). Τότε το άτομο απελευθερώνει ενέργεια σε μία πολύ συγκεκριμένη (ακριβή) συχνότητα, η οποία είναι χαρακτηριστική του τύπου του ατόμου. Αυτό μοιάζει σαν την υπογραφή του συγκεκριμένου τύπου του υλικού που χρησιμοποιείται. Εν συνεχεία η παραγόμενη συχνότητα χρησιμοποιείται σαν είσοδος (input) σε έναν μετρητή ακριβείας. Η μεταπήδηση αυτή από μια ενεργειακή κατάσταση σε μια άλλη, γίνεται με απορρόφηση ή αποδέσμευση φωτεινής ή μικροκυματικής συχνότητας. Στην περίπτωση μας, στο ατομικό ρολόι ισοτόπων Καισίου 133, ένα ατομικό δευτερόλεπτο αντιστοιχεί 9.192.631.700 παλμούς συχνότητας, όταν το άτομο αυτό εκτεθεί σε κατάλληλη ενεργειακή διέγερση.



Ατομικό ρολόι ρουβιδίου

Ακόμα και αυτά τα ρολόγια όμως, συσσωρεύουν λάθη ενός δισεκατομμυριοστού του δευτερολέπτου κάθε τρεις ώρες. Για να αναχθεί η ολίσθηση του χρονομέτρου του δορυφόρου, τα χρονόμετρα αυτά παρακολουθούνται από επίγειους σταθμούς και συγκρίνονται με το κύριο χρονόμετρο ελέγχου (master control clock), όπου είναι ένας συνδυασμός από περισσότερα από δέκα μεγάλης ακριβείας ατομικά χρονόμετρα. Τα λάθη και οι ολισθήσεις των χρονομέτρων των δορυφόρων υπολογίζονται και περιλαμβάνονται στα μεταδιδόμενα από τους δορυφόρους σήματα. Στο υπολογισμό των αποστάσεων προς τους δορυφόρους, οι δέκτες GPS αφαιρούν τα σφάλματα των χρονομέτρων των δορυφόρων από τον αναφερόμενο χρόνο μετάδοσης, για να προκύψει η αληθής διάρκεια μετάδοσης του σήματος.



Ατομικό ρολόι MASER Υδρογόνου



Η σταθερότητα των χρονομέτρων ρουβιδίου είναι τόσο καλή που χάνουν μόνον τρία (3) δευτερόλεπτα σε ένα (1) εκατομμύριο χρόνια, ενώ η σταθερότητα των χρονομέτρων Παθητικού Maser Υδρογόνου, είναι ακόμα καλύτερη και φθάνει να χάνουν ένα (1) δευτερόλεπτο σε τρία (3) εκατομμύρια χρόνια.

Η παραγόμενη συχνότητα από ένα ατομικό ρολόι MASER Υδρογόνου είναι 1.420 MHz. Τα ηλεκτρονικά κυκλώματα του ρολογιού περιλαμβάνουν βαθμίδες ελέγχου της συχνότητας και βαθμίδες ελέγχου θερμοκρασίας, ώστε να διατηρούν την κοιλότητα συντονισμού στη σωστή πάντα θερμοκρασία. Η συχνότητα συντονισμού (ιδιοσυχνότητα) της μικροκυματικής κοιλότητας, είναι πολύ ευαίσθητη στις εξωτερικές μεταβολές και επιδράσεις (για παράδειγμα στα μαγνητικά πεδία). Έτσι λαμβάνεται ιδιαίτερη φροντίδα ώστε οι επιδράσεις του περιβάλλοντος να είναι όσο το δυνατόν μικρότερες, ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη ακρίβεια από αυτά τα υπεσύγχρονα και εξαιρετικά ακριβή χρονόμετρα.

Παρά τις προσπάθειες των σταθμών ελέγχου για παρακολούθηση της συμπεριφοράς των χρονομέτρων του κάθε δορυφόρου, τα λάθη δεν μπορούν με ακρίβεια να προσδιοριστούν. Κάθε λάθος των χρονομέτρων των δορυφόρων που απομένει, συσσωρεύει σφάλμα μερικών nanoseconds (δισεκατομμυριοστών του δευτερολέπτου) το οποίο προκαλεί σφάλμα στην υπολογιζόμενη απόσταση κατά 1 ή περισσότερα μέτρα περίπου.

### **Τα χρονόμετρα των δεκτών**

Παρόμοιο με το σφάλμα των χρονομέτρων των δορυφόρων, το χρονόμετρο του δέκτη προκαλεί σφάλμα στον υπολογισμό των αποστάσεων. Από την άλλη πλευρά δεν είναι και τόσο πρακτικό να εξοπλίζονται οι δέκτες με ατομικά χρονόμετρα ακριβείας, μια που αυτά τα χρονόμετρα ζυγίζουν περισσότερο από 20 κιλά, κοστίζουν περίπου \$50.000 και απαιτούν εκτεταμένη φροντίδα στον έλεγχο της θερμοκρασίας.

Έτσι ας υποθέσουμε ότι σε μια δεδομένη χρονική στιγμή το χρονόμετρο του δέκτη μας έχει σφάλμα ενός χιλιοστού, προκαλώντας σφάλμα στο υπολογισμό της απόστασης κατά 300.000 μέτρα. Αν οι αποστάσεις προς όλους τους ορατούς δορυφόρους υπολογίζονται την ίδια χρονική στιγμή, τότε είναι όλες λάθος κατά 300.000 μέτρα. Μπορούμε συνεπώς να εισάγουμε το σφάλμα του χρονομέτρου του δέκτη ως ένα άγνωστο για τον οποίο θα επιλύσουμε ώστε να υπολογίσουμε την τιμή του. Οι άγνωστοι για τον υπολογισμό της θέσης είναι τρεις. Τώρα έχουμε τέσσερις αγνώστους: τρεις συνιστώσες για την θέση και ο καινούργιος άγνωστος του σφάλματος του χρονομέτρου του δέκτη. Για την επίλυση των τεσσάρων αγνώστων χρειαζόμαστε τέσσερις εξισώσεις. Λαμβάνοντας σήματα από τέσσερις δορυφόρους, ο δέκτης αποκτά απαραίτητο αριθμό εξισώσεων για την επίλυση του παραπάνω συστήματος των τεσσάρων αγνώστων. Με αυτό τον τρόπο ναι μεν χρειαζόμαστε περισσότερους ορατούς δορυφόρους (τέσσερις), αλλά ταυτόχρονα χρησιμοποιούμε οικονομικότερα ρολόγια στους δέκτες GPS.

Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι η έννοια εισαγωγής του χρονομέτρου του δέκτη σαν ένας από τους αγνώστους, είναι βάσιμη μόνο όταν έχουμε παρατηρήσεις ως προς τους δορυφόρους την ίδια χρονική στιγμή. Αν οι αποστάσεις προς τους δορυφόρους δεν υπολογίζονται την ίδια χρονική στιγμή, τότε για κάθε μέτρηση έχουμε διαφορετικό χρονόμετρο. Κάνοντας ταυτόχρονες παρατηρήσεις ως προς τέσσερις δορυφόρους δεν υπολογίζουμε μόνο την θέση του δέκτη μας, αλλά και το σφάλμα του χρονομέτρου του με πολύ καλή ακρίβεια. Ένα τυπικό ρολόι έχει μια ολίσθηση της τάξης των 1000 nanoseconds το δευτερόλεπτο, αλλά με τον παραπάνω τρόπο μπορούμε να συγχρονίσουμε το ρολόι του δέκτη μας με το ρολόι των δορυφόρων του GPS. Οι δέκτες GPS διορθώνουν τον χρόνο

τους κάθε δευτερόλεπτο και μπορούν να παρέχουν ένα εξωτερικό παλμό κάθε δευτερόλεπτο για χρήστες οι οποίοι χρειάζονται ακριβή χρόνο. Οι δέκτες GPS μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σαν χρονόμετρα ακριβείας τοποθετώντας τους σε σημείο γνωστών συντεταγμένων, οπότε και χρειάζεται μόνο ένας δορυφόρος για να υπολογιστεί ο ακριβής χρόνος και να συγχρονιστεί το χρονόμετρο του δέκτη.

Ο ελάχιστος αριθμός δορυφόρων που χρειάζονται για να υπολογιστεί η θέση και ο χρόνος είναι τέσσερις. Από εκεί και πέρα όσο περισσότεροι είναι οι ορατοί δορυφόροι, τόσο μεγαλύτερη είναι ακρίβεια που παρέχεται.

### **B). Ιονοσφαιρικές Καθυστερήσεις**

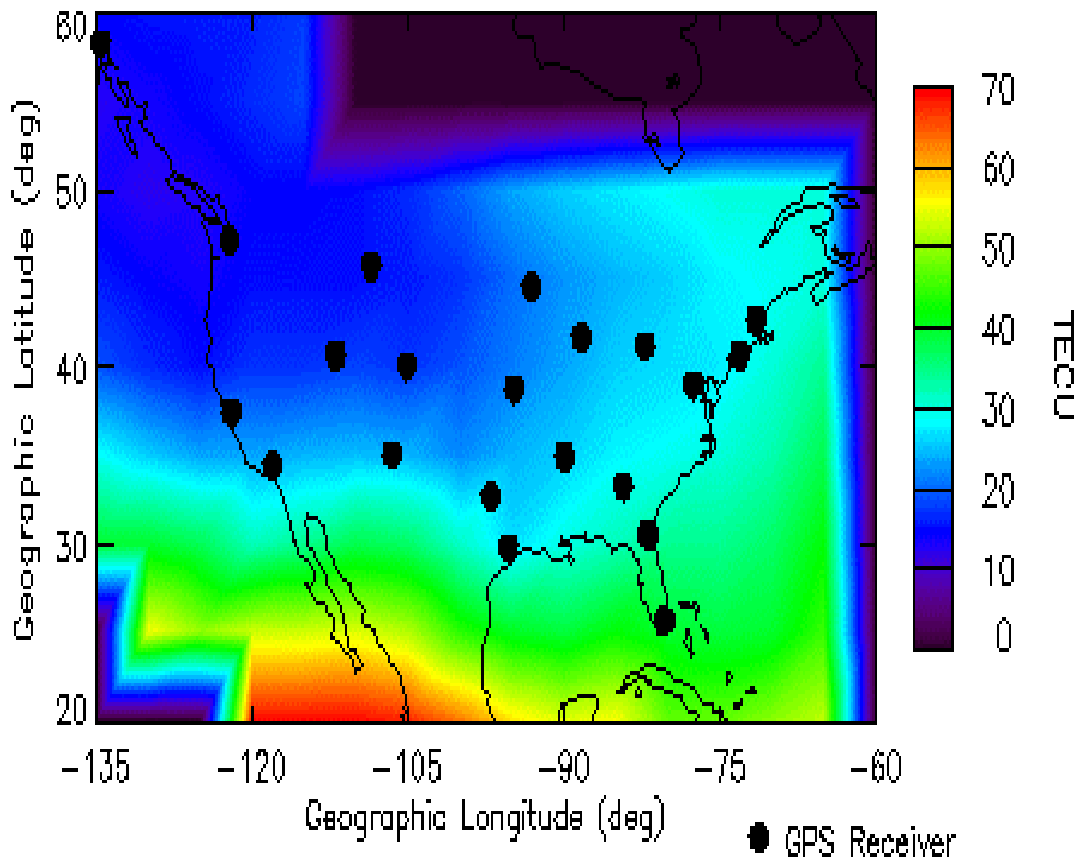
Η ιονόσφαιρα είναι μια «κουβέρτα» φορτισμένων σωματιδίων 60 - 800 Χιλιόμετρα περίπου πάνω από την Γη. Το στρώμα αυτό έχει τα κάτωθι χαρακτηριστικά:

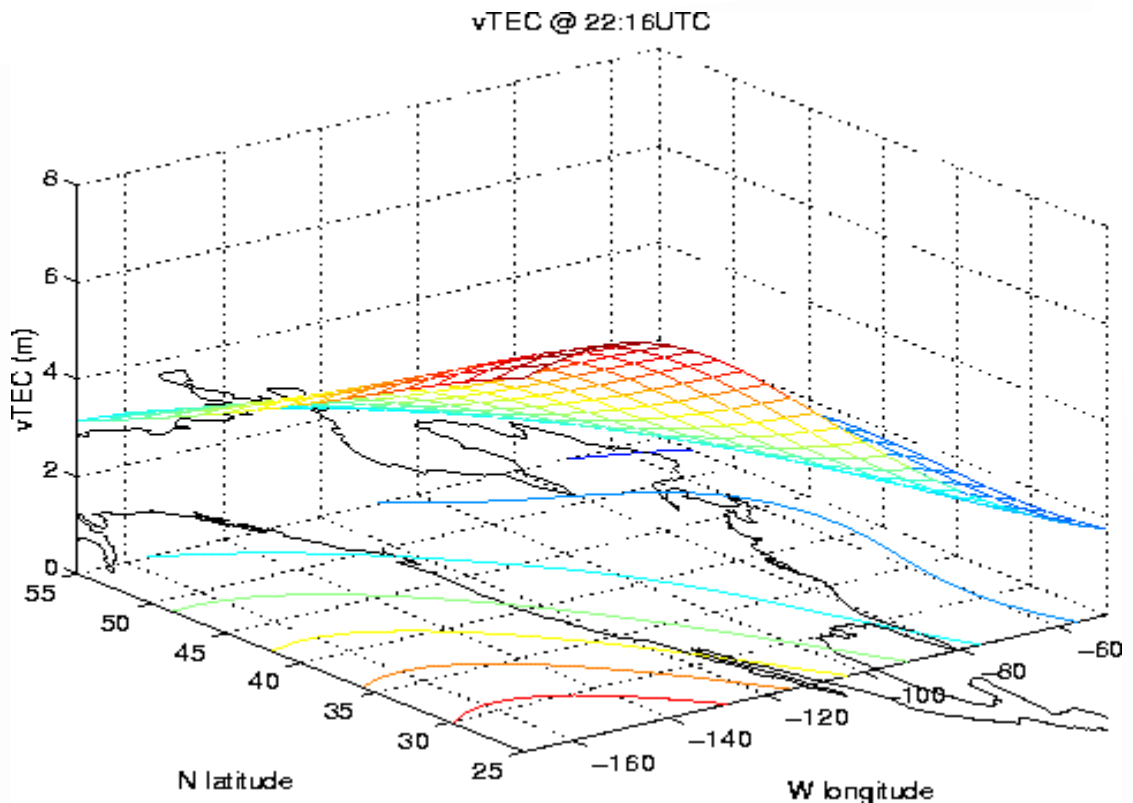
- Τα φορτισμένα σωματίδια επηρεάζουν την ταχύτητα του φωτός
- Τα φορτισμένα σωματίδια καθυστερούν τα ραδιοκύματα
- Τα φορτισμένα σωματίδια ανακλούν επίσης τα ραδιοκύματα

**JPL**

03/21/01  
21:15 UT

### Ionospheric TEC Map (USA)

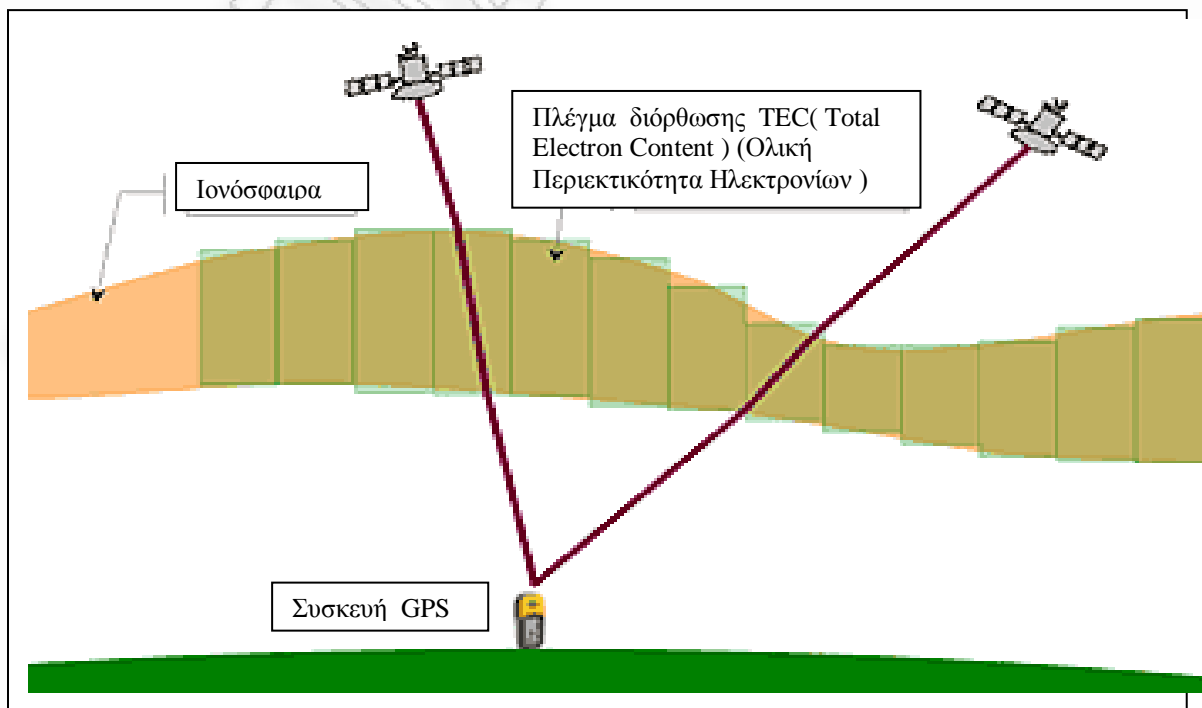




Γράφημα του πλέγματος της TEC (Total Electron Content) (Ολική Περιεκτικότητα Ηλεκτρονίων), πάνω από την περιοχή της Βόρειας Αμερικής

### Επίδραση Ιονόσφαιρας στα ραδιοσήματα

- Όταν τα ραδιοσήματα ταξιδεύουν μέσω της ιονόσφαιρας, επιβραδύνονται με ρυθμό αντιστρόφως ανάλογο του κλάσματος  $(1/\text{συχνότητα})^2$
- Οι χαμηλές συχνότητες επιβραδύνονται περισσότερο
- Το πάχος της ιονόσφαιρας αυξάνει ανάλογα με την ηλιακή δραστηριότητα



### **Αντιμετώπιση της Ιονοσφαιρικής επιβράδυνσης των ραδιοσημάτων.**

- Δέκτες δύο συχνοτήτων ( διπλής συχνότητας ), λαμβάνουν τις συχνότητες L1 και L2
- Εάν συγκρίνουμε τους χρόνους άφιξης των δύο συχνοτήτων , μπορούμε να υπολογίσουμε την μείωση της ταχύτητας των δύο συχνοτήτων
- Γνωρίζοντας την μείωση της ταχύτητας , οι δέκτες δύο συχνοτήτων μπορούν να υπολογίσουν την θέση τους με μεγαλύτερη ακρίβεια.
- Το κυριότερο χαρακτηριστικό των συστημάτων βελτίωσης της ακρίβειας (SBAS / EGNOS ), είναι η δυνατότητα που έχουν να διορθώνουν τα λάθη της Ιονοσφαιρικής επιβράδυνσης . Αυτό επιτυγχάνεται ως εξής : Από τα μετρούμενα δεδομένα των σταθμών RIMS , υπολογίζεται ένας « χάρτης » της συνολικής περιεκτικότητας ηλεκτρονίων της Ιονόσφαιρας ( TEC ), για την περιοχή που καλύπτει ο σταθμός RIMS. Ο « χάρτης » αυτός εκπέμπεται προς τον γεωστατικό δορυφόρο που ο ίδιος τώρα δρά σαν δορυφόρος GPS , δηλαδή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό θέσης , αλλά ταυτόχρονα παρέχει στον δέκτη την πληροφορία που χρειάζεται για την διόρθωση των ιονοσφαιρικών επιδράσεων. Για το σύστημα EGNOS τα δεδομένα στέλνονται από το Aussaguel και το Goonhilly ( Μεγάλη Βρετανία ) στον γεωστατικό δορυφόρο AOR-E και από το Fucine ( Ιταλία ) και Goonhilly ( Μεγάλη Βρετανία ) στον γεωστατικό δορυφόρο IOR-F5. Από τους σταθμούς Torrejon ( Ισπανία ) και Scanzano ( Ιταλία ) , τα δεδομένα εκπεμπούν στον γεωστατικό δορυφόρο της ESA "ARTEMIS ". Οι γεωστατικοί δορυφόροι παρέχουν ένα σήμα αρκετά όμοιο με αυτό των δορυφόρων GPS και στην ίδια συχνότητα. Για αυτό τον λόγο οι δορυφόροι αυτοί , μπορούν να χρησιμοποιηθούν για υπολογισμό θέσης και επιπροσθέτως τα διορθωμένα δεδομένα που εκπέμπουν , μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να βελτιώσουν την ακρίβεια των υπολογισμών θέσης σε όλους τους δορυφόρους GPS .

Χρησιμοποιώντας τώρα τα διαγράμματα TEC ( Ολική Περιεκτικότητα Ηλεκτρονίων ) που εκπέμπονται από τους γεωστατικούς δορυφόρους , οι συσκευές GPS μπορούν να υπολογίσουν το « σημείο διείσδυσης » και την καθυστέρηση του σήματος κάθε GPS δορυφόρου και να διορθώσουν τα δεδομένα ώστε να πετύχουν μεγαλύτερη ακρίβεια στον προσδιορισμό της θέσης τους.

### **Γ ). Τροποσφαιρικές - Ατμοσφαιρικές καθυστερήσεις**

Η τροπόσφαιρα – που συνήθως την θεωρούμε ατμόσφαιρα- εκτείνεται από την επιφάνεια της Γης έως περίπου τα 60 Χιλιόμετρα καθ΄ ύψος. Η τροπόσφαιρα έχει τα κάτωθι χαρακτηριστικά :

- Ανακλά τα ραδιοκύματα
- Τα σύννεφα και η υγρασία επιβραδύνουν τα ραδιοκύματα ( αλλά με διαφορετικό ρυθμό από ότι η Ιονόσφαιρα.

- Αν και οι τροποσφαιρικές καθυστερήσεις είναι ίδιες με τις ιονοσφαιρικές, εν τούτοις η επιβράδυνση που προκαλούν τα σύννεφα και η υγρασία, δεν εξαρτάται από την συχνότητα

### **Αντιμετώπιση της Ιονοσφαιρικής / Τροποσφαιρικής επιβράδυνσης των σημάτων.**

Ένας τρόπος να περιοριστούν τα ιονοσφαιρικά και τροποσφαιρικά λάθη είναι να χρησιμοποιήσουμε μια γωνιακή μάσκα (γωνιακό φίλτρο)

- Η γωνιακή μάσκα τοποθετείται στους δέκτες GPS, ώστε να μην επιτρέπει στους δέκτες αυτούς να χρησιμοποιούν δορυφόρους που βρίσκονται χαμηλά στον ορίζοντα
- Το σήμα των δορυφόρων που βρίσκονται χαμηλά στον ορίζοντα θα ταξιδέψει σε μεγαλύτερο πάχος της ιονόσφαιρας/ τροπόσφαιρας και επομένως θα δίνει μεγαλύτερο λάθος
- Η τυπική γωνιακή μάσκα (γωνιακό φίλτρο) είναι συνήθως  $15^\circ$ .

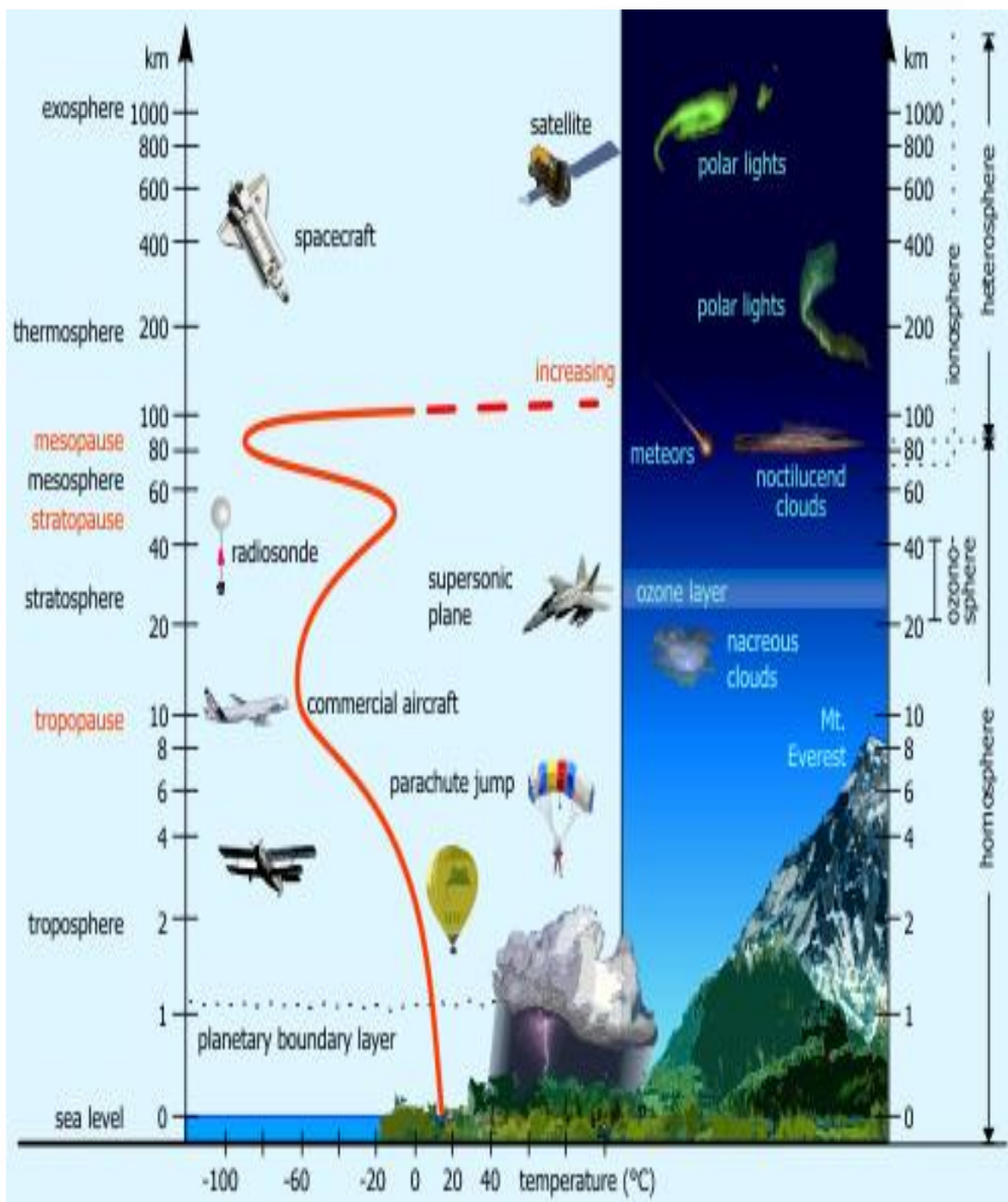
Κατωτέρω απεικονίζεται γραφικά η κάθετη δομή της Ιονόσφαιρας και της Τροπόσφαιρας με τα αντίστοιχα ύψη, καθώς και η κατανομή της θερμοκρασίας και των δραστηριοτήτων που λαμβάνουν χώρα σε όλο το πάχος των στρωμάτων αυτών.

Η περιοχή πάνω από τη μεσόπαιση ονομάζεται *θερμόσφαιρα*. Εδώ η συμπεριφορά της ατμόσφαιρας αλλάζει κατά δραματικό τρόπο. Όπως φαίνεται από το κατωτέρω σχήμα η θερμόσφαιρα εκτείνεται προς τα πάνω αρκετές εκατοντάδες χιλιόμετρα, όπου οι θερμοκρασίες κυμαίνονται μεταξύ  $-80^\circ\text{C}$  έως και  $1700^\circ\text{C}$ , ανάλογα με τη δραστηριότητα στον ήλιο

Η *θερμόπαιση* ορίζεται σαν το επίπεδο εκείνο πάνω από το οποίο η θερμοκρασία παραμένει σχεδόν σταθερή με το ύψος. Η θερμοκρασία αυξάνεται με το ύψος λόγω απορρόφησης της υπεριώδους ακτινοβολίας σε εξώθερμες αντιδράσεις φωτοδιάσπασης και φωτοιονισμού.

Πάνω από τη μεσόπαιση παρατηρείται μια θετική κλίση θερμοκρασίας, κυρίως λόγω απορρόφησης υπεριώδους ενέργειας και λόγω έλλειψης αποτελεσματικών μηχανισμών θερμικής εκπομπής.

Η ποσότητα θερμότητας στην περιοχή αυτή ακολουθεί μεταβολές, που επηρεάζονται από την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία και κατά συνέπεια παρατηρούνται ημερήσιες, εποχικές και γεωγραφικές μεταβολές, επηρεάζουν και την διάδοση των ραδιοκυμάτων

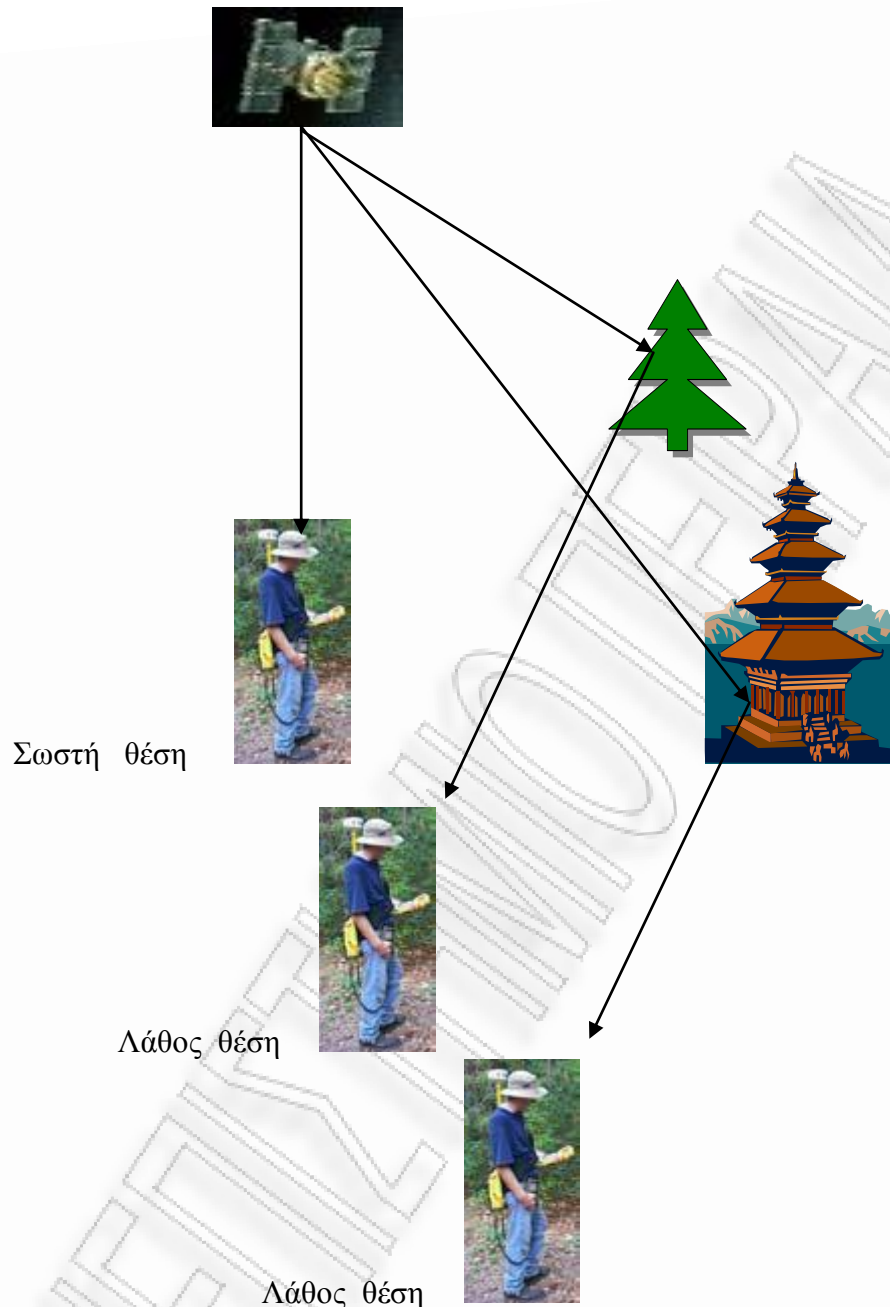


Στο ανωτέρω σχέδιο φαίνεται η κάθετη δομή της Γήινης ατμόσφαιρας

#### Δ). Σήμα από Πολλαπλές Διαδρομές και από Ανακλάσεις

Τα σήματα των δορυφόρων μπορούν να ανακλαστούν στα κτήρια, στο νερό, στα δένδρα, κ.λπ. και μετά να ταξιδέψουν προς την κεραία του δέκτη

- Αυτό το μονοπάτι ανάκλασης του σήματος είναι μακρύτερο από το απ' ευθείας μονοπάτι του σήματος και επομένως δίνει έναν μεγαλύτερο χρόνο ταξιδιού του σήματος
- Μεγαλύτεροι χρόνοι ταξιδιού του σήματος συνεπάγονται λανθασμένους υπολογισμούς θέσης



Το ανωτέρω σχέδιο δίνει παραστατικά την λανθασμένη θέση του χρήστη λόγω της ύπαρξης πολλαπλών διαδρομών του σήματος

### **Ε). Λάθη Πινάκων ( Τρογιακά λάθη Εφημερίδων )**

Τα λάθη των πινάκων ( εφημερίδων ) οφείλονται σε μικρές αποκλίσεις των πραγματικών τροχιών των δορυφόρων από τις προβλεπόμενες τροχιές τους. Αυτό δημιουργεί μερικά μέτρα λάθους στον υπολογισμό της θέσης του δέκτη.

### **Ζ). Γεωμετρία Δορυφόρων**

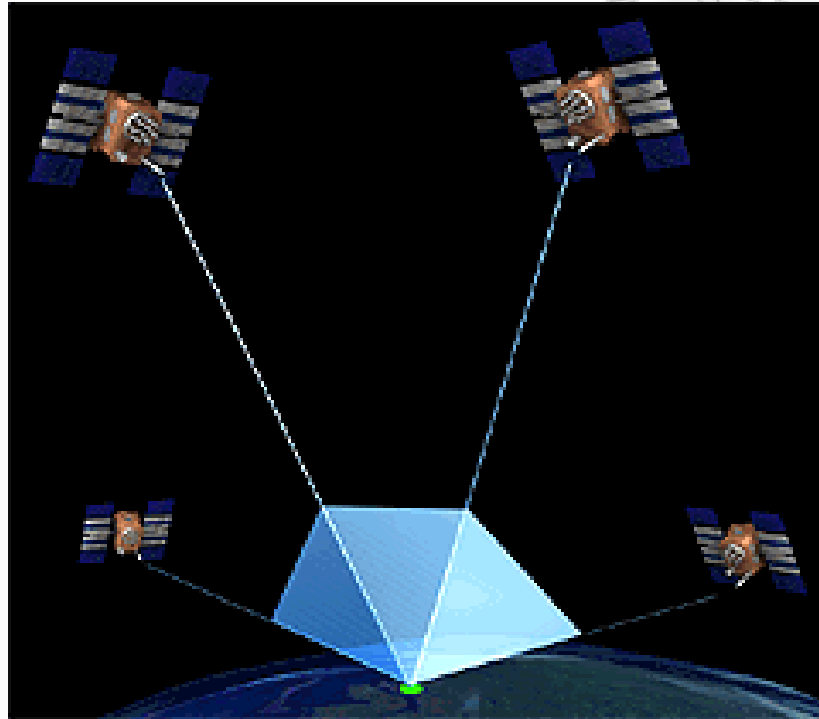
Η Γεωμετρία των δορυφόρων προσδιορίζεται με τον συντελεστή GDOP και επηρεάζει την ακρίβεια προσδιορισμού θέσεως των συσκευών GPS

Ο συντελεστής GDOP ( Geometric Dilution Of Prediction ) αναφέρεται στο πού βρίσκονται οι δορυφόροι σε σχέση μεταξύ τους και ερμηνεύεται ως ο λόγος του σφάλματος υπολογισμού της θέσης με το σφάλμα υπολογισμού των αποστάσεων προς τους δορυφόρους.

« Μελέτη βελτίωσης της ακρίβειας & ασφάλειας πλοήγησης με χρήση του Ευρωπαϊκού Δορυφορικού Συστήματος EGNOS »

Ο συντελεστής GDOP επίσης περιλαμβάνει τον συντελεστή TDOP ( Time Dilution Of Precision ) ( Χρονική αβεβαιότητα ακρίβειας ), ο οποίος ποσοστοποιεί τα λάθη ολίσθησης χρονισμού.

Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνεται ένα τετράεδρο το οποίο σχηματίζεται από τις γραμμές που συνδέουν τον δέκτη GPS, 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.



Συνήθως όμως προσδιορίζουμε μόνον τον PDOP (Position Dilution Of Precision). Ο συντελεστής αυτός περιλαμβάνει τους εξής επί μέρους συντελεστές :

- Τον συντελεστή VDOP ( Vertical Dilution Of Precision )( Κάθετο αβεβαιότητα ακρίβειας )
- Τον συντελεστή HDOP ( Horizontal Dilution Of Precision )(Οριζόντια αβεβαιότητα ακρίβειας)

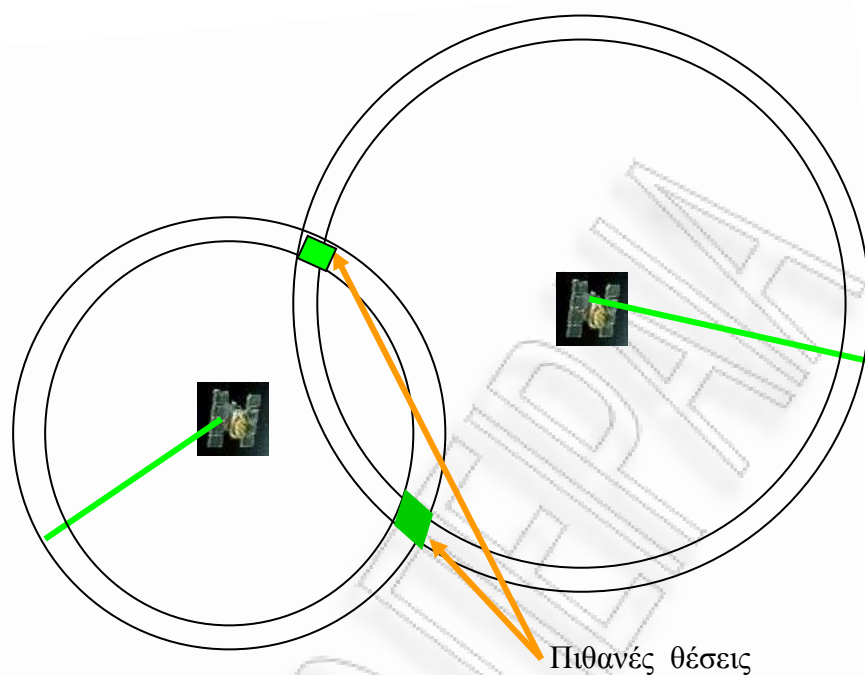
Οι περισσότεροι δέκτες επιτρέπουν την χρήση ενός φίλτρου,(του συντελεστού PDOP)

- Η μάσκα του PDOP προσδιορίζει την τιμή πάνω από την οποία ο δέκτης δεν συλλέγει δεδομένα
- Χαμηλός PDOP ( μικρότερος από 4 ) σημαίνει μικρό λάθος θέσης
- Υψηλός PDOP ( μεγαλύτερος από 8 ) σημαίνει μεγάλο λάθος θέσης

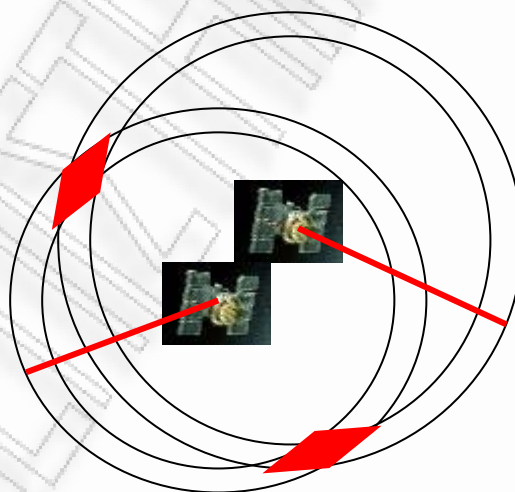
Ο συντελεστής PDOP είναι προβλέψιμος , δηλαδή η σχεδίαση μιας αποστολής μας επιτρέπει να επιλέξουμε χρονικές περιόδους που μπορούμε να δουλέψουμε με μικρότερο λάθος .

- Όταν οι δορυφόροι βρίσκονται διαχωρισμένοι μακριά ο ένας από τον άλλο, έχουμε μικρές περιοχές αβεβαιότητας, ( Χαμηλός συντελεστής PDOP ) όπως φαίνεται και στο πιο κάτω σχέδιο :





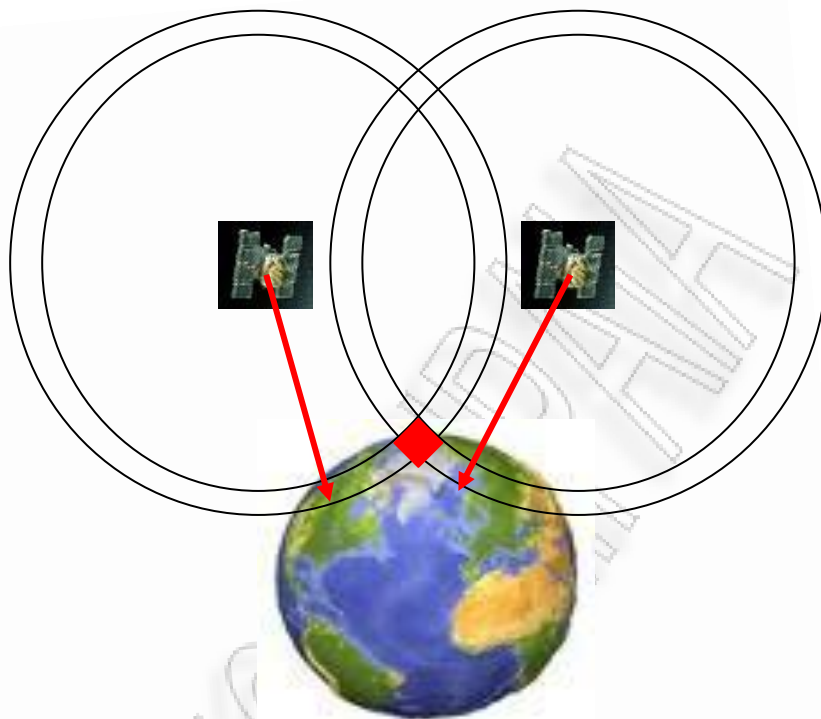
Εάν οι δορυφόροι βρίσκονται κοντά μεταξύ τους, τότε η θέση μας θα είναι μέσα σε ένα μεγάλο « κουτί », δηλαδή θα έχουμε μεγαλύτερη αβεβαιότητα ως αναφορά την πραγματική μας θέση (Μεγάλος συντελεστής PDOP). Αυτό φαίνεται καθαρά στο παρακάτω σχήμα :



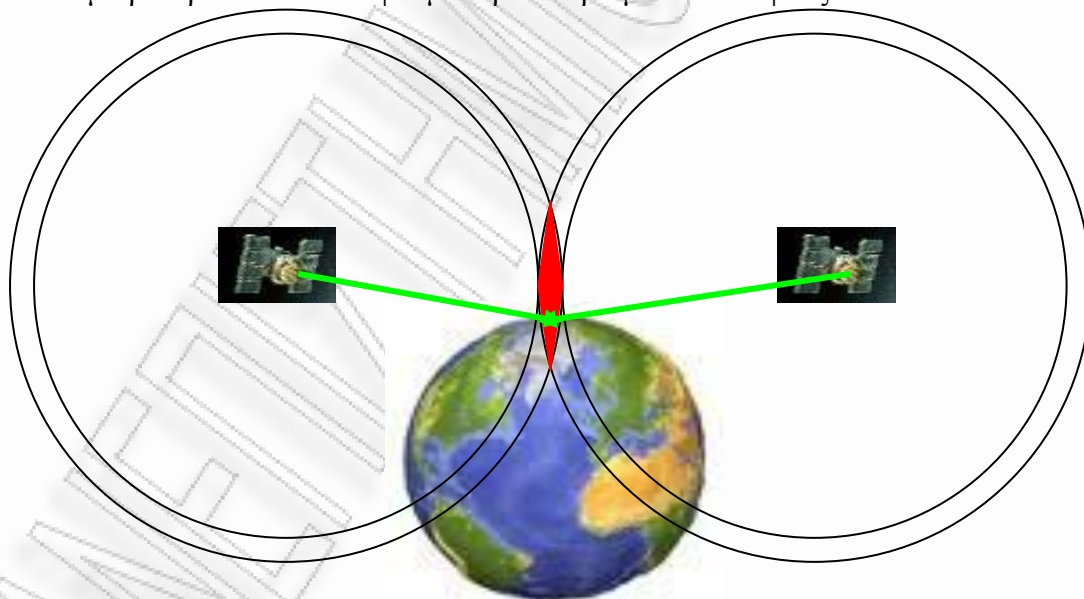
### Ακρίβεια ανύψωσης του GPS

Ο προσδιορισμός ύψους του GPS συνήθως έχει 2 έως 5 φορές μεγαλύτερο λάθος από το λάθος οριζόντιας θέσης. Αυτό εξαρτάται από τους εξής παράγοντες :

- Άμεσα από την γεωμετρία των δορυφόρων
- Από τον VDOP ( Vertical DOP ) ο οποίος είναι μικρότερος , εάν υπάρχουν περισσότεροι δορυφόροι ακριβώς από επάνω μας
- Συνήθως δεν έχουμε τόσο πολλούς δορυφόρους ακριβώς από επάνω μας



Από το ανωτέρω σχήμα φαίνεται ότι όσο μικρότερος είναι ο κάθετος συντελεστής VDOP τόσο μικρότερο είναι το σφάλμα προσδιορισμού του ύψους.



Από το ανωτέρω σχέδιο φαίνεται ότι όσο μεγαλύτερος είναι ο κάθετος συντελεστής VDOP τόσο μεγαλύτερο είναι το σφάλμα προσδιορισμού του ύψους.

Οι περισσότεροι δέκτες επιτρέπουν να ρυθμίσουμε την μάσκα της γωνίας ανύψωσης (την γωνία πάνω από τον ορίζοντα) και αυτό διότι:

- Όταν οι δορυφόροι είναι κοντά στον ορίζοντα, τα σήματα τους αναγκάζονται να διασχίσουν μεγαλύτερα πάχη ατμόσφαιρας, τροπόσφαιρας και ιονόσφαιρας και επομένως λαμβάνονται από τους δέκτες GPS με αυξημένο ηλεκτρονικό θόρυβο (αλλοίωση πληροφορίας σημάτων)
- Όταν οι δορυφόροι είναι κοντά στον ορίζοντα, τότε ο συντελεστής VDOP είναι μεγαλύτερος
- Η μάσκα της γωνίας ανύψωσης προσδιορίζει την μικρότερη γωνία ανύψωσης, κάτω από την οποία ο δέκτης δεν θα χρησιμοποιεί τον δορυφόρο αυτόν στους υπολογισμούς του

- Μια τυπική γωνία ανύψωσης είναι οι  $15^\circ$  μοίρες.
- Το μικρότερο όριο τιμής για την γωνία ανύψωσης, είναι οι  $5^\circ$  μοίρες.

#### Η). Επιλεκτική Διαθεσιμότητα

Το Υπουργείο Αμύνης των Ηνωμένων Πολιτειών είχε την δυνατότητα να υποβαθμίζει την ακρίβεια των δεκτών GPS των πολιτικών χρηστών, μέσω της ονομαζόμενης « Επιλεκτικής Διαθεσιμότητας ». Αυτό επιτυγχάνεται με τους κάτωθι τρόπους :

- Εισάγοντας τεχνητά λάθη χρονισμού
- Εισάγοντας λάθη στους καταλόγους των εφημερίδων

Έτσι τα τυπικά λάθη των εμπορικών δεκτών GPS είναι 100 μέτρα στο οριζόντιο επίπεδο και 300 μέτρα στο κάθετο επίπεδο. Η Επιλεκτική Διαθεσιμότητα ήταν ενεργοποιημένη τον περισσότερο χρόνο, καθώς και κατά την διάρκεια του Πόλεμου του Κόλπου, ενώ από την 1 Μαΐου του 2000 απενεργοποιήθηκε μόνιμα μέχρι και σήμερα. Αυτό έγινε δυνατόν, επειδή ο στρατός των Ηνωμένων Πολιτειών ανέπτυξε ένα νέο σύστημα που αφαιρεί την δυνατότητα χρήσης του GPS ή άλλων δορυφορικών συστημάτων πλοήγησης, από τις εχθρικές δυνάμεις και μόνον σε συγκεκριμένη περιοχή που υπάρχει κρίση, αφήνοντας ανεπηρέαστο τον υπόλοιπο κόσμο ή τις στρατιωτικές τους δυνάμεις.

#### Ι). Άλλες πηγές λαθών

Τέλος άλλες πηγές που εισαγάγουν λάθη στα σήματα των GPS είναι :

- Οι ηλιακές κηλίδες και ο ηλιακός άνεμος ( ηλιακές καταιγίδες ), που παραμορφώνουν τα σήματα των δορυφόρων
- Ο ηλεκτρονικός θόρυβος που επίσης παραμορφώνει τα σήματα

Έτσι για να βελτιώσουμε την ακρίβεια των GPS, τοποθετούμε στις συσκευές GPS, μια μάσκα (φίλτρο) που ονομάζεται Συντελεστής Σήματος προς Θόρυβο ( SNR ratio ), για τον οποίον θέλουμε :

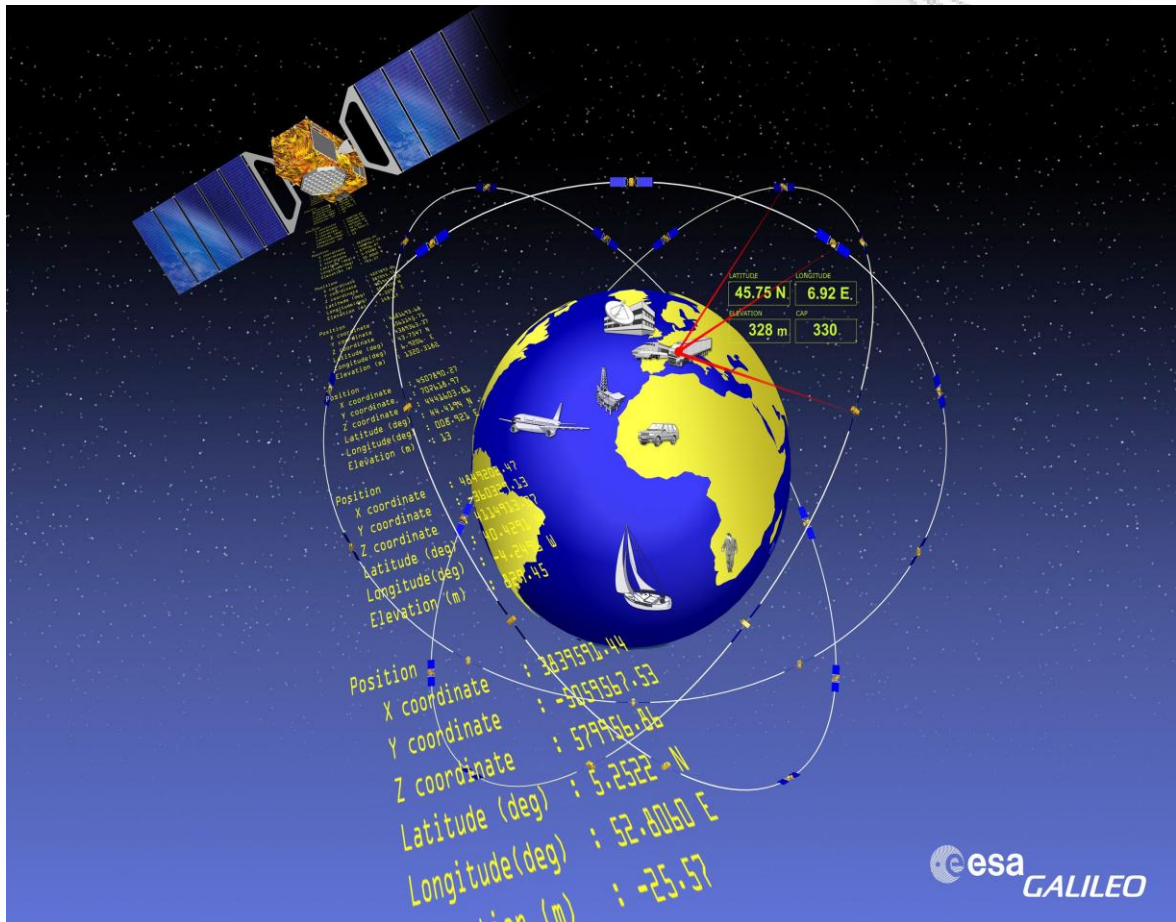
- Ο συντελεστής θορύβου SNR να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερος
- Για σχετικά υψηλή ακρίβεια δεδομένων, ο συντελεστής θορύβου SNR, επιλέγεται να είναι 6.0
- Το χαμηλότερο όριο της μάσκας ( φίλτρου ) του συντελεστή θορύβου SNR, είναι το 4.

Αρα λοιπόν, πόσο ακριβές μπορεί να είναι ένα GPS; Τυπικά, η ακρίβεια ενός GPS είναι 20 με 70 μέτρα (60 με 225 πόδια) και η ακρίβειά του εξαρτάται από τους λόγους που αναφέραμε πιο πάνω. Τα πιο ακριβή μοντέλα GPS προσφέρουν πολύ μεγαλύτερη ακρίβεια (σε πολύ υψηλότερη τιμή φυσικά), χρησιμοποιώντας πολλαπλές συχνότητες - μία συσκευή λειτουργεί σαν πολλές -, συγκρίνοντας τα αποτελέσματα της καθεμιάς και διορθώνοντας το τελικό αποτέλεσμα.

### 13. Γενικά για το σύστημα GNSS και το GALILEO

Από το 2000 και μετά, η Επιτροπή των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων με την Πράσινη Βίβλο έθεσε το πλαίσιο μέσα στο οποίο αναπτύσσονται οι εφαρμογές δορυφορικής πλοήγησης και σκιαγραφεί τα θέματα προς συζήτηση όσον αφορά το GNSS.

Σήμερα (2010) η Ευρωπαϊκή Ένωση αναπτύσσει ένα παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα πλοήγησης (GNSS), το οποίο εμπεριέχει το GALILEO και το EGNOS, προϋπολογισμού άνω των 10 δις. ευρώ και θα παρέχει υπηρεσίες εντοπισμού θέσης, πλοήγησης και χρονισμού ακριβείας.



Το GALILEO βασίζεται σε ένα σχηματισμό 30 δορυφόρων, οι οποίοι εκπέμπουν σειρά σημάτων πολύ υψηλής ποιότητας. Τα σήματα αυτά υποβάλλονται σε επεξεργασία από δέκτες, προκειμένου να καθορισθεί η θέση των δορυφόρων. Όλες οι άλλες λειτουργίες, όπως η χωροθέτησή τους σε ψηφιακό χάρτη ή η μετάδοση των πληροφοριών εντοπισμού για άλλους σκοπούς, εκτελούνται από τη συσκευή του χρήστη. Η ίδια η υποδομή δορυφορικής πλοήγησης είναι από το σχεδιασμό της "παθητική", δηλαδή δεν γνωρίζει τη θέση του χρήστη.



Η κατασκευή του Galileo αναμένεται να έχει ολοκληρωθεί μέχρι το 2012

« Μελέτη βελτίωσης της ακρίβειας & ασφάλειας πλοήγησης με χρήση του Ευρωπαϊκού Δορυφορικού Συστήματος EGNOS »

Οι δύο κοινοπραξίες που ανταγωνίζονταν για το Galileo, συμφώνησαν να συμμαχήσουν στις 27/6/2005 και να υποβάλλουν κοινή πρόταση για την κατασκευή και τη διαχείριση του.

Η **Επιτροπή Κοινής Ανάλυσης Galileo** (ο οργανισμός της ΕΕ που δημιουργήθηκε για να αναλάβει τα αρχικά στάδια του προγράμματος), δέχτηκε και υπέγραψε τα σχετικά συμβόλαια με τους ομίλους iNavSat και Eutely, στους οποίους συμμετέχουν κυρίως γαλλικές, γερμανικές, ισπανικές και ιταλικές εταιρείες. Η κοινή πρόταση περιέλαβε σημαντικές βελτιώσεις σε σχέση με τις ανεξάρτητες προσφορές των δύο κοινοπραξιών. Η προσωρινή έδρα της εταιρείας, στην οποία ανατέθηκε η ανάπτυξη και η δοκιμή του συστήματος, βρίσκεται στις Βρυξέλλες.

Οι οκτώ εταιρείες που σχηματίζουν την κοινοπραξία του Galileo - οι γαλλικές Thales και Alcatel-Lucent, η αεροδιαστημική βιομηχανία της Γερμανίας EADS και η Deutsche Telekom, οι ισπανικές AENA και Hisparsat, η βρετανική Inmarsat, η ιταλική Finmeccanica-TeleOp, - είχαν αναλάβει να καλύψουν τα δύο τρίτα του κόστους, στην πορεία όμως εξέφρασαν αμφιβολίες για την κερδοφορία του συστήματος και βρισκόνταν σε ασυμφωνία όσον αφορά την κατανομή των αρμοδιοτήτων.

Ορισμένοι αναλυτές επίσης, έχουν εκφράσει αμφιβολίες για την οικονομική βιωσιμότητα του Galileo, δεδομένου ότι το αμερικανικό στρατιωτικό σύστημα GPS προσφέρει τις υπηρεσίες του δωρεάν. Το πλεονέκτημα του Galileo, όμως, είναι ότι θα αυξήσει την ακρίβεια του προσδιορισμού γεωγραφικού στίγματος από τα δέκα (10) μέτρα στο ένα (1) μέτρο.

Στις 28/9/2007 η κοινοπραξία Finmeccanica, στην Ιταλία ξεκίνησε την κατασκευή του πρώτου κέντρου ελέγχου για το δορυφορικό σύστημα πλοήγησης Galileo, στην απομονωμένη περιοχή Φουτσίνο της κεντρικής Ιταλίας, δίνοντας νέα πνοή στο GALILEO, τον προβληματικό αντίπαλο του αμερικανικού GPS.



Ο Επίγειος Δορυφορικός σταθμός της Telespazio (67% Finmeccanica & 33% Thales) στο Fucino, της Ιταλίας



Ένα δεύτερο κέντρο κατασκευάστηκε στο Λάνγκεν κοντά στο Μόναχο και ελέγχεται από τη Διαστημική Υπηρεσία της Γερμανίας.

Στο πρόγραμμα GALILEO έχουν εκδηλώσει ενδιαφέρον συμμετοχής και αρκετές χώρες εκτός Ευρώπης, όπως η Ινδία και η Ρωσία. Τον Σεπτέμβριο του 2003 η Κίνα επένδυσε 230 εκατομμύρια δολάρια, για να συμμετάσχει στο πρόγραμμα τα επόμενα χρόνια. Τον Ιούλιο του 2004 το Ισραήλ υπέγραψε συμφωνία συνεργασίας με την Ευρωπαϊκή Κοινότητα για το ίδιο πρόγραμμα. Στις 3 Ιουνίου του 2005 η Ουκρανία υπέγραψε επίσης παρόμοια συμφωνία, ενώ τον Νοέμβριο του ίδιου έτους, το Μαρόκο έγινε συνεργάτης του προγράμματος αυτού. Στις 12 Ιανουαρίου του 2006 ενώθηκε με το πρόγραμμα GALILEO η Νότιος Κορέα και τέλος στις 3 Απριλίου του 2009 η Νορβηγία επένδυσε 68,9 εκατομμύρια Ευρώ για να συμμετάσχει στα κόστη ανάπτυξης του προγράμματος, επιτρέποντας με αυτόν τον τρόπο στις εταιρίες της, να διεκδικήσουν συμβόλαια κατασκευών του προγράμματος GALILEO. Έτσι η Νορβηγία αν και δεν είναι μέλος της Ευρωπαϊκής Κοινότητας έγινε μέλος της ESA.

Τον Νοέμβριο του 2006 η Κίνα, παρά την αρχική συμμετοχή της, αποφάσισε να αποχωρήσει από το πρόγραμμα GALILEO και να αναπτύξει το δικό της ανεξάρτητο σύστημα εντοπισμού θέσης με την επωνυμία : **Beidou\_navigation\_system**, το οποίο αποτελεί τοπικό δορυφορικό σύστημα εντοπισμού θέσης, ενώ ταυτόχρονα

αναπτύσσει και δικό της παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα εντοπισμού θέσης με την επωνυμία **COMPASS**.



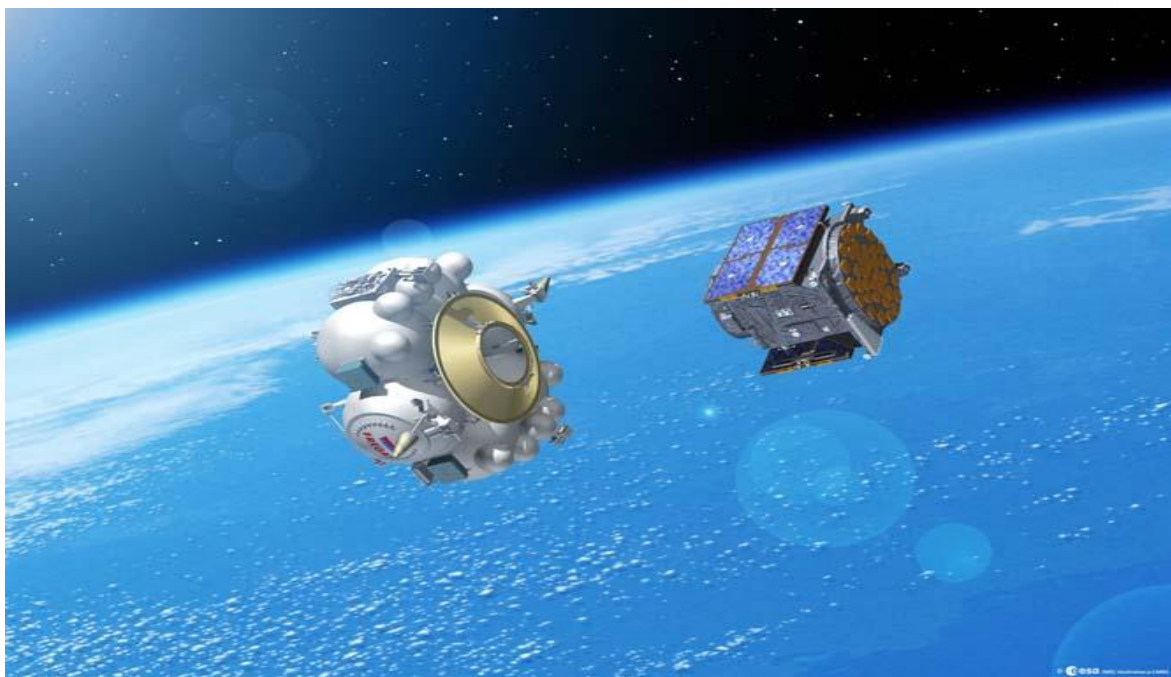
Με τον δορυφόρο Beidou η Κίνα συμπλήρωσε το δίκτυο για τη λειτουργία του συστήματος ( Associated Press )

Ο πρώτος δοκιμαστικός δορυφόρος του ευρωπαϊκού συστήματος πλοήγησης Galileo εκτοξεύθηκε από το κοσμοδρόμιο Μπαϊκονούρ του Καζακστάν και τέθηκε σε τροχιά γύρω από τη γη επιτυχώς το πρωί της Τετάρτης 28/12/2005. Ένας ρωσικός πύραυλος Soyuz μετέφερε τον δοκιμαστικό δορυφόρο Giove A, ο οποίος τέθηκε σε τροχιά στα 23.000 χιλιόμετρα πάνω από τη γη, όπου θα χρησιμοποιηθεί για την δοκιμή και αξιολόγηση ( validation ) νέων τεχνολογιών.



Αποκόλληση του συστήματος GSTB-V2/A( δοκιμαστικού) δορυφόρου-φορέα "Φρεγάτα" από το τρίτο τμήμα του πυραύλου « Soyuz »

« Μελέτη βελτίωσης της ακρίβειας & ασφάλειας πλοήγησης με χρήση του Ευρωπαϊκού Δορυφορικού Συστήματος EGNOS »



Αποκόλληση του GSTB-V2/A (δοκιμαστικού δορυφόρου) από το όχημα "Φρεγάτα"



Από το 2006 το μεγάλο παρατηρητήριο του **Chilbolton** χρησιμοποιείται από αρκετά προγράμματα της E.S.A. αλλά και για να επαληθεύσει τις εκπομπές του δορυφόρου GIOVE-A στο φάσμα της μάντας L.

« Μελέτη βελτίωσης της ακρίβειας & ασφάλειας πλοήγησης με χρήση του Ευρωπαϊκού Δορυφορικού Συστήματος EGNOS »



Η εκτόξευση του δεύτερου δοκιμαστικού δορυφόρου πραγματοποιήθηκε το 2007. Οι πρώτοι τέσσερις δορυφόροι επιχειρησιακού σχηματισμού εκτοξεύθηκαν το 2008. Στη συνέχεια, μια ιδιωτική κοινοπραξία (η ESSP) (European Satellite Services Provider), θα εγκαταστήσει τον πλήρη σχηματισμό δορυφόρων με τη σύναψη σύμβασης για σύμπραξη δημοσίου-ιδιωτικού τομέα (Σ.Δ.Ι.Τ.). Η ίδια κοινοπραξία με σύμπραξη και άλλων εταιριών που δραστηριοποιούνται στην διαστημική τεχνολογία και επιχειρηματικότητα, θα αναπτύξει επίσης και θα υποστηρίζει όλους τους προβλεπόμενους σταθμούς εδάφους σε παγκόσμια κλίμακα.



Οι υπηρεσίες θα είναι διαθέσιμες αν όλα εξελιχθούν σύμφωνα με τον αρχικό σχεδιασμό και χωρίς καθυστερήσεις από οποιαδήποτε αιτία, το 2012 κάτι που επιδιώκεται από όλες τις εμπλεκόμενες πλευρές (Ευρωπαϊκή Κοινότητα, ESA, ESSP, Δημόσιες και Στρατιωτικές Υπηρεσίες των χωρών-μελών, αεροπορικές, ναυτιλιακές, σιδηροδρομικές εταιρείες και παντοειδείς χρήστες).

Τον Νοέμβριο του 2009 εγκαινιάστηκε ο σταθμός εδάφους του GALILEO στην περιοχή Κουρού της Γαλλικής Γουϊνέας (5° Νότια του Ισημερινού στην Νότιοανατολική Αμερική).



Ο σταθμός εδάφους του GALILEO στο Κουρού της Γαλλικής Γουϊνέας.

Οι τεχνολογίες δορυφορικής πλοήγησης αφορούν όλους τους κλάδους της σύγχρονης οικονομίας. Κατά το 2020 θα λειτουργούν περίπου 3 δισεκατομμύρια δέκτες δορυφορικής πλοήγησης. Η δορυφορική πλοήγηση εισέρχεται όλο και περισσότερο στην καθημερινή ζωή των Ευρωπαίων πολιτών, όχι μόνον στα αυτοκίνητα και τα κινητά τηλέφωνα τους αλλά και στα δίκτυα διανομής ενέργειας ή τα τραπεζικά συστήματα, στη τοπογραφία, στη γεωργία, στη επιστημονική έρευνα, στο τουρισμό και άλλα. Δέκτες υπάρχουν πλέον σε όλα τα είδη ηλεκτρονικών συσκευών καθημερινής χρήσης όπως κινητά τηλέφωνα, προσωπικοί ψηφιακοί βοηθοί, εικονοληπτικές συσκευές, φορητοί προσωπικοί υπολογιστές ή ρολόγια χειρός. Έτσι θα επιτραπεί η γρήγορη διείσδυση στην αγορά, υπηρεσιών βασισμένων στον δορυφορικό εντοπισμό θέσης. Τα οχήματα είναι όλο και περισσότερο εξοπλισμένα με συσκευές πλοήγησης.

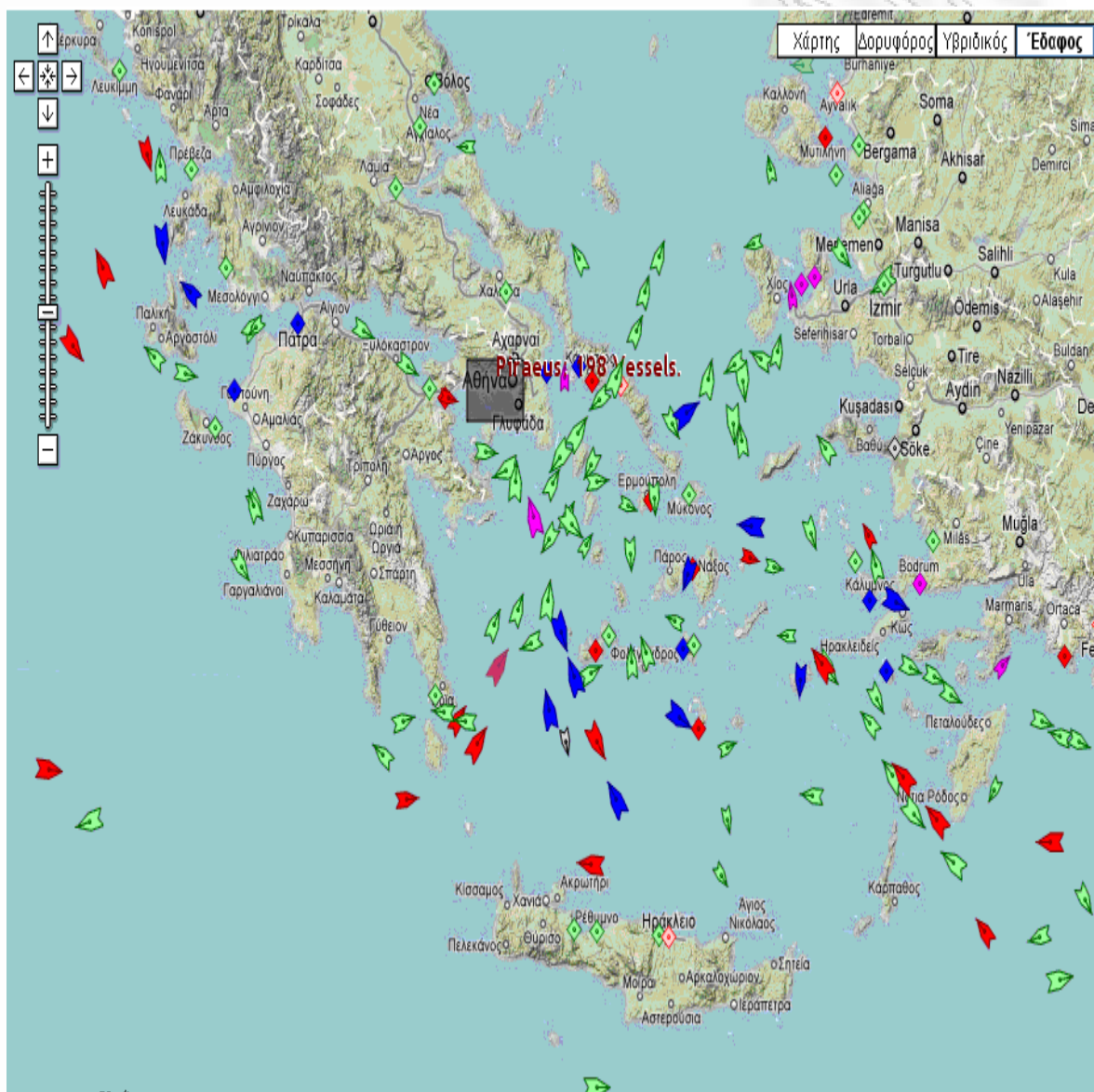
Η ΕΕ ελπίζει ότι μέχρι το 2015 το σύστημα Galileo θα έχει 400 εκατ. χρήστες, ενώ οι θέσεις εργασίες που θα δημιουργηθούν εκτιμώνται στις 100.000.

Η διαχείριση των μεταφορών πρόκειται να γνωρίσει επαναστατικές αλλαγές: ήδη, μερικές εκατοντάδες χιλιάδες εμπορευματοκιβώτια είναι εξοπλισμένα με συσκευές ιχνηλάτησης και εντοπισμού GNSS. Χάρη στις συσκευές αυτές, οι εταιρείες εφοδιαστικών αλυσίδων μπορούν να προσφέρουν ταχύτερες και καλύτερες υπηρεσίες στους πελάτες τους. Οι κινήσεις των εμπορευματοκιβωτίων παρακολουθούνται επίσης και για λόγους ασφάλειας.

Για την πλοήγηση στη ανοικτή θάλασσα όσο και στις εσωτερικές πλωτές οδούς, η δορυφορική τεχνολογία εντοπισμού θέσης αποτελεί προφανή επιλογή, τόσο από το διεθνές εμπορικό ναυτικό, όσο και από το πολεμικό ναυτικό κάθε ενδιαφερόμενης χώρας.



Αυτό επιβεβαιώνεται τόσο από τα τρέχοντα στοιχεία πωλήσεων ναυτιλιακών δεκτών (άνω του 1 δισεκατομμυρίου ευρώ) όσο και από τη θέσπιση ανάλογης νομοθεσίας, στο ναυτικό δίκαιο κάθε χώρας. Έτσι παρατηρούμε σταδιακά ότι αυξάνονται π.χ. τα στίγματα των πλοίων που εμφανίζονται σε εφαρμογές όπως η κατωτέρω που απεικονίζει την κίνηση των σκαφών όλων των τύπων, εφόσον εκπέμπουν το στίγμα τους σε πραγματικό χρόνο, στη περιοχή της Ελλάδος, αλλά και Παγκοσμίως.



Το ίδιο ισχύει και για την αεροπορική πλοήγηση, όπου χρειάζεται ένα αξιόπιστο μέσο για την αύξηση της χωρητικότητας του συστήματος αερομεταφοράς εκατομμυρίων πολιτών. Η ακρίβεια και η ακεραιότητα που προσφέρουν το EGNOS και το GALILEO θα επιτρέψουν μεγαλύτερη χρήση των υπαρχόντων αερολιμένων που σήμερα δεν χρησιμοποιούνται με κακές καιρικές συνθήκες ή με χαμηλή ορατότητα. Στην Ευρώπη, η κοινή επιχείρηση "SESAR", η οποία εφαρμόζει το νομικό πλαίσιο της παροχής αεροναυτιλιακών υπηρεσιών, όπως καθορίζουν οι τέσσερις κανονισμοί για τον ενιαίο ευρωπαϊκό ουρανό, θα στηρίζεται και αυτή στο GNSS (EGNOS και GALILEO)

Οι νέες τεχνολογίες όπως οι διατάξεις προσδιορισμού ραδιοσυχνοτήτων, τα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών, η σμίκρυνση των δεκτών και η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας σε συνέργεια με τις τηλεπικοινωνίες θα δημιουργήσουν τις συνθήκες εμφάνισης πολλών νέων εξελίξεων στη χρήση του δορυφορικού εντοπισμού θέσης τα επόμενα χρόνια.

Ακόμη και λύσεις εντοπισμού θέσης "εσωτερικού χώρου" είναι υπό ανάπτυξη (Σχέδιο DINGPOS), για να αντιμετωπισθούν οι υπάρχοντες περιορισμοί.

Παράλληλα με την ανάπτυξη του GALILEO, η Ευρωπαϊκή Ένωση ξεκίνησε την GMES ( Παγκόσμια Επιτήρηση Περιβάλλοντος και Ασφάλειας ), ένα επίγειο σύστημα παρατήρησης για συστήματα πληροφοριών των χρηστών. Πολλές εφαρμογές GNSS θα ωφεληθούν από τις αλληλοσυμπληρούμενες τεχνολογίες GALILEO και GMES. Η εξέλιξη των αναγκών των χρηστών τείνει προς την ανάπτυξη ολοκληρωμένων συστημάτων επικοινωνιών, μετεωρολογίας, εντοπισμού και παρακολούθησης σε πολλά πεδία υψηλής στρατηγικής σημασίας, οικονομικής αξίας και κοινωνικής ωφέλειας.

Στο παρακάτω γράφημα απεικονίζονται οι απαιτήσεις των χρηστών των GPS συστημάτων ( εκμοντερνισμένα GPS, GLONASS και GALILEO στο τελικό στάδιο ), αναφορικά με χρόνο προειδοποίησης του χρήστη σε σχέση με την προσφερόμενη οριζόντια ακρίβεια προσδιορισμού θέσης. Παρατηρούμε ότι την καλύτερη δυνατή ακρίβεια με τον μικρότερο χρόνο προειδοποίησης απαιτούν οι χειρισμοί πρόσφυσης των αεροσκαφών στις εισόδους – εξόδους επιβατών ( « φυσούνες » ) των αεροδρομίων, ενώ την χειρότερη ακρίβεια και με τον μεγαλύτερο χρόνο αντίδρασης απαιτούν τα συστήματα προειδοποίησης επιβατών.

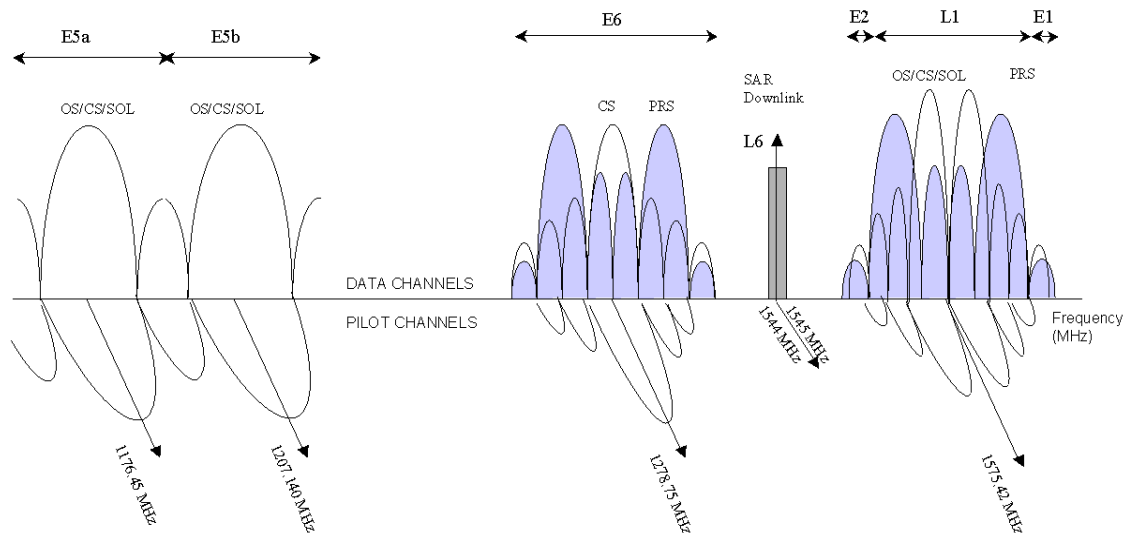


## 14. Τα σήματα του GALILEO

Οι συχνότητες που χρησιμοποιούνται από τους δορυφόρους του GALILEO είναι μέσα στην περιοχή από 1,1 έως 1,6 GHz , περιοχή ιδιαίτερα κατάλληλη για κινητή πλοήγηση και υπηρεσίες επικοινωνιών.

Κάθε δορυφόρος του GALILEO θα εκπέμπει δέκα (10) διαφορετικά σήματα πλοήγησης, δίνοντας έτσι την δυνατότητα παροχής υπηρεσιών για το ευρύ κοινό : ( OS – Opened Service ), υπηρεσιών ασφάλειας ζωής ( SOL – Safety Of Life ) , εμπορικών υπηρεσιών ( CS – Commercial Services ) και στρατιωτικών - κρατικών υπηρεσιών ( PRS – Public Regulated Services ).

Στα σήματα αυτά γίνεται ένας διαχωρισμός μεταξύ σημάτων που περιέχουν δεδομένα πλοήγησης ( κανάλια δεδομένων ) και σημάτων χωρίς δεδομένα ( κανάλια "πλότους"). Αυτό φαίνεται καθαρά στο ακόλουθο σχεδιάγραμμα όπου τα σήματα δεδομένων είναι σε ορθογώνια επίπεδα με τα σήματα "πλότους", δείχνοντας ότι τα σήματα "δεδομένων" και "πλότους" είναι μετατοπισμένα  $90^\circ$  κατά φάση, κάτι που επιτρέπει τον εύκολο διαχωρισμό τους , στους δέκτες.



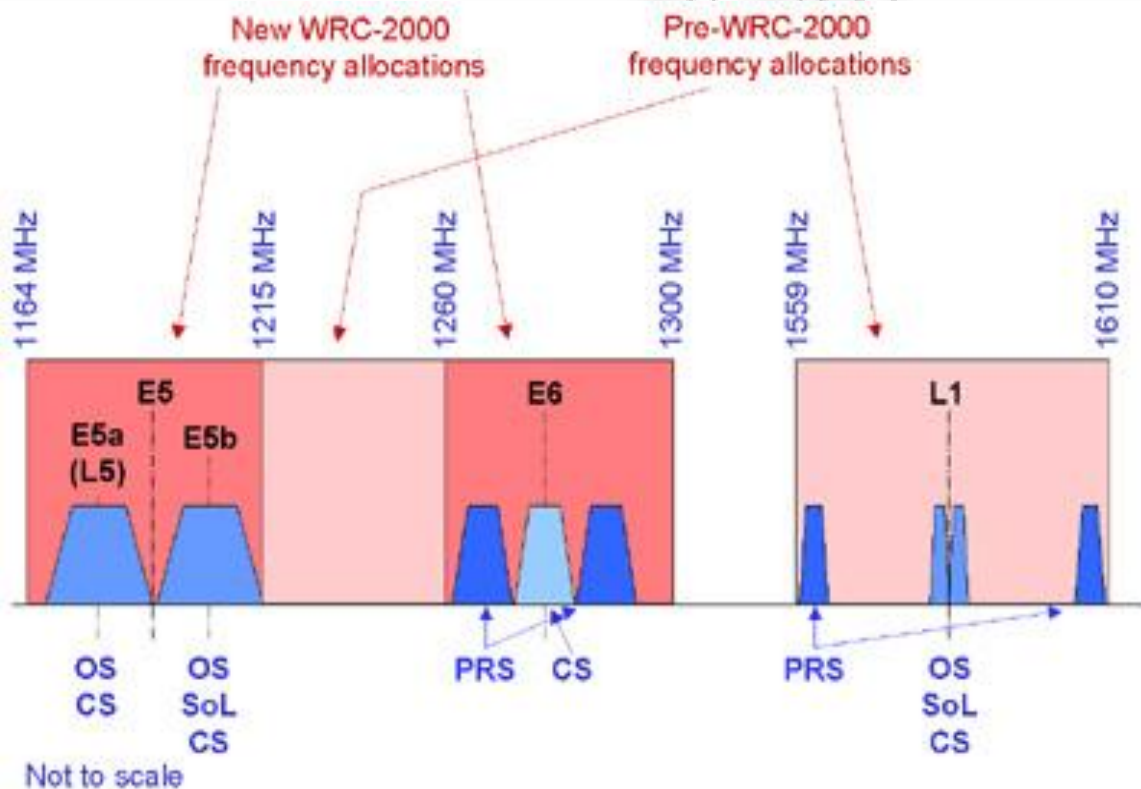
Όλοι οι δορυφόροι του GALILEO εκπέμπουν στην μάντα L1 και στην ίδια συχνότητα (την 1575,42 MHz ) , κάθε δορυφόρος εκπέμπει και τον μοναδιαίο περίτεχνο κώδικά του. Έτσι, ένας μεγάλος κωδικός είναι καλός κατά την ανίχνευση ασθενών σημάτων από τον δέκτη, αλλά εισάγει μεγάλη καθυστέρηση, κατά την ταυτοποίησή του στον δέκτη. Μικροί κωδικοί είναι καλοί για γρήγορη ταυτοποίηση στον δέκτη, αλλά μπορούν να μπερδευτούν με κωδικούς άλλων δορυφόρων, και αυτό γιατί η δυνατότητα του διαχωρισμού μεταξύ δύο κωδικών είναι αντιστρόφως ανάλογη του μήκους των κωδικών. Ο λαμβανόμενος κωδικός ταυτοποιείται με τον αποθηκευμένο στην μνήμη του δέκτη κωδικό και ο δέκτης γνωρίζει πλέον από ποιόν δορυφόρο δέχεται τις επί πλέον πληροφορίες. Εάν αποτύχει η ταυτοποίηση ο δέκτης δοκιμάζει τον κωδικό άλλου λαμβανόμενου δορυφόρου μέχρι να επιτύχει την ταύτιση των κωδικών τους.

Το σύστημα GALILEO χρησιμοποιεί πολλά σήματα προσπαθώντας να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις πολλών τύπων χρηστών ταυτοχρόνως ( Οι εσωτερικοί ακίνητοι χρήστες θα προτιμούσαν μεγάλους κωδικούς, ενώ οι εξωτερικοί και

γρήγορα κινούμενοι χρήστες θα ήθελαν μικρούς κωδικούς για γρήγορη αναγνώριση των δορυφόρων που "βλέπουν" οι δέκτες τους).

Στο σύστημα GPS χρησιμοποιείται μόνον ένα σήμα, που όμως δεν του επιτρέπει να συγκριθεί με την βελτιωμένη απόδοση του συστήματος GALILEO. Κατά τον αναμενόμενο εκμοντερνισμό του συστήματος GPS, το πρόβλημα αυτό θα ξεπεραστεί, καθ' όσον θα υπάρχουν περισσότερα σήματα στο νέο σύστημα GPS.

Ένας ακόμα λόγος που υπάρχουν τόσο σήματα στο σύστημα GALILEO είναι για να έχει την δυνατότητα να υπολογίζει το ιονοσφαιρικό λάθος καθυστέρησης. Ευτυχώς το λάθος αυτό είναι ανάλογο της συχνότητας του σήματος (τα σήματα χαμηλής συχνότητας έχουν μεγαλύτερη καθυστέρηση μέσα στην ιονόσφαιρα απ' ό,τι τα σήματα υψηλότερης συχνότητας). Έτσι συνδυάζοντας τις μετρήσεις σε δύο διαφορετικές συχνότητες από τον ίδιο δορυφόρο προκύπτει νέα μέτρηση στην οποία έχει εξαλειφθεί το ιονοσφαιρικό λάθος καθυστέρησης. Η εξάλειψη του λάθους είναι τόσο ικανοποιητική όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση μεταξύ των δύο συχνοτήτων, και για αυτό τον λόγο σε όλες τις υπηρεσίες του συστήματος GALILEO χρησιμοποιούνται πάντα ζεύγη συχνοτήτων.



Οι συχνότητες σημάτων του συστήματος GALILEO

Οι ανοικτές υπηρεσίες του συστήματος GALILEO χρησιμοποιούν τα σήματα L1, E5a και E5b είτε για σήματα δεδομένων, είτε για σήματα πιλότους. Είναι πιθανοί αρκετοί συνδυασμοί όπως η υπηρεσία διπλής συχνότητας που χρησιμοποιεί την L1 και την E5a (για καλύτερη εξάλειψη του λάθους ιονοσφαιρικής καθυστέρησης), ή υπηρεσίες μονής συχνότητας (χρησιμοποιώντας την L1, E5a, E5b, ή τον συνδυασμό των E5a E5b) κατά τις οποίες το λάθος ιονοσφαιρικής καθυστέρησης εξαλείφεται με την χρήση ενός μαθηματικού μοντέλου και τέλος υπηρεσίες τριπλής συχνότητας χρησιμοποιώντας όλα τα σήματα μαζί (L1, E5a και E5b) όπου μπορούν να υλοποιηθούν εφαρμογές υψηλής ακρίβειας της τάξεως του εκατοστού του μέτρου.

Οι υπηρεσίες ασφάλειας της ζωής, βασίζονται σε μετρήσεις που παίρνονται από ελεύθερα μη κωδικοποιημένα σήματα και χρησιμοποιούν δεδομένα ακεραιότητας

της πληροφορίας που μεταφέρονται σε ειδικά σήματα σχεδιασμένα για τον σκοπό αυτό και ενσωματωμένα μέσα στα ελεύθερα σήματα. Η υπηρεσία αυτή είναι σαν ένα κανάλι δεδομένων μέσα από τα ελεύθερα σήματα.

Η εμπορική υπηρεσία υλοποιείται με δύο επιπρόσθετα σήματα στην μπάντα των 1278,75 MHz, με επιπλέον την δυνατότητα να περιλαμβάνει εμπορικά δεδομένα μέσα από τα ελεύθερα σήματα.

Οι στρατιωτικές - κρατικές υπηρεσίες υλοποιούνται με δύο σήματα, ένα στη περιοχή 1575.42 MHz και το άλλο στην περιοχή των 1278.75 MHz. Τα σήματα αυτά είναι κωδικοποιημένα και επιτρέπουν την πρόσβαση μόνον με την χρήση κωδικών ελέγχου πρόσβασης.

Τέλος το χαρακτηριστικό σχήμα του φάσματος των σημάτων, οφείλεται στην ειδική διαμόρφωση που υιοθετήθηκε για το σύστημα GALILEO. Η διαμόρφωση αυτή επιλέχθηκε για να αποφευχθεί η παρεμβολή των σημάτων του GALILEO από σήματα άλλων δορυφορικών συστημάτων πλοήγησης, στην ίδια περιοχή του φάσματος και εν προκειμένω στην συχνότητα L1 του Αμερικανικού συστήματος GPS. Ο τρόπος αυτός καλείται διαμόρφωση Φέροντος Λυαδικής Μετάθεσης 1.1 BOC(1,1) (θα την αναλύσουμε σε επόμενο κεφάλαιο) και επιτρέπει στα σήματα των δύο αυτών δορυφορικών συστημάτων να χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα χωρίς αμοιβαία παρεμβολή. Αυτό στοχεύει στην κατασκευή κοινών, απλών και φθηνών δεκτών που θα χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα.

## 15. Ένταξη της Ελλάδος στην Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Διαστήματος (ESA)

Στις 17/1/2001 στην Αθήνα υπεγράφη πολυετής συμφωνία συνεργασίας με την Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Διαστήματος (ESA) από τον υπουργό Ανάπτυξης, της Ελλάδος Νίκο Χριστοδουλάκη, ο οποίος χαρακτήρισε τη συμφωνία πρόκληση για τις ελληνικές επιχειρήσεις.

Η συμφωνία προέβλεπε την πλήρη ενσωμάτωση της Ελλάδος στην ESA εντός δύο ετών. Στόχος της Ελλάδας δεν ήταν μόνο η συμμετοχή της για ακαδημαϊκούς σκοπούς, αλλά γενικότερα η ολοκληρωμένη συμμετοχή του επιστημονικού και ερευνητικού δυναμικού της, καθώς και η ευρύτερη αξιοποίηση της διαστημικής τεχνολογίας.

Οι τομείς πλοήγησης, τηλεπικοινωνιών, τηλεπαρατηρήσεων, κατάστρωσης του Εθνικού κτηματολογίου και σειρά άλλων υπηρεσιών αναμένεται να ωφεληθούν από τις δυνατότητες που προσφέρει η διαστημική τεχνολογία. Η Ελλάδα μέχρι το 2000, δεν είχε τις δυνατότητες συμμετοχής στην ESA, ωστόσο τα πράγματα έχουν αλλάξει πια, καθώς το επιστημονικό δυναμικό της χώρας έχει εξελιχθεί και οι ελληνικές εταιρείες πλέον συμμετέχουν σε προγράμματα που περιέχουν στοιχεία διαστημικής τεχνολογίας.

Εξάλλου, σε συνεργασία με την ESA, διαμορφώνονται οι συνθήκες συνεργασίας των ελληνικών επιχειρήσεων και ερευνητικών ομάδων με την Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Διαστήματος, συμμετέχοντας σε συγκεκριμένα προγράμματα ερευνητικής και παραγωγικής συνεργασίας.

Κατά το διάστημα της διετούς προσαρμογής, η Ελλάδα δεν κατέβαλε εισφορά στην ESA, ενώ τώρα σαν πλήρες μέλος, καταβάλλει ετησίως το ποσό των 3 εκατομμυρίων Ευρώ, το οποίο επιστρέφεται ανάλογα με την αξιοποίηση των Ευρωπαϊκών Διαστημικών προγραμμάτων.



Ο γενικός διευθυντής της ESA, A.Ροτόντα, σημείωσε ότι η χώρα διαθέτει μια σημαντική επιστημονική κοινότητα που έχει τη δυνατότητα να απορροφά και να συμμετάσχει στα προγράμματα της ESA.

## 16. Τι είναι η υπηρεσία του συστήματος EGNOS



Το σύστημα EGNOS ( Ευρωπαϊκή Γεωστατική Υπηρεσία Υπερτιθέμενης Πλοήγησης ), είναι μια σοβαρή και προσεκτικά δομημένη Ευρωπαϊκή προσέγγιση στην παγκόσμια πλοήγηση μέσω δορυφόρων, και αποτελεί τον «προ-άγγελο» του **Ευρωπαϊκού δορυφορικού συστήματος πλοήγησης "GALILEO"**. Βασίζεται -όπως αναφέρθηκε προηγουμένως -, στην χρησιμοποίηση σημάτων του Αμερικανικού δορυφορικού συστήματος εντοπισμού θέσης "GPS" ( που ελέγχεται από τον Αμερικανικό Στρατό ), και του αντίστοιχου Ρωσικού δορυφορικού συστήματος "GLONASS" , ( που επίσης ελέγχεται από τον Ρωσικό Στρατό ).

Όλα τα σημερινά συστήματα βελτίωσης της ακρίβειας πλοήγησης προσπαθούν να ικανοποιήσουν τρεις (3) συνθήκες : την ακεραιότητα της πληροφορίας , την διαθεσιμότητα και την ακρίβεια της πληροφορίας.

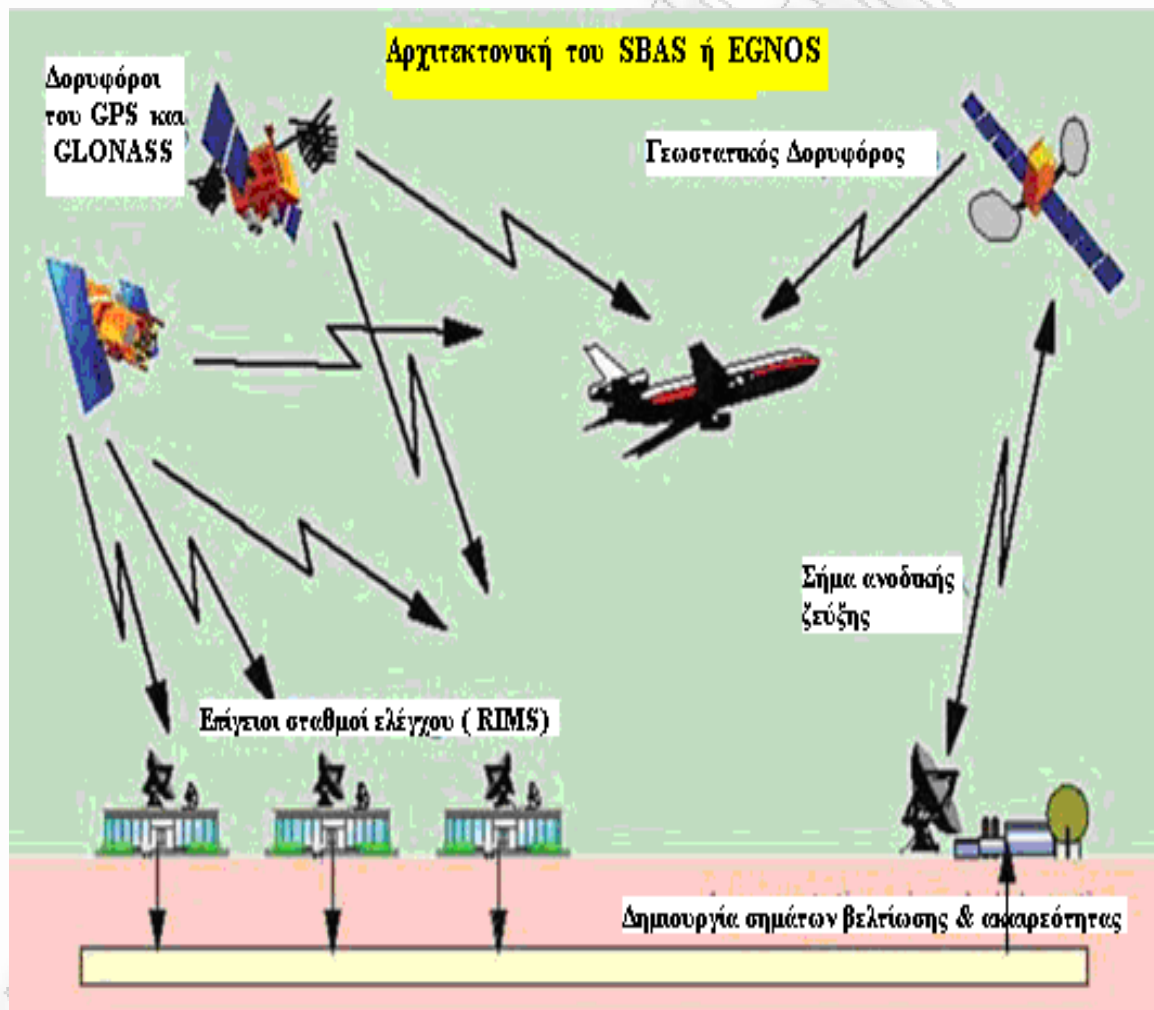
- Ακεραιότητα της πληροφορίας είναι η ικανότητα να ειδοποιούνται οι χρήστες μέσα σε μία προκαθορισμένη χρονική περίοδο (συνήθως μερικών δευτερολέπτων ) ( και που για την αεροπορία εξαρτάται από την λειτουργία και τρόπο πτήσης ), για το πότε το σύστημα GPS δεν πρέπει να χρησιμοποιείται για πλοήγηση .
- Η Διαθεσιμότητα χρειάζεται για να βεβαιώνει τους χρήστες ότι η βασική υπηρεσία του GPS είναι διαθέσιμη ( προσβάσιμη ) στο 100% του χρόνου χρήσης.
- Η αύξηση της ακρίβειας είναι απαραίτητη για να επιτυγχάνεται ακρίβεια προσέγγισης και λειτουργίες πλοήγησης στην τερματική περιοχή ( αεροδρόμια ή λιμάνια ή στενοί υδάτινοι δρόμοι ).

Στα σημερινά δορυφορικά συστήματα GPS, όταν ένας δορυφόρος δυσλειτουργεί, χρειάζεται περίπου τρεις ώρες για να δηλώσει την δυσλειτουργία του ( unhealthy ) και στο διάστημα αυτό η ακρίβεια εντοπισμού θέσης είναι χειρότερη από 100 μέτρα. Σε τέτοιες καταστάσεις επηρεάζονται και οι ακρίβειες χρονισμού όλων των συσκευών περισσότερο από 50 νανοδευτερόλεπτα ( nanoseconds ). Αυτά δημιουργούν ιδιαίτερη αβεβαιότητα σε όλους τους χρήστες και ιδιαίτερα σε αυτούς που κινούνται με μεγάλες ταχύτητες ( Αεροναυτιλία , κ.λ.π. ), στους οποίους ο ακριβής εντοπισμός θέσης και σωστοί χρονισμοί των συστημάτων τους είναι θέμα ζωής ή θανάτου ( life critical applications ).

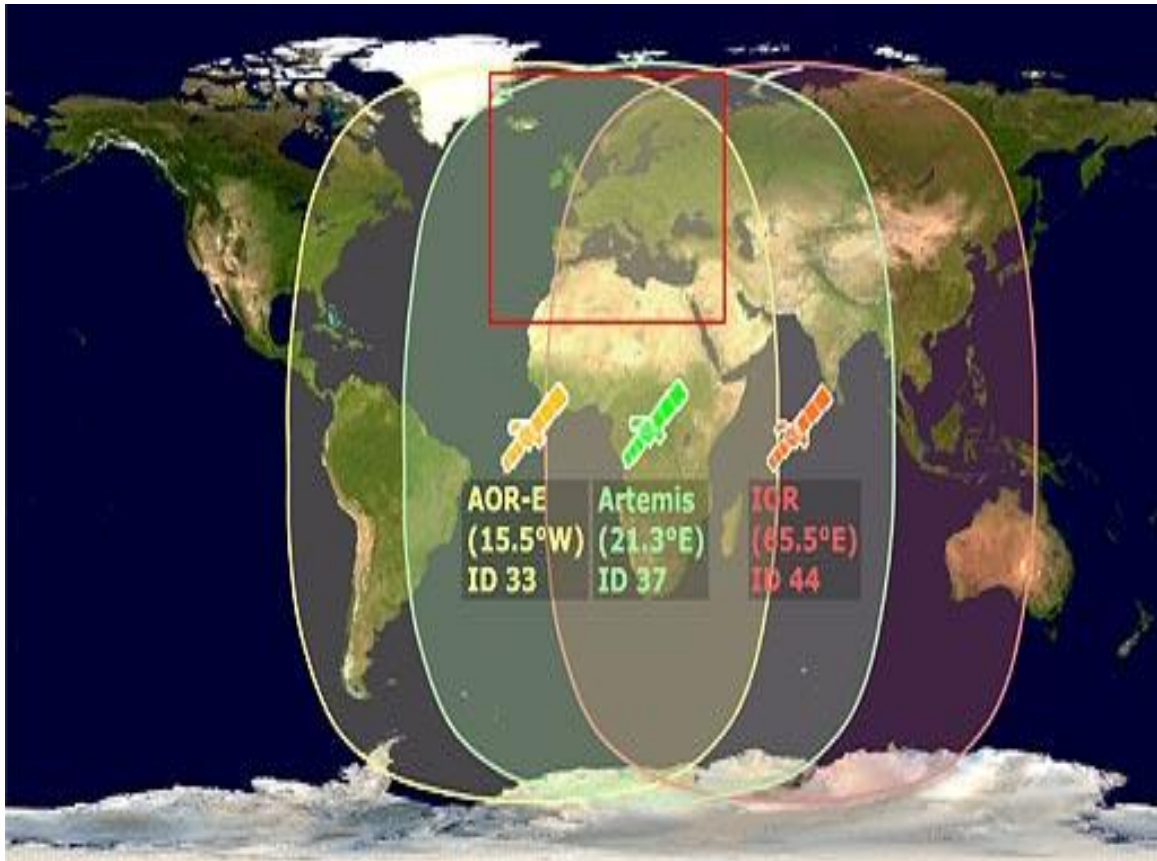
Με την βοήθεια του συστήματος EGNOS και παρόμοιων SBAS διαλειτουργικών συστημάτων ανά τον κόσμο , η αβεβαιότητα υγιούς λειτουργίας κάθε δορυφόρου μειώνεται δραματικά , διότι τα συστήματα αυτά εκπέμπουν (δηλώνουν) προς τις συσκευές των χρηστών την δυσλειτουργία κάθε δορυφόρου μέσα σε έξι ( 6 ) δευτερόλεπτα , και η ακρίβεια χρονισμού όλων των συστημάτων αυξάνεται εντυπωσιακά σε επίπεδα μικρότερα των 10 ναναοδευτερολέπτων αναφορικά με τον

χρόνο UTC. Άμεσο αποτέλεσμα των λειτουργιών αυτών λόγω της χρήσης του EGNOS και παρόμοιων SBAS συστημάτων, είναι ότι η ακρίβεια εντοπισμού θέσης βελτιώνεται εντυπωσιακά στα επίπεδα : 1-2 μέτρα στο οριζόντιο επίπεδο και 1-4 μέτρα στο κατακόρυφο επίπεδο, και ο βαθμός αβεβαιότητας τείνει σχεδόν να μηδενιστεί.

Στο σχήμα του ακολουθεί, φαίνεται παραστατικά η αρχιτεκτονική του συστήματος EGNOS, αλλά και παρόμοιων SBAS συστημάτων που αναπτύσσουν και εφαρμόζουν διάφορες μεγάλες χώρες ή και ολόκληροι σχηματισμοί χωρών ( π.χ. Ευρωπαϊκή Ένωση, κ.λ.π.). Επειδή αρχιτεκτονικές σαν και την κατωτέρω, απαιτούν εκτεταμένες επίγειες και διαστημικές υποδομές, καθώς και τεράστιες μακροχρόνιες οικονομικές επενδύσεις, μόνον μεγάλες και αναπτυγμένες χώρες μπορούν να τις πραγματοποιήσουν, ή συνδυασμοί χωρών με κοινούς στόχους και συμφωνημένες επιδιώξεις.



Το EGNOS ενσωματώνει ένα εκτεταμένο παγκόσμιο δίκτυο από επίγειους σταθμούς ( RIMS ), ένα δίκτυο από τέσσερεις κύριους σταθμούς ελέγχου ( MCC), και ένα σύστημα τριών (3) Ευρωπαϊκών Γεωστατικών Δορυφόρων { δύο (2) του συστήματος Intelsat [ τον AOR-E και τον IOR-W ] και έναν (1) της ESA με την επωνυμία « ARTEMIS»}.



Στην ανωτέρω εικόνα φαίνεται παραστατικά η θέση και η γεωγραφική κάλυψη των τριών γεωστατικών δορυφόρων που χρησιμοποιεί η υπηρεσία του EGNOS



Εκτόξευση δορυφόρου από το Ευρωπαϊκό Διαστημικό Κέντρο στο Κουρού

Στις σελίδες που ακολουθούν φαίνονται καθαρά όλα τα γεωστατικά χαρακτηριστικά των τροχιών και των θέσεων αυτών των τριών (3) δορυφόρων που εξυπηρετούν το Ευρωπαϊκό σύστημα EGNOS.

## View from ARTEMIS (EGNOS/PRN 124) 35792 km above 8°11'N 21°26'E



Click in image to pan or here to zoom [in](#) or [out](#).

[Satellite data](#) provided by [The Living Earth](#)® Inc./Earth Imaging  
© 1996, All Rights Reserved.

Update

Display:  Map,  From Sun,  From Moon,  Night side

Lat:     Alt:  km

From satellite: ARTEMIS (EGNOS/PRN 124) [New satellite](#)

Launched: 2001 Incl: 8.19 Eccen: 0.00 Rev/day: 1.00 Orbit: 3327

ARTEMIS (EGNOS/PRN 124)
1 26863U 01029A 10111.01799772 .00000121 00000-0 10000-3 0 87
2 26863 8.1866 64.8846 0004395 336.0975 195.8329 1.00273213 332

Image:  Living Earth®  NASA Blue Marble  NASA Visible Earth

Topo map

Clouds  IR clouds  Colour weather

Water vapour  Water vapour raw

Time:  Now  UTC:   Julian:

Image size:  pixels  No night

## View from IOR-W (EGNOS/PRN 126) 35795 km above 0°16'N 24°46'E



Click in image to pan or here to zoom [in](#) or [out](#).

[Satellite data](#) provided by [The Living Earth](#)® Inc./Earth Imaging  
© 1996, All Rights Reserved.

Display:  Map,  From Sun,  From Moon,  Night side

Lat:   Long:   Alt:  km

From satellite: IOR-W (EGNOS/PRN 126) [New satellite](#)

Launched: 1998 Incl: 0.52 Eccen: 0.00 Rev/day: 1.00 Orbit: 4479

IOR-W (EGNOS/PRN 126)
1 25153U 98006B 10112.96196299 .00000128 00000-0 10000-3 0 49
2 25153 0.5172 9.0051 0003826 25.7919 187.1353 1.00270533 4477

Image:  Living Earth®  NASA Blue Marble  NASA Visible Earth  
 Topo map  
 Clouds  IR clouds  Colour weather  
 Water vapour  Water vapour raw

Time:  Now  UTC:   Julian:

Image size:  pixels  No night

## View from AOR-E (EGNOS/PRN 120) 35787 km above 0°5'N 15°25'W



Click in image to pan or here to zoom [in](#) or [out](#).

**Satellite data** provided by [The Living Earth](#)<sup>®</sup> Inc./Earth Imaging  
© 1996, All Rights Reserved.

Update

Display:  Map,  From Sun,  From Moon,  Night side  
Lat:    Long:    Alt:  km

From satellite: AOR-E (EGNOS/PRN 120) [New satellite](#)

Launched: 1996 Incl: 0.08 Eccen: 0.00 Rev/day: 1.00 Orbit: 4991

AOR-E (EGNOS/PRN 120)
1 24307U 96053A 10112.59582530 -.00000134 00000-0 10000-3 0 1S
2 24307 0.0837 8.2283 0004885 17.4191 23.8968 1.00271666 49892

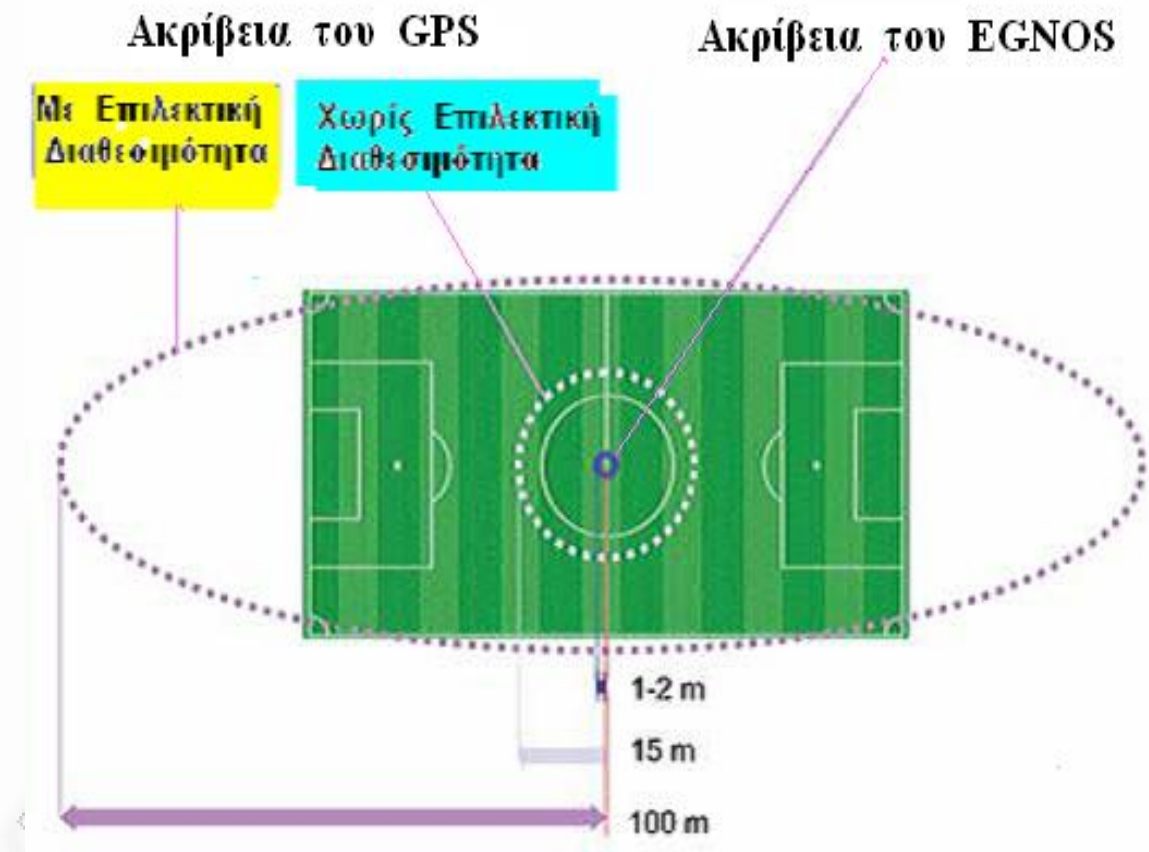
Image:  Living Earth<sup>®</sup>  NASA Blue Marble  NASA Visible Earth  
 Topo map  
 Clouds  IR clouds  Colour weather  
 Water vapour  Water vapour raw

Time:  Now  UTC:   Julian:

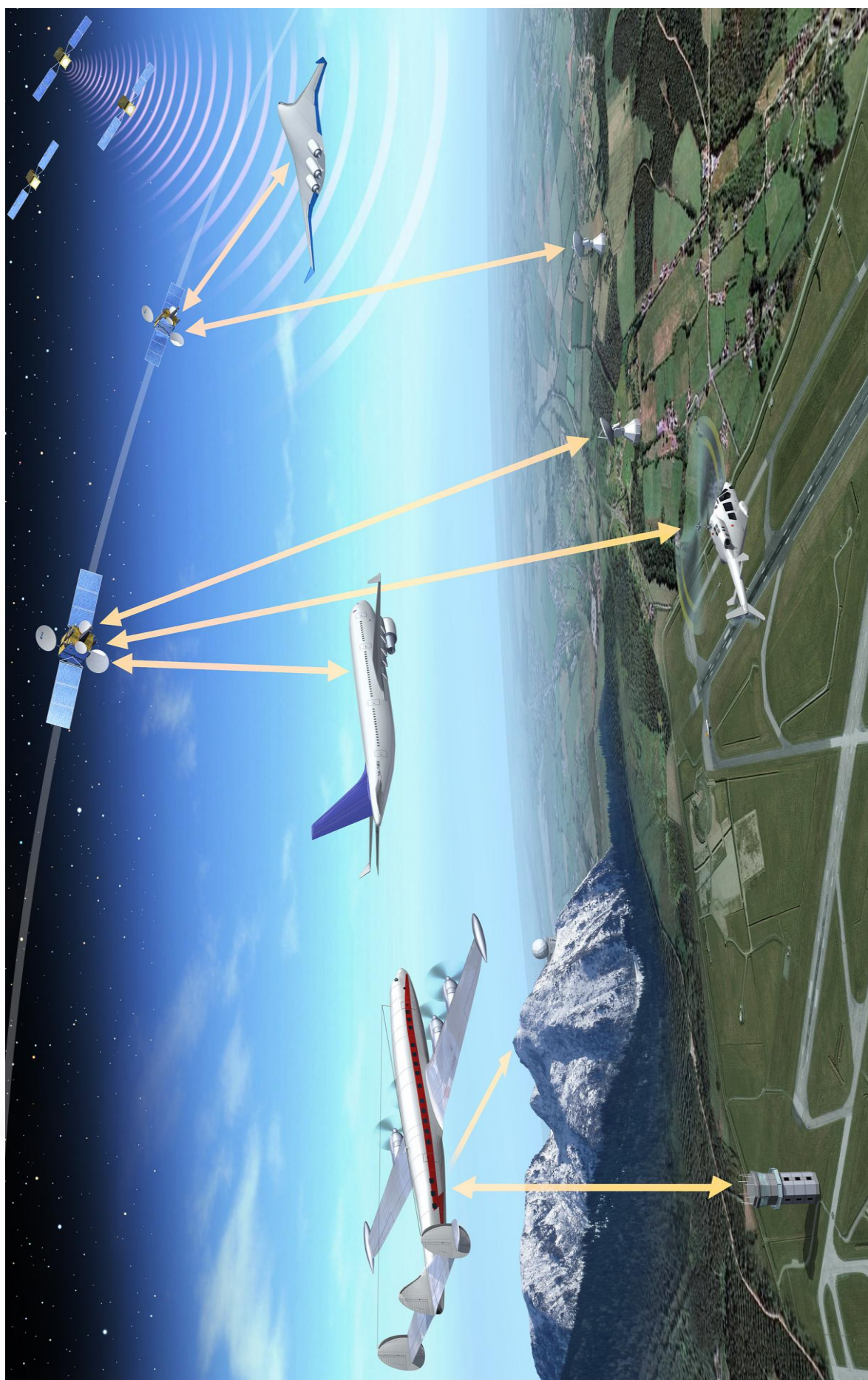
Image size:  pixels  No night

Μέσω των γεωστατικών αυτών δορυφόρων, το σύστημα EGNOS εκπέμπει κρίσιμα σήματα προς τους χρήστες της υπηρεσίας του EGNOS. Τα σήματα αυτά αφορούν την παρεχόμενη υψηλή επάρκεια πόρων του συστήματος, την απαιτούμενη διαφορική (differential) διόρθωση ευρείας περιοχής, την ακεραιότητα της πληροφορίας διόρθωσης (αξιόπιστης λειτουργίας των δορυφόρων), καθώς και έναν εξαιρετικά ακριβή διεθνή χρόνο (συγκριτικά με τον χρόνο UTC), προς δορυφορικούς δέκτες εντοπισμού θέσης εφοδιασμένους με το ανάλογο σύστημα.

Κάθε δορυφόρος των συστημάτων εντοπισμού θέσης (του GPS, του GLONASS, κ.λ.π.) θα πρέπει να ελέγχεται από πολλαπλούς επίγειους σταθμούς (RIMS), πριν παραχθούν τα ανωτέρω αναφερόμενα σήματα διόρθωσης και ακεραιότητας. Οι τέσσερις (4) Επιχειρησιακοί Σταθμοί Ελέγχου (MCC), επεξεργάζονται τα λαμβανόμενα σήματα από τους επίγειους σταθμούς μέτρησης (RIMS), για να δημιουργήσουν μηνύματα «διόρθωσης και ακεραιότητας της πληροφορίας» για κάθε δορυφόρο των συστημάτων εντοπισμού θέσης και ειδοποιούν τους χρήστες της υπηρεσίας του EGNOS μέσα σε 6 δευτερόλεπτα, αν κάτι πηγαίνει λάθος.



Όταν η υπηρεσία βελτίωσης της ακρίβειας εντοπισμού θέσης (το σύστημα EGNOS για την Ευρώπη) ολοκληρωθεί και πιστοποιηθεί σαν σύστημα για κρίσιμες εφαρμογές ασφάλειας ανθρώπινης ζωής (life critical applications), θα παρέχει ακρίβεια περίπου ενός (1) μέτρου, συγκριτικά με τα δεκαπέντε (15) έως είκοσι (20) περίπου μέτρα, που παρέχουν σήμερα τα εμπορικά κομμάτια των συστημάτων GPS και GLONASS.





Η αύξηση της ακρίβειας αυτής, είναι εξαιρετική στα περισσότερα περιβάλλοντα, αλλά κάποιες φορές η ορατότητα των δορυφόρων περιορίζεται όπως π.χ. σε πυκνοκατοικημένα αστικά περιβάλλοντα με υψηλά οικοδομικά κτήρια ή σε δυσπρόσιτες ορεινές περιοχές όπως π.χ. σε φαράγγια και σε απότομες χαράδρες. Για αυτά τα περιβάλλοντα η υπηρεσία των σημάτων του EGNOS είναι διαθέσιμη μέσω άλλων τρόπων όπως μέσω του Internet [ με την τεχνολογία SISNeT (Signal-in-Space through Internet ) που ανέπτυξε η ESA ], μέσω κινητών τηλεφώνων GPRS/GSM και μέσω ραδιοζεύξεων.

Οι αναβαθμίσεις των μελλοντικών συστημάτων βελτίωσης της ακρίβειας (SBAS), θα εξαρτώνται αποκλειστικά από τον εκμοντερνισμό των δορυφορικών συστημάτων πλοήγησης ( GPS ) και των γεωστατικών δορυφόρων και θα είναι συμβατά με τα προηγούμενα συστήματα. Έτσι ένας δορυφορικός δέκτης που αγοράζεται σήμερα από κάποιον χρήστη, με δυνατότητες λήψης σημάτων διόρθωσης ακρίβειας και ακεραιότητας της πληροφορίας ( SBAS ), θα δουλεύει ακόμα και αν αναβαθμιστούν όλα τα δορυφορικά συστήματα πλοήγησης που λειτουργούν σήμερα, διότι κάθε αναβαθμιζόμενο ή αντικαθιστούμενο σύστημα δορυφόρων, θα είναι πάντα συμβατό με τα προηγούμενα του.

Προς το παρόν το σύστημα EGNOS παρέχει υπηρεσίες σε πειραματική βάση κυρίως στην Ευρωπαϊκή ήπειρο, πολύ σύντομα όμως θα τεθεί σε επιχειρησιακή λειτουργία από την Ευρωπαϊκό Οργανισμό Διαστήματος ( ESA ) που έχει την επιτελική και επιχειρησιακή ευθύνη του όλου Ευρωπαϊκού GNSS εγχειρήματος.

Κατά τις συνομιλίες μεταξύ ΗΠΑ και Ε.Ε., για θέματα συμβατότητας των δορυφορικών συστημάτων τους, προέκυψε ένα πρόβλημα που αφορούσε τις απαιτήσεις της Ε.Ε στη χρήση και στην δομή των χρησιμοποιούμενων συχνοτήτων στη λεγόμενη Ανώτερη Ζώνη L ( Upper L Band ) μεταξύ 1559 και 1591 MHz. Η χρήση των συχνοτήτων αυτών θα εμπόδιζε τις στρατιωτικές δομές των ΗΠΑ αλλά και της Ε.Ε, να απαγορεύουν κατά το « δοκούν », την χρήση του GPS ή του EGNOS-GALILEO από εχθρικές δυνάμεις σε περίπτωση πολέμου σε περιοχές εχθροπραξιών. Για το λόγο αυτό, η ΕΕ αποδέχθηκε τελικά ένα πρότυπο σύστημα διαμόρφωσης συχνοτήτων με την ονομασία Φέρον Δυαδικής Μετάθεσης 1.1 ( Binary Offset Carrier 1.1 ) ( βλέπε περιγραφή αυτής της διαμόρφωσης σε επόμενο κεφάλαιο ).

Κατόπιν αυτού η συμφωνία που επακολούθησε για την συμβατότητα στις εμπορικές υπηρεσίες ( και όχι στις στρατιωτικές υπηρεσίες ) μεταξύ των δορυφορικών συστημάτων πλοήγησης GALILEO, GPS, GLONASS και της υπηρεσίας του EGNOS αναμένεται ότι θα εξασφαλίσει τη διάθεση στην αγορά δεκτών εξαιρετικών επιδόσεων από αρκετούς κατασκευαστές.



Το σύστημα EGNOS θα προσδώσει μεγάλη ακρίβεια και αξιοπιστία σε πάρα πολλές ανθρώπινες μετακινήσεις και δραστηριότητες.

Το πρόγραμμα GALILEO ωστόσο, έχει ήδη καθυστερήσει αρκετά χρόνια, αρχικά λόγω των αμφιβολιών που εξέφρασαν η Βρετανία, η Γερμανία και η Ολλανδία για την χρησιμότητά του, και στη συνέχεια λόγω του ανταγωνισμού της Ιταλίας με τη Γερμανία

« Μελέτη βελτίωσης της ακρίβειας & ασφάλειας πλοήγησης με χρήση του Ευρωπαϊκού Δορυφορικού Συστήματος EGNOS »

και την Ισπανία για την ανάληψη επιμέρους έργων από τις ιδιωτικές εταιρίες των χωρών αυτών .



Ο δορυφόρος του Galileo GIOVE-B, συναρμολογούμενος στην πλατφόρμα του και έτοιμος για την τελική τοποθέτησή του στον πύραυλο-φορέα - 14 Απριλίου 2008

**17. Άλλες παγκόσμιες υπηρεσίες( συστήματα ) βελτίωσης της ακρίβειας και διαθεσιμότητας των δορυφορικών συστημάτων πλοήγησης.**

Επειδή με την ανάπτυξη και άλλων δορυφορικών συστημάτων πλοήγησης , ( GPS, GLONASS, MTSAS, IRNSS, κ.λ.π. ), προέκυψε η ανάγκη βελτίωσης της ακρίβειας και διαθεσιμότητας των συστημάτων αυτών, οι χώρες που τα ανέπτυξαν αρχικά , σχεδίασαν εκ των υστέρων και αντίστοιχες υπηρεσίες βελτίωσης των αρχικών συστημάτων τους .

Έτσι για την Βόρεια Αμερική και για το εμπορικό κομμάτι του Αμερικανικού GPS , αναπτύχθηκε η υπηρεσία WAAS ( Wide Area Augmentation Service \_ Υπηρεσία Βελτίωσης Ευρείας Περιοχής ) που καλύπτει και εξυπηρετεί τις περιοχές που περικλείονται στο παρακάτω σχέδιο :



Για την περιοχή της Ευρώπης λειτουργεί και επεκτείνεται συνεχώς το Ευρωπαϊκό σύστημα EGNOS με σκοπό να καλύψει και τις γειτονικές περιοχές της Αφρικής και Μέσης Ανατολής , όπως φαίνεται στο πιο κάτω σχέδιο :



Για τη περιοχή της Ιαπωνίας και των γειτονικών περιοχών της, αναπτύχθηκε η υπηρεσία MSAS ( Multifunctional Satellite Augmentation Service ), που καλύπτει προς το παρόν ( Οκτώβριος του 2009 ), τις περιοχές που φαίνονται στο πιο κάτω σχέδιο και με τάση να επεκταθεί βορειότερα και νοτιότερα των περιοχών αυτών:



Για την περιοχή της Ινδίας που χρησιμοποιεί το δορυφορικό σύστημα IRNSS, αναπτύχθηκε η δορυφορική υπηρεσία βελτίωσης στίγματος με την επωνυμία GAGAN , η οποία καλύπτει την Ινδία και τις γειτονικές περιοχές της .

Δεν έχει διευκρινιστεί ακόμα (2010), εάν το Ρωσικό σύστημα GLONASS θα διασυνδεθεί με το Ινδικό IRNSS ώστε να βελτιωθεί το Ινδικό σύστημα και κατ' επέκταση να βελτιωθεί και το Ινδικό GAGAN .



Ένα δίκτυο επτά (7) δορυφόρων αποτελεί το Ινδικό IRNSS και σε αυτό θα έχει υλοποιηθεί το σύστημα GAGAN μέχρι το 2012.

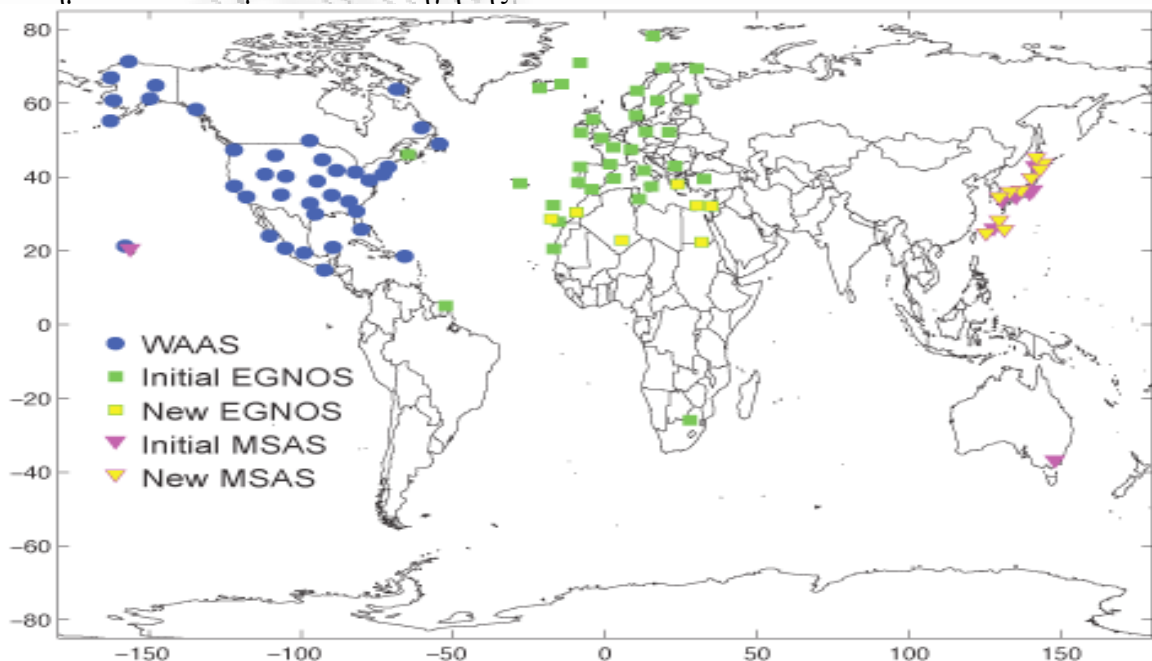
« Μελέτη βελτίωσης της ακρίβειας & ασφάλειας πλοήγησης με χρήση του Ευρωπαϊκού Δορυφορικού Συστήματος EGNOS »

Τρεις (3) από αυτούς τους ινδικούς δορυφόρους θα τοποθετηθούν σε γεωστατική τροχιά, πάνω από τον Ινδικό Ωκεανό και οι υπόλοιποι σε ύψος 24.000 Χιλιομέτρων.

Εκπέμπουν στις μπάντες L5 (1176.45 MHz) και S (2492.08 MHz) και χρησιμοποιούν κεραιές με διάταξη διαφοράς φάσεως (phased array antennas), ώστε να διατηρούν συνεχή κάλυψη της περιοχής και ισχυρό σήμα. Ο κάθε δορυφόρος ζυγίζει 1330 κιλά και τα ηλιακά κάτοπτρά του παράγουν 1400 Watts ηλεκτρικής ενέργειας. Οι δορυφόροι αυτοί εξασφαλίζουν κάλυψη του Ινδικού Ωκεανού, καθώς και όλης της Ινδίας, επεκτεινόμενοι εκτός συνόρων και πέρα από τα 2.000 Χιλιόμετρα, με ακρίβεια  $\pm 20$  μέτρων.

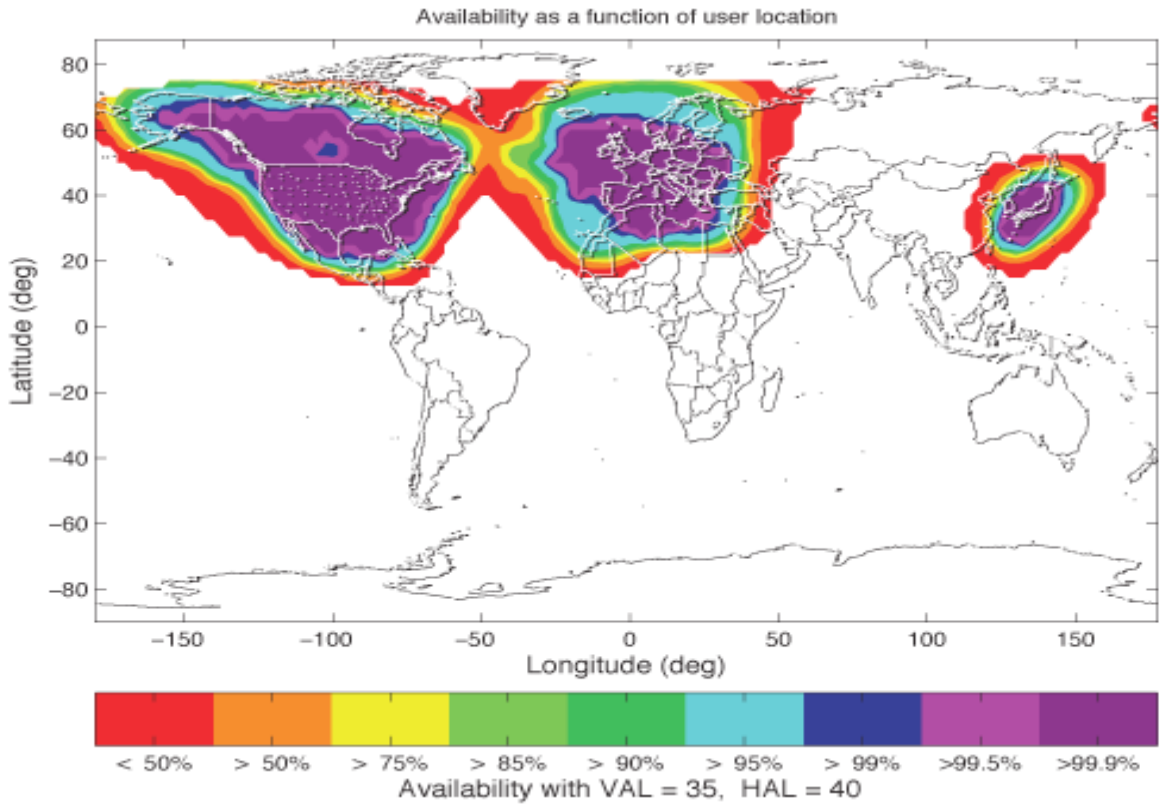


Τέλος οι χώρες της Κίνας, της Αυστραλίας καθώς και συμμαχίες χωρών της Νότιας Αμερικής, βρίσκονται στο στάδιο της ανάπτυξης παρόμοιων υπηρεσιών βελτίωσης της ακρίβειας και διαθεσιμότητας των δορυφορικών συστημάτων τους, ώστε να ανταποκριθούν στο κάλεσμα των καιρών για ακριβή και βελτιωμένα συστήματα εντοπισμού και πλοήγησης.



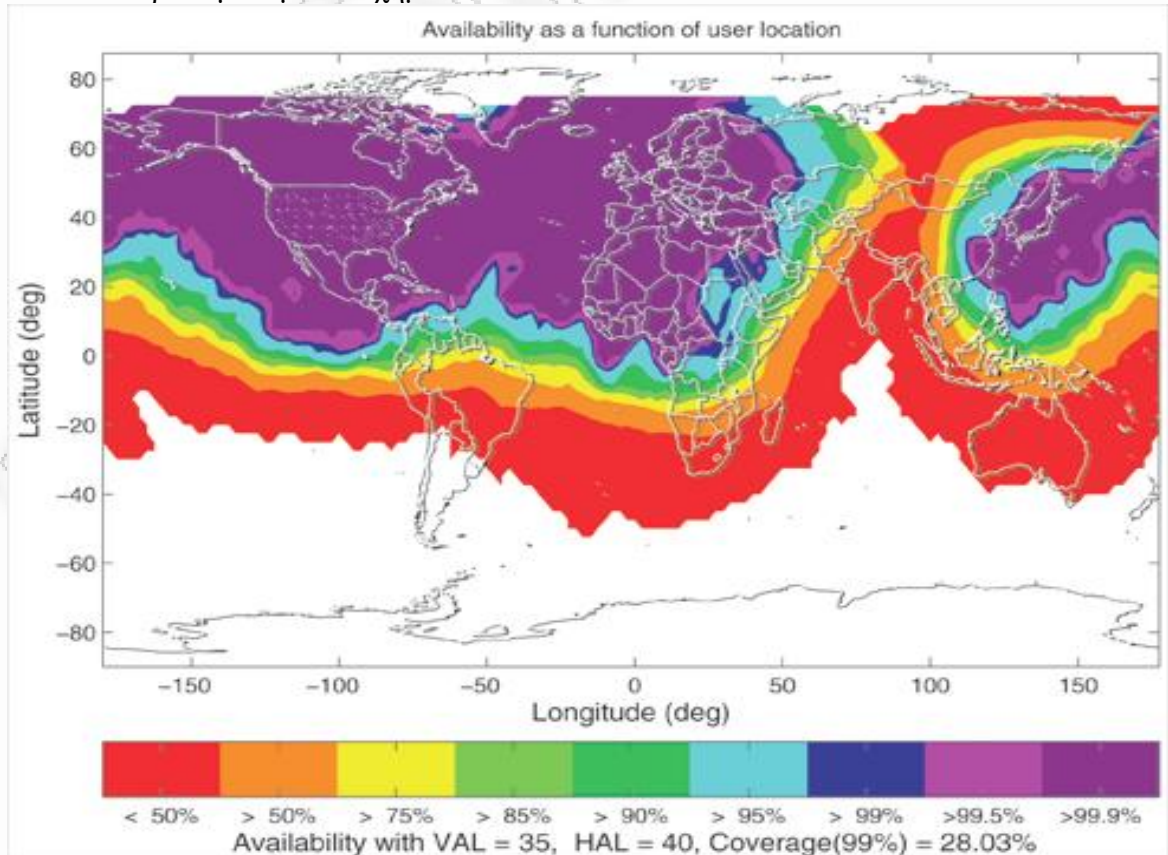
Με τους νέο-εγκατεστημένους επίγειους σταθμούς η κάλυψη και η διαθεσιμότητα αποτυπώνονται στο ακόλουθο προσομοιωμένο σχέδιο:

« Μελέτη βελτίωσης της ακρίβειας & ασφάλειας πλοήγησης με χρήση του Ευρωπαϊκού Δορυφορικού Συστήματος EGNOS »

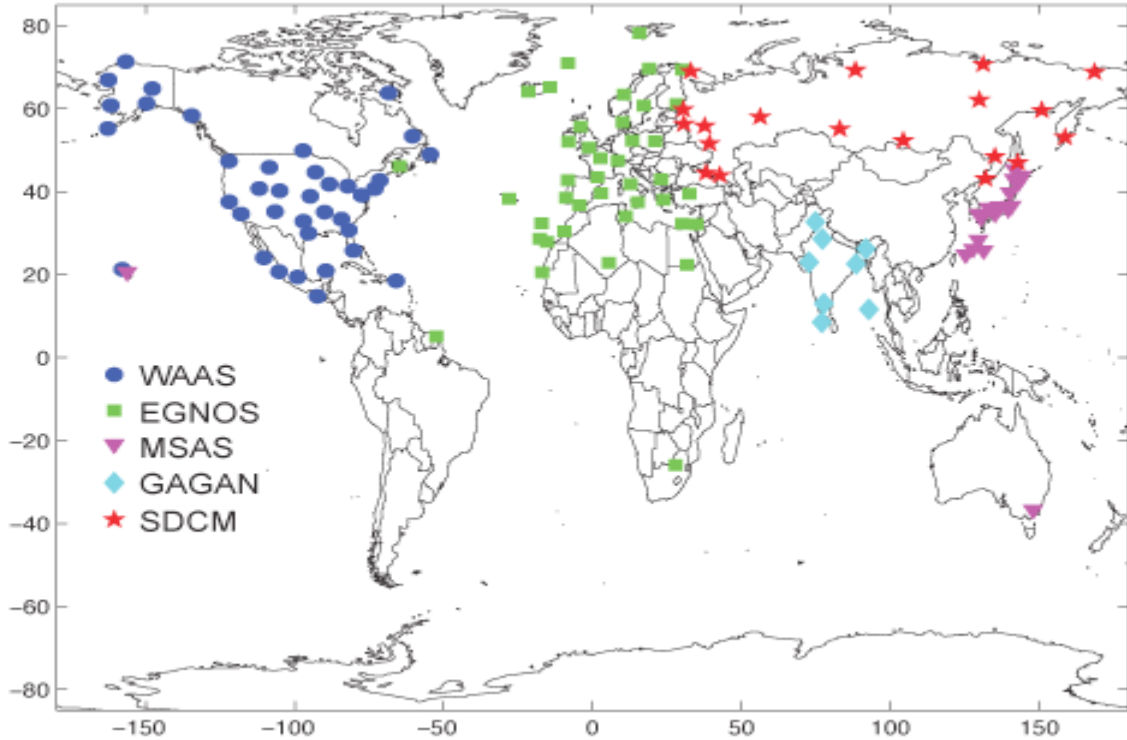


**Σημείωση :** με τις ονομασίες VAL ( Vertical Alert Limit ) και HAL ( Horizontal Alert Limit ) προσδιορίζονται περιοχές (κόκκινο χρώμα ) όπου η διαθεσιμότητα είναι στα όρια της επιτρεπόμενης για ασφαλή καθοδήγηση. Πέραν αυτών των ορίων τα συστήματα καθοδήγησης δεν είναι ασφαλή για παρόμοιες χρήσεις, διότι δεν εξασφαλίζουν την απαραίτητη διαθεσιμότητα .

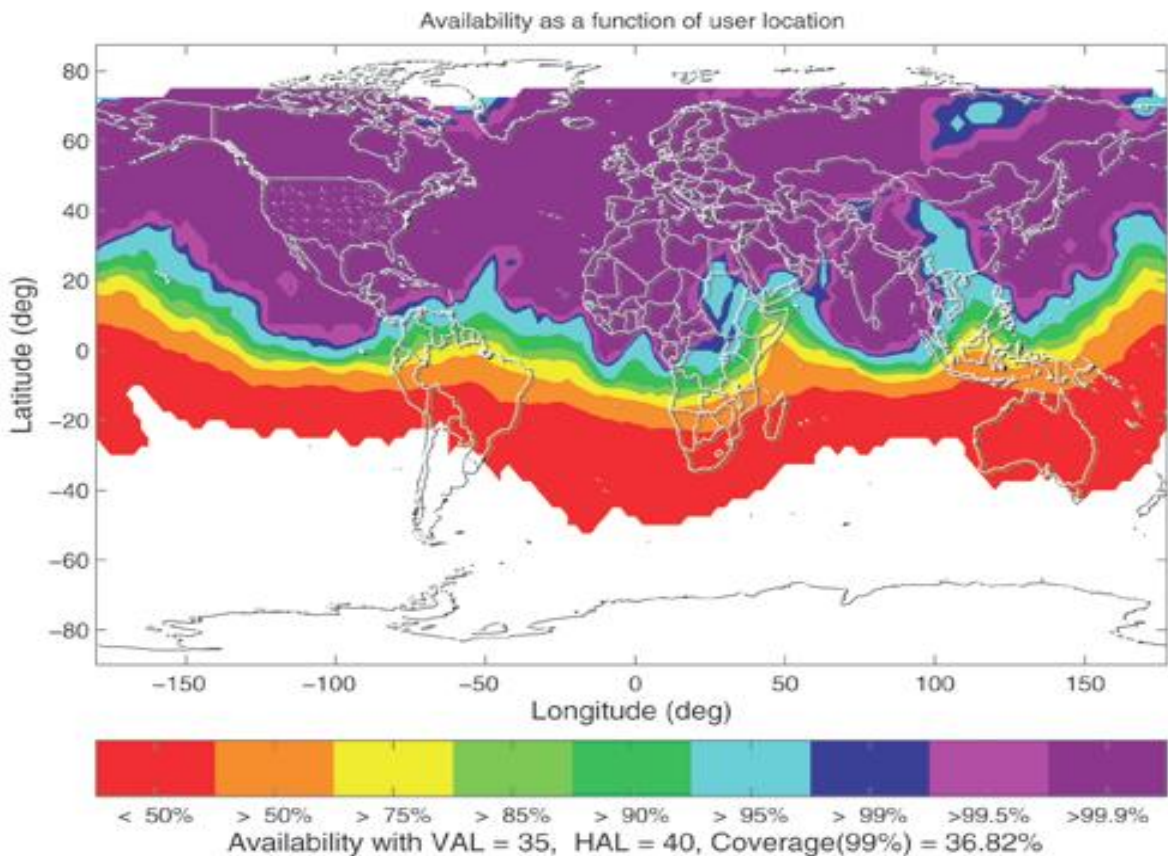
Με την χρήση δεκτών διπλής συχνότητας , οι περιοχές κάλυψης φαίνονται στο ακόλουθο προσομοιωμένο σχήμα :



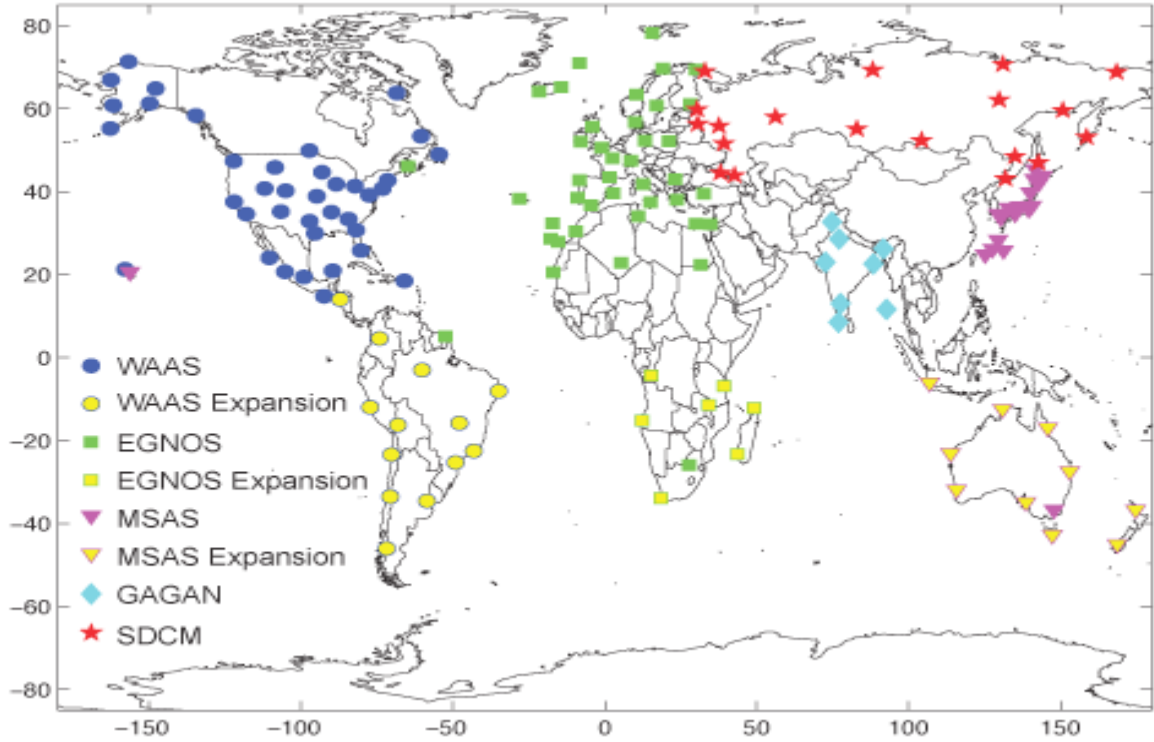
Με την ανάπτυξη των συστημάτων της Ινδίας (GAGAN) και της Ρωσίας (SDCM) με μετρητικούς σταθμούς εγκατεστημένους στα κατωτέρω σημεία του Παγκόσμιου χάρτη :



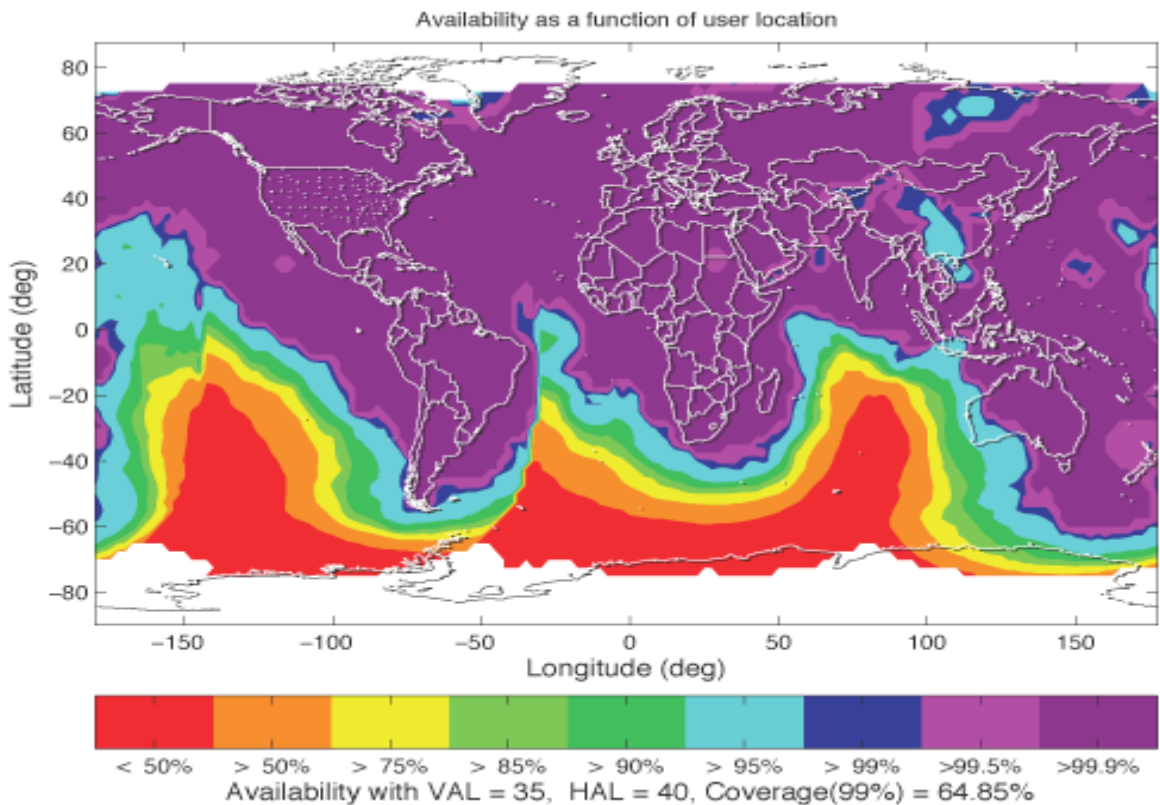
και με την χρήση εκπομπής διπλής συχνότητας από τους δορυφόρους τους, καθώς και αντιστοίχων δεκτών από τους χρήστες, η προσομοιωμένη κάλυψη της υδρογειείου εμφανίζεται καθαρά στο παρακάτω σχήμα :



Τέλος με τις σχεδιαζόμενες επεκτάσεις των συστημάτων WAAS, EGNOS και MSAS στα νότια σημεία της Υδρογείου, που μελλοντικά σχεδιάζεται να εγκατασταθούν στην Νότια Αμερική, στην Νότια Αφρική και στην Αυστραλία, όπως εμφανίζεται στο ακόλουθο σχέδιο:

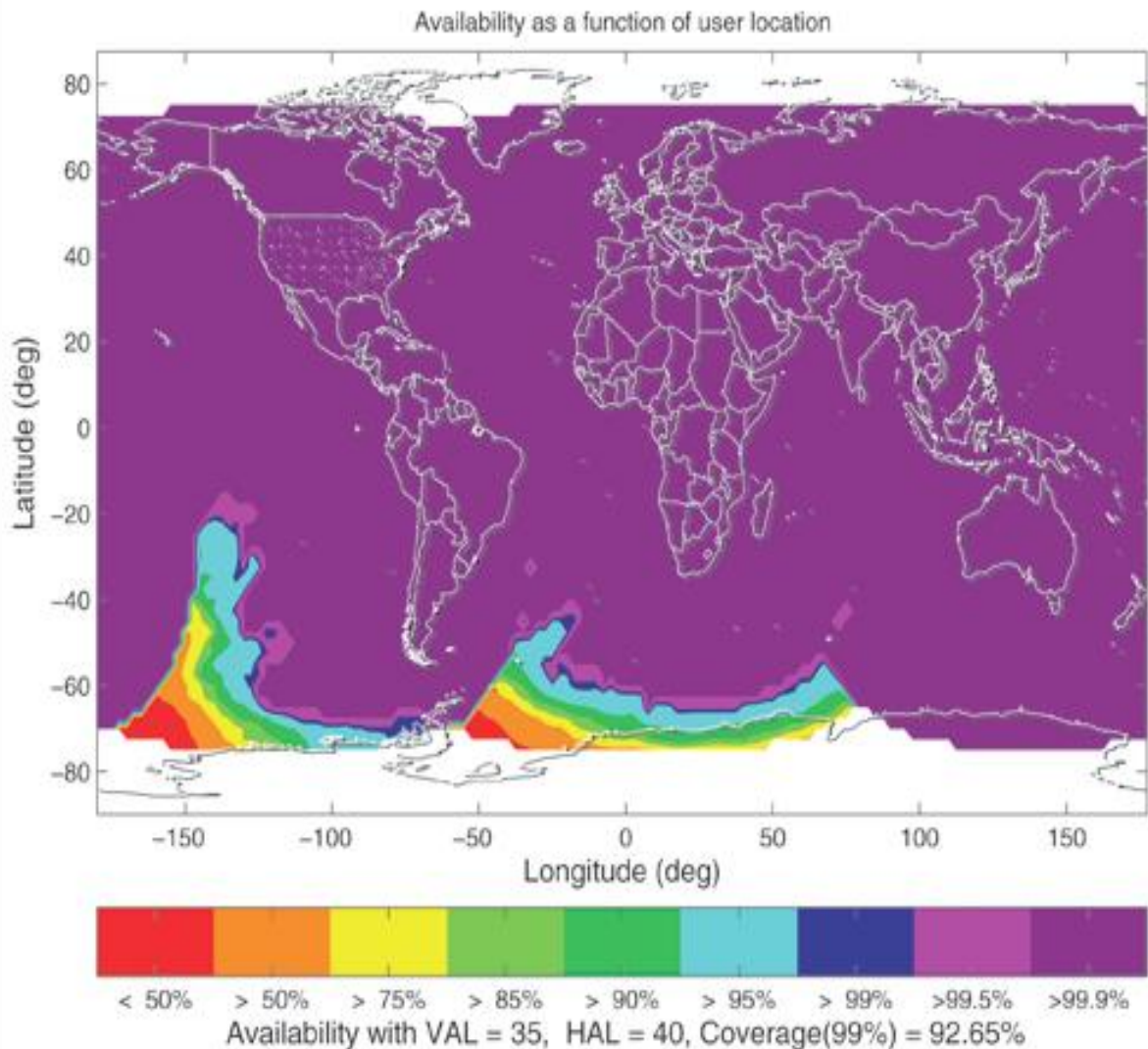


η προσομοιούμενη κάλυψη του πλανήτη, αποτυπώνεται στον χάρτη κάλυψης που ακολουθεί:





Τέλος με την πλήρη ανάπτυξη του Ευρωπαϊκού GALILEO, την ανανέωση και αναβάθμιση του στόλου του Ρωσικού GLONASS, του Αμερικανικού GPS, και την πλήρη ανάπτυξη του κινεζικού COMPASS και ορισμένων άλλων βελτιώσεων καθώς και την εγκατάσταση επί πλέον μετρητικών επίγειων σταθμών, η συνολική προσομοιωμένη εικόνα κάλυψης του πλανήτη θα είναι η ακόλουθη:



Εδώ πρέπει να τονιστεί ότι, γίνονται προσπάθειες και διαρκείς διαβουλεύσεις σε διεθνές επίπεδο, ώστε οι ήδη ανεπτυγμένες ή αναπτυσσόμενες παρόμοιες υπηρεσίες βελτίωσης των διαφόρων δορυφορικών συστημάτων, να είναι διαλειτουργικές (συμβατές) σε παγκόσμιο επίπεδο. Έτσι σκάφη, αεροπλάνα, αυτοκίνητα ή άνθρωποι εφοδιασμένοι με οποιοδήποτε δέκτη GPS, να μπορούν να χρησιμοποιούν τα συστήματα αυτά και τις αντίστοιχες υπηρεσίες βελτίωσης σε οποιοδήποτε σημείο του πλανήτη, χωρίς να εμποδίζονται από προβλήματα προσαρμογής (compatibility problems), στον οποιοδήποτε δέκτη ή σύστημα χρησιμοποιούν.

## 18. Τοπικό Σύστημα Βελτίωσης Προσδιορισμού Θέσης (LAAS)



Η αρχιτεκτονική του τοπικού συστήματος βελτίωσης της ακρίβειας εντοπισμού θέσης (LAAS).

Το Τοπικό Σύστημα Βελτίωσης Προσδιορισμού Θέσης είναι ένα σύστημα Αεροναυτιλίας παντός καιρού, που βασίζεται σε διαφορικές διορθώσεις σημάτων GPS πραγματικού χρόνου (σύστημα DGPS). Οι τοπικοί GPS δέκτες αναφοράς τοποθετημένοι γύρω από το αεροδρόμιο, στέλνουν τα δεδομένα τους σε μία κεντρική θέση μέσα στο αεροδρόμιο. Τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιούνται για να δημιουργήσουν μηνύματα διόρθωσης που με την σειρά τους εκπέμπονται στους χρήστες (αεροπλάνα), μέσω VHF ασυρματικών συνδέσεων δεδομένων. Ο δέκτης του αεροπλάνου χρησιμοποιεί αυτές τις πληροφορίες για να διορθώσει τα σήματα του GPS τα οποία με την σειρά τους δημιουργούν μια απεικόνιση (στίγμα) "προσέγγισης και προσγείωσης ακριβείας με την βοήθεια οργάνων κατηγορίας III" τύπου ILS category III (Instrument Landing System Category III). Ο Διεθνής Οργανισμός Πολιτικής Αεροπορίας ονομάζει το σύστημα αυτό "Επίγειο Σύστημα Βελτιωμένης Προσγείωσης" (Ground Based Augmentation System [GBAS]).

Με την χρήση του συστήματος αυτού καταργούνται πολλά από τα χρησιμοποιούμενα ραδιοβοηθήματα Αεροναυτιλίας όπως τα NDB;s, DME, VOR, ILS, MLS, και GPS με αποτέλεσμα να περιορίζεται σημαντικά το κόστος των αεροπορικών εταιριών που είναι υποχρεωμένες να εξοπλίζουν τα αεροσκάφη τους με τα αντίστοιχα όργανα, αλλά και το κόστος εγκατάστασης, λειτουργίας και υποστήριξης των επίγειων προαναφερθέντων συστημάτων, με απώτερο και τελικό σκοπό την μείωση των αεροπορικών εισιτηρίων.

Τέλος για την χωρική κάλυψη δυσπρόσιτων απομακρυσμένων περιοχών της Γης με βελτιωμένες υπηρεσίες κυρίως DGPS [ αλλά και με υπηρεσίες επισκόπησης περιβάλλοντος, ελέγχου συνόρων, πυρανίχνευσης και πυροπροστασίας δασών, προγνώσεων καιρού, και ατμοσφαιρικών διαταραχών ( τυφώνων κ.λ.π. ), ποικίλων σταθερών και κινητών τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών κ.λ.π. ], η Πορτογαλική Υπηρεσία Διαστήματος σε συνεργασία με την ESA και ιδιωτικούς φορείς, ανέπτυξαν και έθεσαν σε λειτουργία ένα πρόγραμμα από ιπτάμενες πλατφόρμες μεγάλου ύψους ( HAP – High Altitude Platforms ), όπως η εικονιζόμενη στην κατωτέρω φωτογραφία :



Το πρόγραμμα με την επωνυμία BOREAS στηρίζεται στην δυνατότητα των ιπταμένων αυτών πλατφορμών να παράγουν την απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια και την ενέργεια στήριξής τους, αποκλειστικά και μόνον λόγω του αεροδυναμικού τους σχήματος και της ηλιακής ενέργειας που συσσωρεύουν. Με την προσέγγιση αυτή παρέχονται όλες οι προαναφερόμενες υπηρεσίες αλλά και υπηρεσίες GIS ( Geodetic Information System ), Αξιολόγησης Δορυφορικών Δεδομένων, τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες σε περιοχές που δεν υπάρχουν τηλεπικοινωνιακές υποδομές, κ.λ.π., με συγκριτικά μικρότερα κόστη.

## 19. Σύγκριση ακρίβειας συστημάτων προσδιορισμού θέσης.

Στον παρατιθέμενο πίνακα γίνεται προσπάθεια σύγκρισης μερικών από τα υπάρχοντα συστήματα προσδιορισμού θέσης και σχολιάζονται κάποιες λεπτομέρειές τους.

<b>Σύγκριση συστημάτων πλοήγησης ως προς την ακρίβεια προσδιορισμού θέσης</b>		
<b>Σύστημα</b>	<b>95% του χρόνου ακρίβεια (Οριζόντια / καθ' ύψος)</b>	<b>Λεπτομέρειες Συστημάτων</b>
LORAN-C (Προδιαγραφές)	460 μέτρα / -----	Η απόλυτη ακρίβεια του συστήματος LORAN-C σύμφωνα με τις προδιαγραφές.
Distance Measuring Equipment (DME) (Προδιαγραφές)	185 μέτρα (σε ευθεία)	Το DME είναι ένα ραδιοναυτιλιακό βοήθημα που μπορεί να υπολογίζει την ευθεία απόσταση ενός αεροπλάνου από την αντίστοιχη συσκευή εδάφους.
GPS (Προδιαγραφές) (Αμερικανικό Σύστημα)	100 μέτρα / 150 μέτρα	Η προδιαγεγραμμένη ακρίβεια του συστήματος GPS με ενεργοποιημένη την Επιλεκτική Διαθεσιμότητα (Selective Availability) (SA), που απενεργοποιήθηκε από την Κυβέρνηση των Ηνωμένων Πολιτειών μετά την 1 <sup>η</sup> Μαΐου 2000
LORAN-C Βελτιωμένης επαναληψιμότητας	50 μέτρα / -----	Η Ακτοφυλακή των Ηνωμ. Πολιτειών ανέφερε ακρίβειες των 50 μέτρων, κατά το τεστ 'επιστροφή στην συγκεκριμένη τοποθεσία' στη θέση λειτουργίας 'διαφορά χρόνου'
eLORAN Επαναληψιμότητας	8 -20 μέτρα / -----	Οι βελτιωμένοι δέκτες LORAN-C, χρησιμοποιούν ταυτόχρονα όλα τα διαθέσιμα σήματα (σήματα διόρθωσης διαφορικού Loran, εκπεμπόμενους χάρτες διάδοσης σήματος, προειδοποιητικά σήματα) σε κανάλι δεδομένων του Loran μέσω κεραιών βραχέων κυμάτων.
Differential GPS (DGPS) Διαφορικό GPS (Αμερικανικό Σύστημα)	10 μέτρα / 10 μέτρα	Αυτή είναι η χειρότερη ακρίβεια του Διαφορικού GPS (DGPS). Σύμφωνα με την αναφορά του 2001 από το Αμερικανικό Ομοσπονδιακό Ραδιοναυτιλιακό Σύστημα (FRS) σε κοινή ανακοίνωση με το Υπουργείο Μεταφορών και το Υπουργείο Αμύνης, η ακρίβεια μειώνεται με την απόσταση από τον σταθμό: αυτή μπορεί να κειμαίνεται από < 1 μέτρο, αλλά κανονικά είναι < 10 μέτρα.
Σύστημα Βελτίωσης Ευρείας Περιοχής (WAAS) (Αμερικανικό) (Προδιαγραφές)	7.6 μέτρα / 7.6 μέτρα	Η χειρότερη ακρίβεια που μπορεί να παρέχει το Σύστημα Βελτίωσης Ευρείας Περιοχής ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε προσεγγίσεις ακριβείας.

GPS Βελτιωμένο	2.5 μέτρα / 4.7 μέτρα	Η πραγματική μετρημένη ακρίβεια του συστήματος(αποκλείοντας τα λάθη του δέκτη), και με απενεργοποιημένη την Επιλεκτική Διαθεσιμότητα ( SA ), βασιζόμενη στα ευρήματα του Εθνικού Εργαστηρίου Δορυφορικών Δοκιμών (NSTB) της Αμερικανικής Ομοσπονδιακής Πολιτικής Αεροπορίας (FAA)
WAAS Βελτιωμένο	0.9 μέτρα / 1.3 μέτρα	Η πραγματική μετρημένη ακρίβεια του συστήματος(αποκλείοντας τα λάθη του δέκτη), βασιζόμενη στα ευρήματα του (Αμερικανικού) Εθνικού Εργαστηρίου Δορυφορικών Δοκιμών (NSTB)
Local Area Augmentation System (LAAS) (Προδιαγραφές )	< 1 μέτρου / < 1 μετρου	Ο στόχος του προγράμματος Τοπικής Βελτίωσης του Προσδιορισμού Θέσης είναι να παρέχει την δυνατότητα ραδιοβοηθήματος προσγείωσης κατηγορίας III ( Category III ILS). Αυτό επιτρέπει την προσγείωση με μηδενική ορατότητα , χρησιμοποιώντας τα συστήματα 'αυτόματης προσγείωσης' και παρουσιάζει μεγάλη ακρίβεια < 1 μέτρου.

## 20. Συστήματα πλοήγησης και εντοπισμού επόμενης γενεάς ( Next Generation systems )

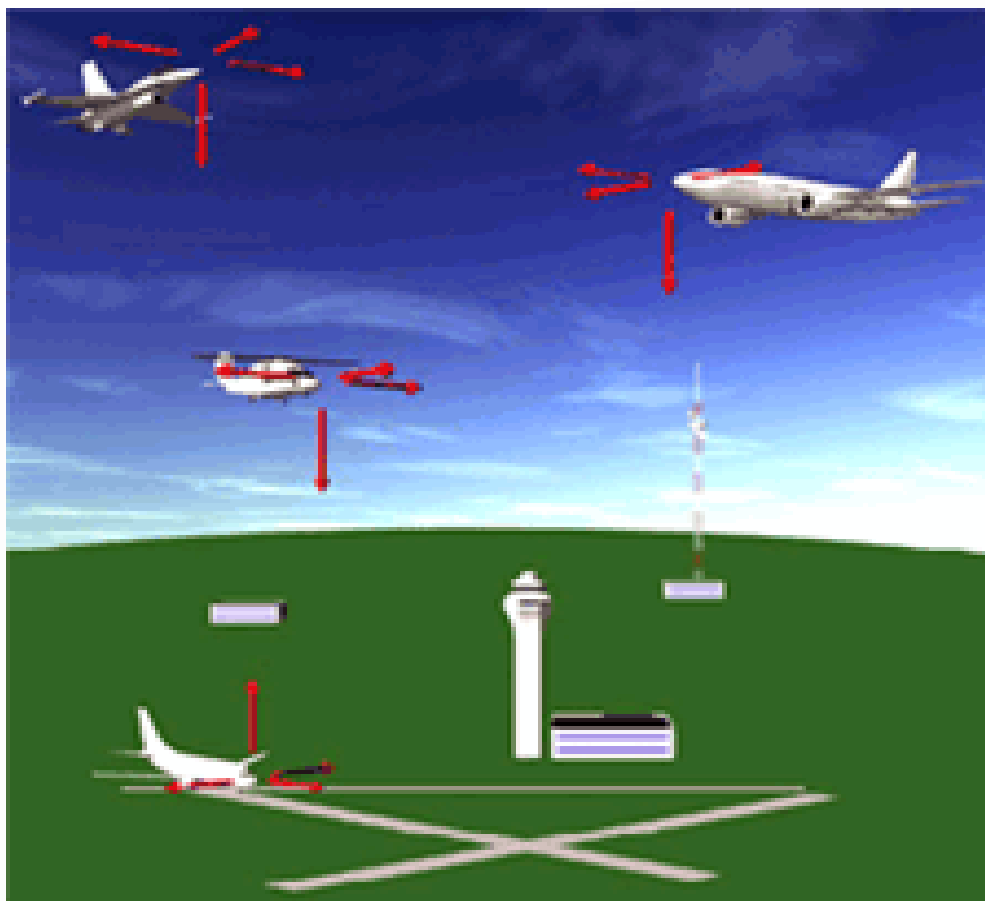
Τα συστήματα εντοπισμού επόμενης γενεάς που βρίσκονται τώρα στο στάδιο των μελετών , σχεδιασμού και της αξιολόγησης των αποτελεσμάτων είναι τα ακόλουθα :

- **ADS-B** **A**utomatic **D**ependent **S**urveillance **B**roadcast ( Αυτόματη Εκπομπή Ανεξάρτητης Παρακολούθησης )

Το σύστημα ADS-B είναι σύστημα παρακολούθησης και επιτήρησης όπως τα συστήματα radar, αλλά προσφέρουν καλύτερη ακρίβεια εντοπισμού και περισσότερες υπηρεσίες στον πιλότο αλλά και στον πύργο ελέγχου, όπως πληροφορίες καιρού και σφαιρικές πληροφορίες κίνησης άλλων αεροσκαφών γύρω από κάθε αεροσκάφος

Τα συστήματα ADS-B παρέχουν στους ελεγκτές εναέριας κυκλοφορίας αλλά και στους πιλότους των ελικοπτέρων και αεροσκαφών πολύ μεγαλύτερη ακρίβεια πληροφορίας και βοηθούν στο να κρατούνται τα αεροσκάφη διαχωρισμένα με την προβλεπόμενη ασφάλεια και σύμφωνα με τους Διεθνείς Κανονισμούς Αεροναυτιλίας , είτε κατά την πτήση τους , είτε στους διαδρόμους προσγείωσης - απογείωσης .

Συστήματα ADS-B έχουν εγκατασταθεί και στην Ελλάδα ( 4 μέχρι τώρα ) και βρίσκονται σε πιλοτική λειτουργία για εξαγωγή επιχειρησιακών και τεχνικών συμπερασμάτων ακρίβειας και χωροκάλυψης . Στο σχεδιάγραμμα που ακολουθεί φαίνεται παραστατικά η λειτουργία της χρήσης τους.

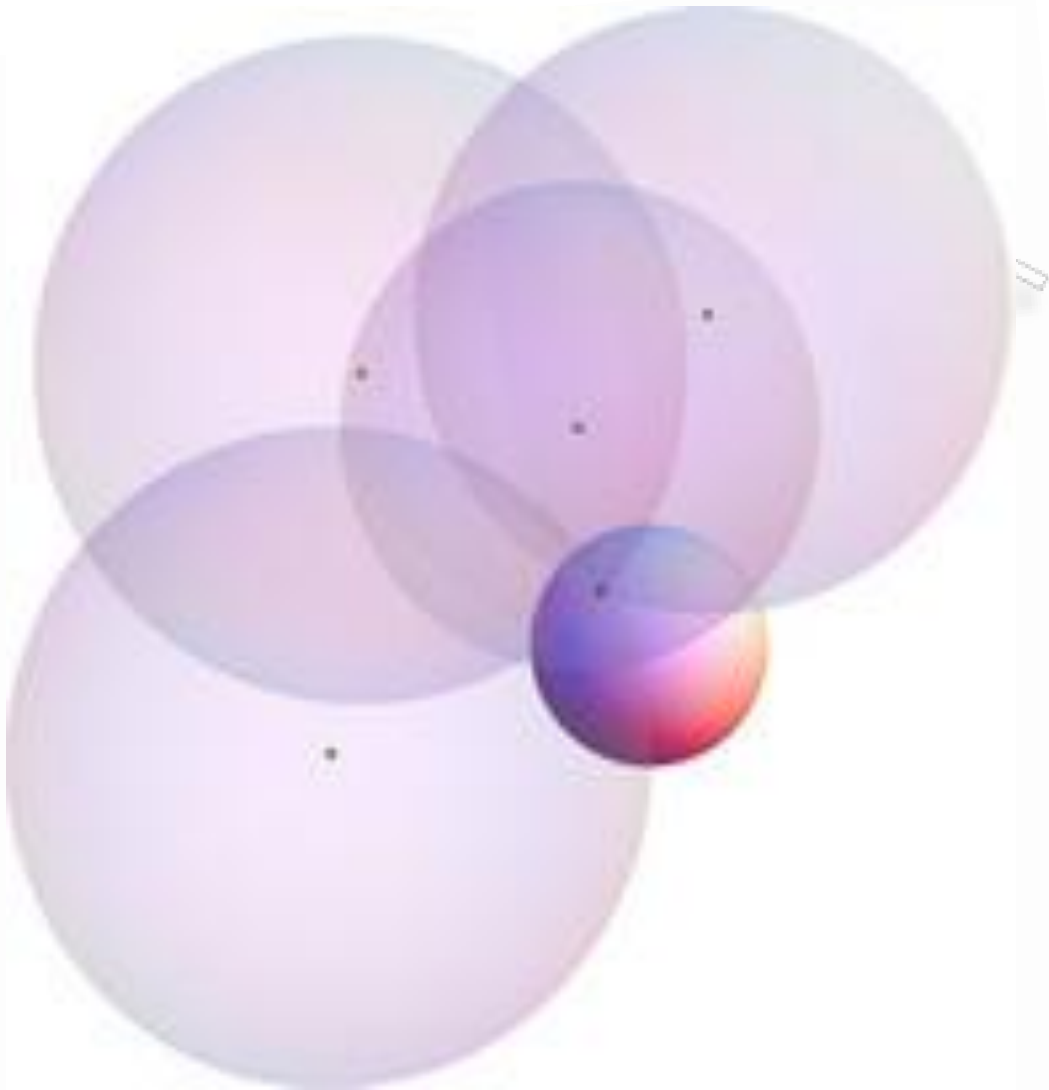


Απεικόνιση των διαφορετικών τύπων επικοινωνιών μεταξύ αεροσκαφών σε διαφορετικά επίπεδα

Το σύστημα ADS-B δουλεύει ως εξής : Οι ερωταπαντητές ( transponders ) των αεροπλάνων λαμβάνουν σήματα GPS και τα χρησιμοποιούν για να προσδιορίσουν την ακριβή θέση του αεροπλάνου στον ουρανό . Το στίγμα αυτό συνδυαζόμενο με άλλες πληροφορίες εκπέμπεται προς τα γύρω αεροσκάφη και στον ή στους πλησιέστερους πύργους ελέγχου , όπως απεικονίζεται στο ανωτέρω σχήμα .

- **RPS** Relativistic Positioning System ( Συσχετισμένο Σύστημα Εντοπισμού)

Τα υπάρχοντα δορυφορικά συστήματα πλοήγησης όπως το Αμερικανικό GPS , το Ρωσικό GLONASS , το Ευρωπαϊκό GALILEO και άλλα , μεταχειρίζονται Νευτώνεια Τριγωνομετρία για να προσδιορίσουν τις θέσεις τους , χρησιμοποιώντας επίγειους σταθμούς σαν σημεία αναφοράς . Αυτή η προσέγγιση θα λειτουργούσε ιδανικά εάν όλοι οι δορυφόροι και οι δέκτες των χρηστών ήταν ακίνητοι και μακριά από τη Γή . Αυτό είναι αλήθεια μόνον σαν αρχική προσέγγιση . Στην πραγματικότητα θα πρέπει να εξετασθούν οι επιδράσεις της παραμόρφωσης που προξενεί η Γή στο εγγύς χώρο και χρόνο ( χωρο-χρονική καμπυλότητα ) καθώς και τα σχετικιστικά φαινόμενα των κινήσεων μεταξύ δορυφόρων και χρήστη ( αδρανειακές επιδράσεις της σχετικιστικής θεωρίας ) , δεδομένου ότι η ακρίβεια που απαιτεί ένα GNSS σύστημα είναι αρκετά υψηλή . Αυτά λαμβάνονται υπόψιν κατά τους υπολογισμούς , εισάγοντας τις σχετικιστικές διορθώσεις στην Νευτώνεια θεωρία . Εάν αυτές οι επιδράσεις δεν υπολογιστούν , αυτό έχει σαν συνέπεια την εισαγωγή λαθών της τάξεως έως και 12 Χιλιόμετρων μετά παρέλευση μιας ημέρας .



Απαιτούνται τέσσερεις δορυφόροι ώστε ένας χρήστης να προσδιορίσει την ακριβή του θέση στον χώρο.

Η Γενική θεωρία της σχετικότητας του Αϊνστάϊν, η οποία εξετάζει θέματα βαρύτητας, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να βελτιώσει σημαντικά τα παγκόσμια δορυφορικά συστήματα πλοήγησης.

Ένας απλός τρόπος να αποφύγουμε τα λάθη που εισάγει η Νευτώνεια Θεωρία είναι ο εξής: αντί να μοντελοποιήσουμε το σύστημα πλοήγησης στο Νευτώνειο πλαίσιο και εν συνεχεία να προσθέσουμε τις διορθώσεις της θεωρίας της Σχετικότητας, μπορούμε να μοντελοποιήσουμε το σύστημα εντοπισμού και πλοήγησης κατ' ευθείαν στο πλαίσιο της Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας. Κατόπιν αυτής της σκέψης σχεδιάστηκε μια προσέγγιση στο πρόβλημα, βασισμένη στα σήματα ρολογιών που λαμβάνονται από τέσσερεις δορυφόρους. Μετά δημιουργήθηκαν αλγόριθμοι που διαβάζουν τις πολικές σφαιρικές συντεταγμένες (Schwarzschild coordinates) του χωρόχρονου, από τα σήματα των τεσσάρων δορυφόρων, οι οποίοι (αλγόριθμοι) εν συνεχεία υλοποιήθηκαν και δοκιμάστηκαν. Το νέο πλαίσιο αναφοράς βασίζεται στη δυναμική των δορυφόρων αντί να εξαρτάται από την τοποθεσία των επιγείων σταθμών αναφοράς. Εάν ο αστερισμός των δορυφόρων εξοπλιστεί με συστήματα ενδο-δορυφορικών επικοινωνιών, τότε κάθε δορυφόρος θα μπορούσε να είναι χρήστης του δικού του συστήματος εντοπισμού. Τα πρώτα αποτελέσματα υπόσχονται αύξηση της ακρίβειας και της σταθερότητας του νέου πλαισίου αναφοράς. Το ερώτημα που παραμένει και διερευνάται ακόμη είναι εάν η προσέγγιση αυτή μπορεί να αποφύγει τα επίγεια σημεία αναφοράς.

Τον Απρίλιο του 2010 έγινε συνάντηση εργασίας η οποία κατέληξε στο συμπέρασμα ότι το νέο σχετικιστικό πλαίσιο εντοπισμού θέσης μπορεί να οδηγήσει σε καινοτόμες εφαρμογές όπως :

- Θα μπορούσε να αναπτυχθεί ένα πολύ σταθερό και ακριβές σύστημα αναφοράς που θα χρησιμοποιηθεί για ανάπτυξη διαστημικών επιστημών και αποτύπωση τροχιών υψηλής ακρίβειας ,
- Θα μπορούσε να προσδιοριστεί ένα πλαίσιο γαλαξιακής αναφοράς για ενδο-πλανητική πλοήγηση, χρησιμοποιώντας τα αστέρια pulsars σαν ρολόγια του συστήματος.

Τα τελικά αποτελέσματα έρχονται και συμπληρώνουν άλλες μελέτες που πραγματοποιήθηκαν από την ESA και δείχνουν πως οι ενδο-δορυφορικές επικοινωνίες μπορούν να περιορίσουν την επίγεια υποδομή και τα λειτουργικά κόστη ενός δορυφορικού συστήματος πλοήγησης , ενώ ταυτόχρονα αυξάνουν την αξιοπιστία του.

## 21. Φέρον Δυαδικής Μετάθεσης 1.1 ( Binary Offset Carrier 1.1 )

Όπως αναφέραμε σε προηγούμενο κεφάλαιο , θα αναλύσουμε εν συντομία τον τρόπο κωδικοποίησης του σήματος του συστήματος EGNOS , αλλά και του συστήματος GALILEO ώστε τα συστήματα αυτά να είναι συμβατά με το Αμερικανικό GPS, αλλά ταυτόχρονα να μην επηρεάζονται από άλλα διαφορετικής διαμόρφωσης σήματα .

Η τεχνική διαμόρφωσης Φέροντος Δυαδικής Μετάθεσης 1.1 ( BOC 1.1 ) που χρησιμοποιείται τώρα στο σύστημα GALILEO είναι μια τετραγωνική διαμόρφωση υποφέροντος, όπου το σήμα πολλαπλασιάζεται με ένα τετραγωνικό υποφέρον συχνότητας  $f_{sc}$  ίσης ή μεγαλύτερη του ρυθμού ψηφίων [ chip rate ( CDMA ) ]. Μετά τον πολλαπλασιασμό αυτού του υποφέροντος , το φάσμα του σήματος χωρίζεται σε δύο τμήματα , για αυτό και η διαμόρφωση αυτή (BOC) καλείται « Διαμόρφωση Διηρημένου Φάσματος » (split-spectrum modulation ) .

Η κύρια ιδέα πίσω από την Διαμόρφωση Δυαδικής Μετάθεσης ( BOC ) , είναι στο να μειωθεί η παρεμβολή με τα διαμορφωμένα σε BPSK σήματα . Επομένως τα διαμορφωμένα με BPSK σήματα , όπως τα σήματα του κώδικα C/A του GPS , έχουν την περισσότερη φασματική τους ενέργεια συγκεντρωμένη γύρω από την συχνότητα φέροντος , ενώ τα διαμορφωμένα με τον κώδικα ( BOC )( που χρησιμοποιούνται στο σύστημα του GALILEO ) , έχουν μικρή φασματική ενέργεια γύρω από την συχνότητα φέροντος και δύο κύριους φασματικούς λοβούς αρκετά μακριά από το φέρον ( εξ ου και η ονομασία « Διαμόρφωση Διηρημένου Φάσματος » )

Η διαμόρφωση Δυαδικής Μετάθεσης ( BOC ) , έχει αρκετές μεταβλητές όπως : sine BOC (SinBOC), cosine BOC (CosBOC) Alternative BOC (AltBOC), multiplexed BOC (MBOC), Double BOC (DBOC), κ.λ.π., και κάποιες από αυτές έχουν επιλεγεί και χρησιμοποιούνται για σήματα Δορυφορικής Πλοήγησης ( GNSS ) του συστήματος GALILEO.

Η κυματομορφή του Φέροντος Δυαδικής Μετάθεσης 1.1 ( BOC 1.1 ) περιγράφεται τυπικά με τις  $BOC(m,n)$  ή  $BOC(f_{sc}, f_c)$ , όπου  $f_{sc}$  είναι η συχνότητα υποφέροντος ,  $f_c$  είναι η συχνότητα ψηφίων ( chip rate ),  $m = f_{sc} / f_{ref}$ ,  $n = f_c / f_{ref}$ , και  $f_{ref} = 1.023$  Mcps είναι η συχνότητα αναφοράς του σήματος C/A του GPS .

*« Μελέτη βελτίωσης της ακρίβειας & ασφάλειας πλοήγησης με χρήση του Ευρωπαϊκού Δορυφορικού Συστήματος EGNOS »*



Η διαμόρφωση ημιτόνου του BOC(1,1) αν περιγραφεί με ψηφιακούς όρους, μπορούμε να πούμε ότι το "+1" κωδικοποιείται σαν αλληλουχία "+1-1" και το "0" κωδικοποιείται σαν αλληλουχία "-1+1". Για μία αυστηρή σειρά διαμόρφωσης  $N_{BOC} = 2m/n$ , στην περίπτωση του ημιτόνου BOC(m,n), το '+1' κωδικοποιείται σαν μια εναλλασσόμενη αλληλουχία των '+1 -1 +1 -1 +1 ...', έχοντας  $N_{BOC}$  στοιχεία, και ένα '0' (ή '-1') κωδικοποιείται σαν εναλλασσόμενη αλληλουχία '-1 +1 ...', έχοντας επίσης  $N_{BOC}$  στοιχεία.

Η διαμόρφωση BOC εφαρμόζεται κυρίως στα σήματα CDMA, όπου κάθε ψηφίο (Chip) του ψευδο-τυχαίου κώδικα διαιρείται σε BOC υπο-διαστήματα, όπως αναλύθηκε πιο πάνω (δηλαδή υπάρχουν  $N_{BOC}$  BOC διαστήματα ανά ψηφίο (Chip)).

Η πυκνότητα ενέργειας φάσματος ενός διαμορφωμένου κατά BOC σήματος, εξαρτάται από την τάξη διαμόρφωσης και υπολογίζεται από τον ακόλουθο τύπο :

$$N_{BOC} = 2 \frac{f_{sc}}{f_c} = 2 \frac{m}{n}$$

## 22. Η Εποπτική Αρχή του Ευρωπαϊκού GNSS (GSA)



European GNSS Supervisory Authority

Λόγω της στρατηγικής σημασίας των ευρωπαϊκών προγραμμάτων δορυφορικής πλοήγησης και προσδιορισμού θέσης, στα οποία περιλαμβάνονται τα προγράμματα EGNOS και GALILEO, καθώς και της ανάγκης να διασφαλιστεί η δέουσα προστασία και εκπροσώπηση των σημαντικών δημόσιων συμφερόντων στον τομέα αυτό, δημιουργήθηκε η Εποπτική αρχή του ευρωπαϊκού GNSS [ η GSA (Galileo Supervisory Authority)] η οποία θα διαχειρίζεται τα δημόσια συμφέροντα και θα λειτουργεί ως ρυθμιστική αρχή των ευρωπαϊκών προγραμμάτων GNSS, θέτοντας ταυτόχρονα τα θεμέλια για ένα πλήρως βιώσιμο και οικονομικά εύρωστο σύστημα.

Η Ευρωπαϊκή Εποπτική Αρχή (GSA) έχει τις ακόλουθες αρμοδιότητες :

- διαχειρίζεται τα ευρωπαϊκά προγράμματα δορυφορικής πλοήγησης και τις σχετικές δραστηριότητες E & A (Έρευνας και Ανάπτυξης) και ελέγχει τη χρησιμοποίηση των κονδυλίων.
- είναι αρμόδια για θέματα που έχουν σχέση με το δικαίωμα χρήσης των συχνοτήτων που είναι αναγκαίες για τη λειτουργία των συστημάτων, την πιστοποίηση των δομοστοιχείων και την ασφάλεια και προστασία των συστημάτων.
- είναι ο φορέας χορήγησης αδειών για τους παραχωρησιούχους που εξασφαλίζουν τη λειτουργία και την παροχή υπηρεσιών του GALILEO καθώς και τη συμμόρφωση με τις συμβατικές υποχρεώσεις.
- είναι κύριος όλων των περιουσιακών στοιχείων που δημιουργούνται ή αναπτύσσονται κατά την εφαρμογή των προγραμμάτων GALILEO και EGNOS.

## 23. Η οργανωτική δομή της Υπηρεσίας του EGNOS

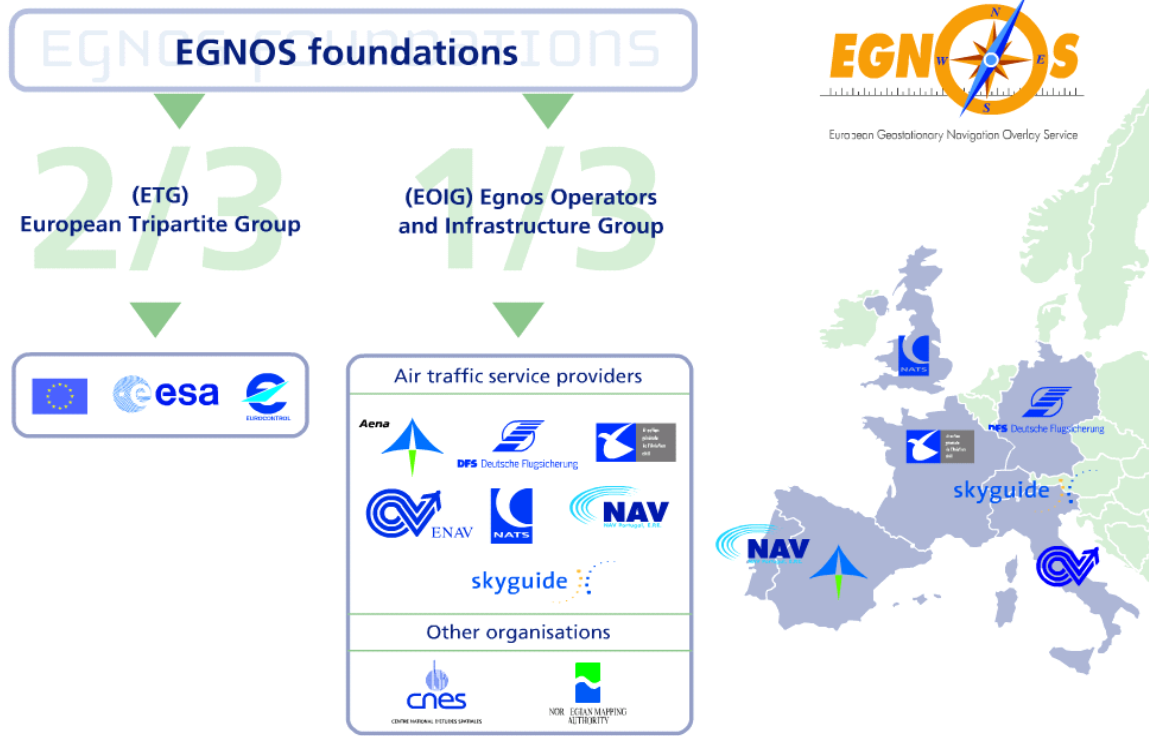
Για την δημιουργία της επιτελικής δομής του EGNOS συμμετέχουν οικονομικά ( με συμμετοχή κατά τα 2/3 του ιδρυτικού κεφαλαίου ) τρεις Ευρωπαϊκές οντότητες (ETG = European Tripartite Group) : 1) Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή (EC), 2) Η Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Διαστήματος ( ESA) και 3) Το Eurocontrol (Ευρωπαϊκός Συμβουλευτικός Οργανισμός για τον εκσυγχρονισμό, εναρμόνιση, ομογενοποίηση, διασύνδεση και αρμονική λειτουργία συστημάτων και διαδικασιών Ελέγχου Εναερίου Κυκλοφορίας των κρατών μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης , και των συνεργαζομένων με αυτά γειτονικών χωρών ) .



Το ειδικά εξοπλισμένο αεροσκάφος που χρησιμοποιείται για τους ελέγχους του EGNOS

Για την δημιουργία του επιχειρησιακού σχήματος και των υποδομών του EGNOS συμμετέχουν ( με συμμετοχή κατά το 1/3 του ιδρυτικού κεφαλαίου ) Ευρωπαϊκοί Οργανισμοί και Όμιλοι μεγάλων Ευρωπαϊκών Εταιριών ( EOIG = European Operators and Infrastructure Group ) όπως : α) AENA ( Ισπανικός πάροχος υπηρεσιών εναερίου κυκλοφορίας), β) NAV( Πορτογαλικός πάροχος υπηρεσιών εναερίου κυκλοφορίας), γ) DFS (Γερμανικός πάροχος υπηρεσιών εναερίου κυκλοφορίας), δ) NATS ( Αγγλικός πάροχος υπηρεσιών εναερίου κυκλοφορίας), ε) DGAC ( Βελγικο-Ολλανδικο-Δανικός πάροχος υπηρεσιών εναερίου κυκλοφορίας), ζ) SKYGUIDE ( Αυστριακός πάροχος υπηρεσιών εναερίου κυκλοφορίας), η) ENAV ( Ιταλικός πάροχος υπηρεσιών εναερίου κυκλοφορίας), καθώς και οι οργανισμοί θ) CNES ( Το Εθνικό Γαλλικό Κέντρο Διαστημικών Μελετών ) και ι) NMA ( Η Νορβηγική Υπηρεσία Χαρτογράφησης ).

Η όλη οικονομική δομή , η λειτουργική διασύνδεση και η γεωγραφική κατανομή όλων των εμπλεκόμενων φορέων εμφανίζεται στο κατωτέρω γράφημα :



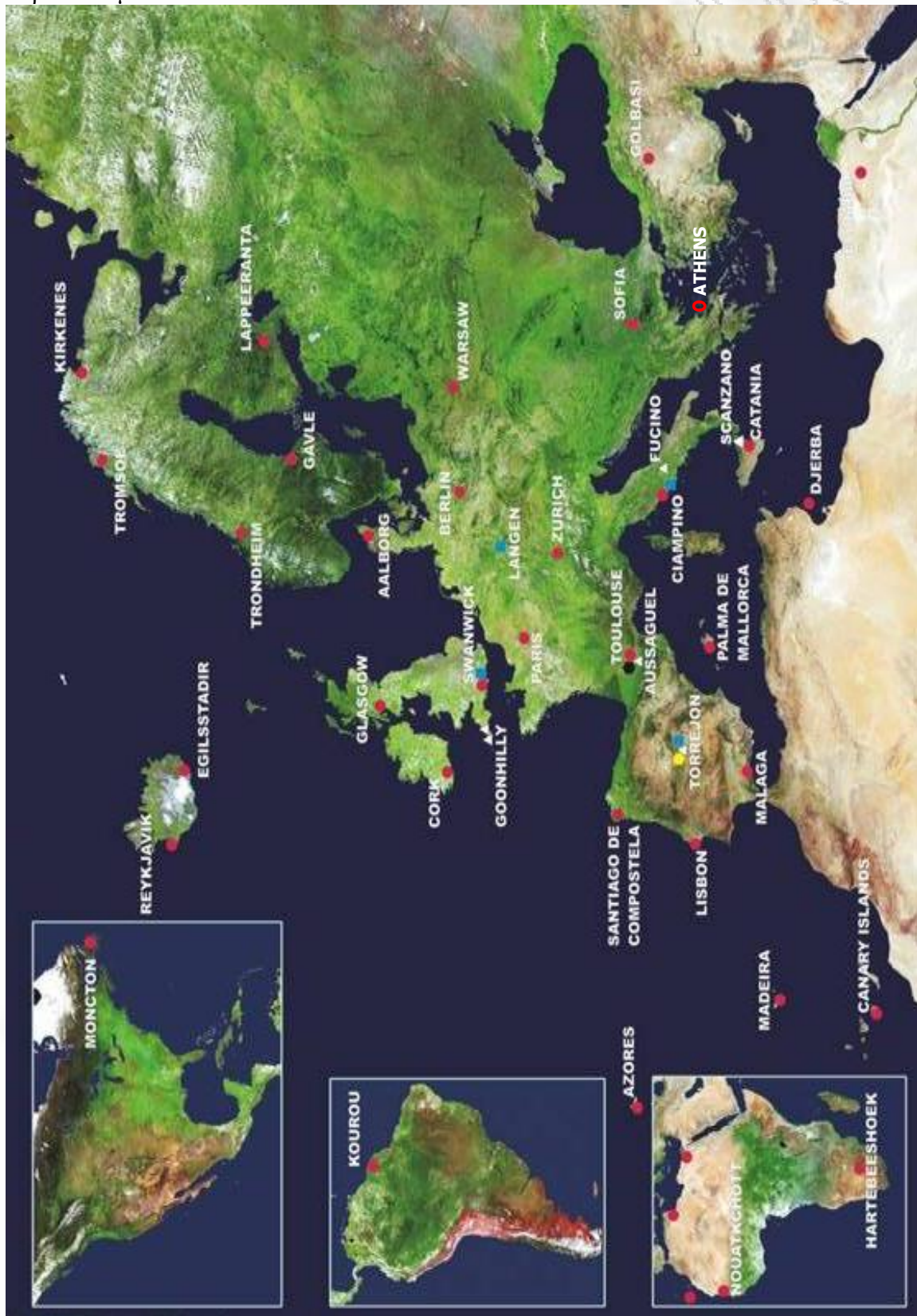
ενώ η δομή των παρόχων υποδομών και των επιχειρησιακών χειριστών του συστήματος EGNOS, φαίνεται στο ακόλουθο γράφημα :





## 24. Οι επίγειες εγκαταστάσεις του συστήματος EGNOS

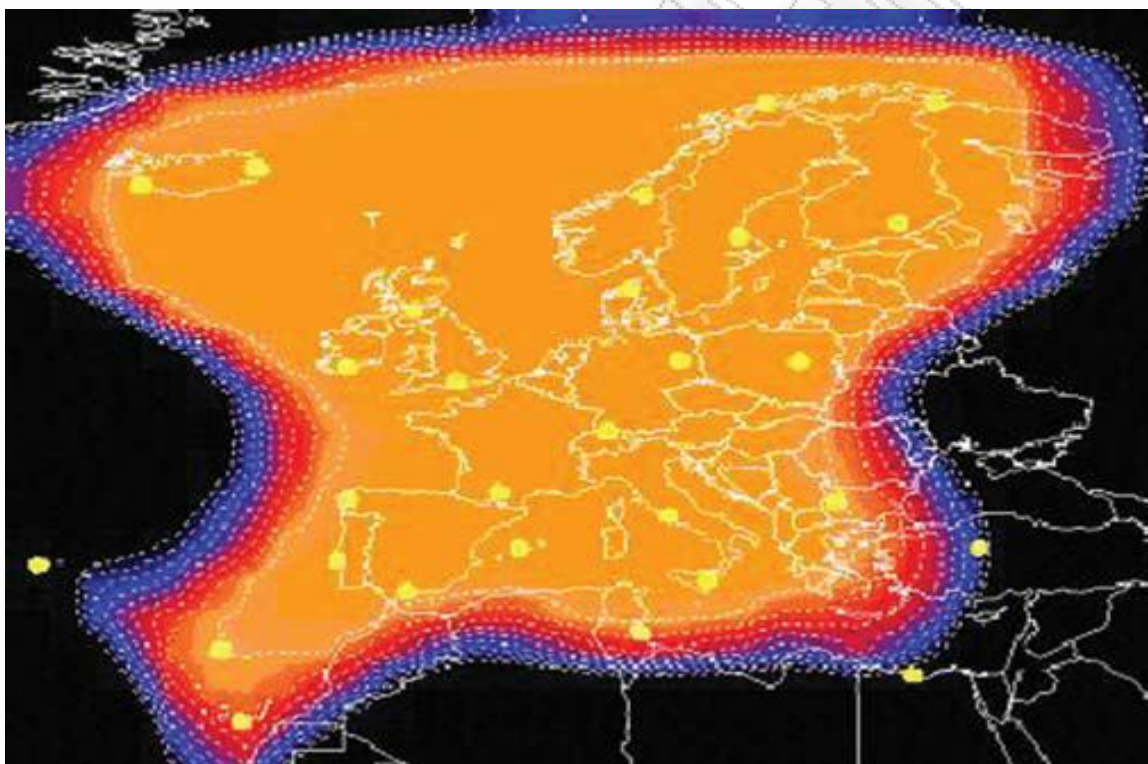
Οι επίγειοι σταθμοί του συστήματος EGNOS ανά την υφήλιο είναι προς το παρόν (Νοέμβριος 2009) εγκατεστημένοι στα μέρη που φαίνονται στην εικόνα που παραθέτουμε πιο κάτω :



Οι εγκαταστάσεις επίγειων σταθμών ( RIMS ) του EGNOS θα επεκταθούν και στα ακόλουθα μέρη του κόσμου μέσα στο 2010 :

- **Alexandria**
- **Agadir**
- **Tamanraset**
- **Tel Aviv**
- **Abu Simbel**

Ο τελικός σχεδιασμός προβλέπει την ανάπτυξη πολύ περισσότερων από 40 επίγειων δορυφορικών σταθμών που θα ελέγχουν, θα μετρούν και θα διορθώνουν τα σήματα όλων των χρησιμοποιούμενων δορυφόρων πλοήγησης.



Στο ανωτέρω σχέδιο φαίνονται οι μέχρι τώρα ( Οκτώβριος 2009 ) περιοχές κάλυψης των σημάτων του EGNOS πάνω κυρίως από την Ευρώπη.

Η αρχική φάση λειτουργίας του EGNOS φαίνεται να εξελίσσεται σύμφωνα με τον πρωταρχικό σχεδιασμό αλλά και με κάποιες μέχρι τώρα απρόβλεπτες καθυστερήσεις, ως ακολούθως :

**\*\* Έναρξη υλοποίησης 27 Ιουλίου 2005.**

**\*\* Τέλος υλοποίησης ( περιλαμβανομένων και των καθυστερήσεων ) περί το τέλος του 2010.**

Στην αρχική φάση λειτουργίας του EGNOS, η ESA έχει τους κάτωθι ρόλους:

- 1) Είναι η Αρχή σχεδίασης του συστήματος
- 2) Είναι ο Επιτηρητής του προγράμματος
- 3) Αποτελεί τον συμβαλλόμενο 1<sup>ο</sup> επιπέδου

Η ESSP ( European Satellite Space Provider ) έχει τους ακόλουθους ρόλους :

- 1) Είναι ο Χειριστής που λειτουργεί το EGNOS
- 2) Είναι ο Πάροχος υπηρεσιών του EGNOS
- 3) Αποτελεί τον συμβαλλόμενο 2<sup>ο</sup> επιπέδου

Οι στόχοι της αρχικής φάσης λειτουργίας του EGNOS είναι :

- 1) Η σταδιακή αύξηση της αποτελεσματικότητας και της απόδοσης των λειτουργιών του συστήματος
- 2) Η πιστοποίηση όλων των λειτουργιών του συστήματος EGNOS

Μετά την αρχική φάση, το επόμενο στάδιο περιλαμβάνει την οργάνωση της πραγματικής λειτουργίας του συστήματος EGNOS και σχηματοποιείται στην ακόλουθη οργάνωση :

--- Η GSA [αποτελεί την Αρχή Υποστήριξης του GNSS ( Global Navigation Satellite System ) ]

- 1) Είναι η Αρχή σχεδίασης ( συμβαλλόμενη με την ESA )
- 2) Είναι ο επιθεωρητής του προγράμματος EGNOS
- 3) Αποτελεί τον συμβαλλόμενο 1<sup>ο</sup> επιπέδου

--- Η ESSP ( European Satellite Space Provider ) έχει τους ακόλουθους ρόλους :

- 1) Είναι ο χειριστής που λειτουργεί το EGNOS
- 2) Είναι ο πάροχος υπηρεσιών του EGNOS
- 3) Αποτελεί τον συμβαλλόμενο 2<sup>ο</sup> επιπέδου

Κατόπιν των ανωτέρω οργανωτικών δομών, η έναρξη των πρώτων συμβολαίων προγραμματίζεται και αναμένεται να εξελιχθεί ως ακολούθως :

- 1) Περί τα τέλη του 2010 θα αρχίσει το πρώτο συμβόλαιο
- 2) Περί τα μέσα ή το τέλος του 2014 θα λήγει το πρώτο συμβόλαιο.

## 25. Περιοχές μελλοντικής επέκτασης του EGNOS



« Μελέτη βελτίωσης της ακρίβειας & ασφάλειας πλοήγησης με χρήση του Ευρωπαϊκού Δορυφορικού Συστήματος EGNOS »

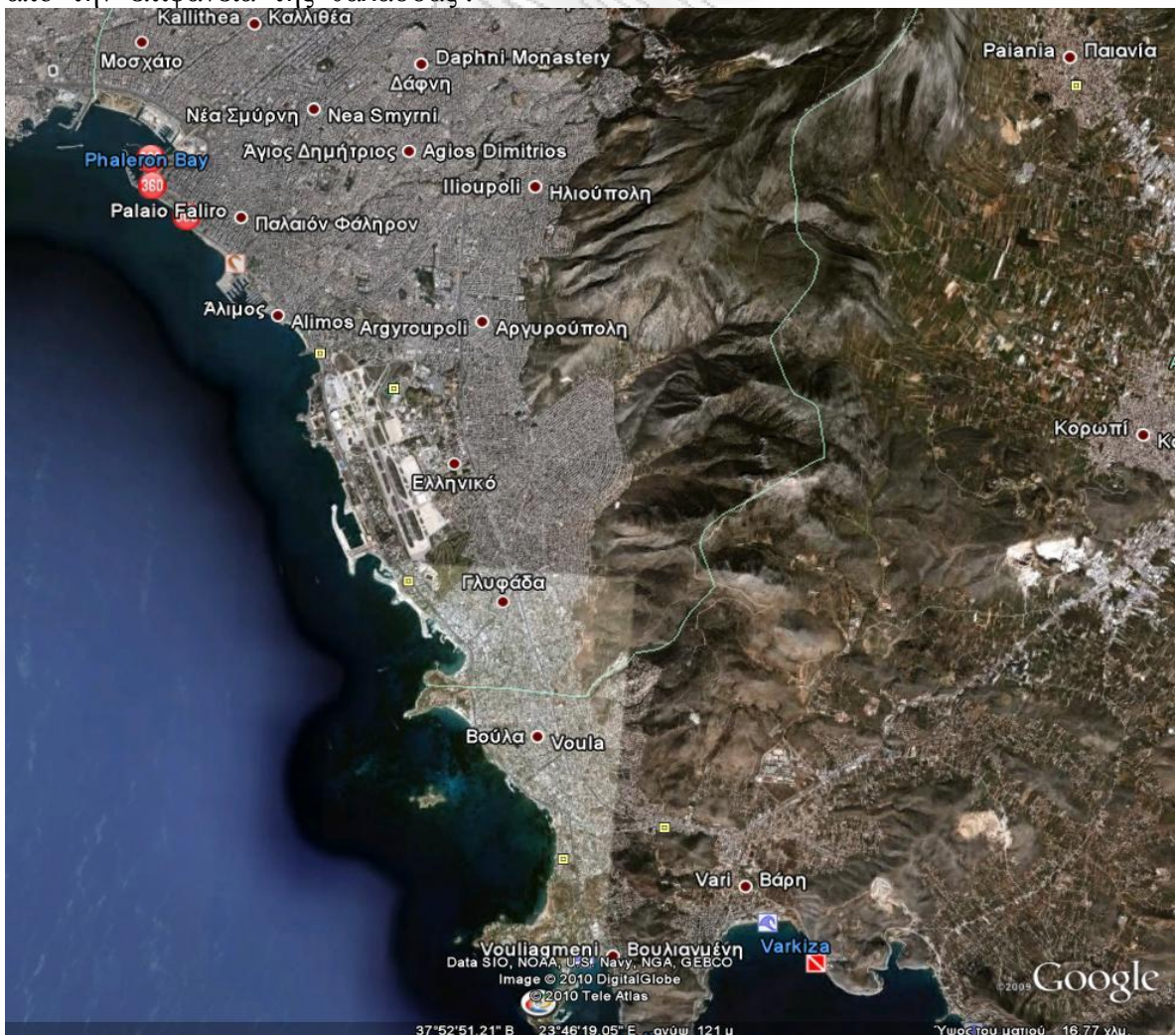
Το σύστημα EGNOS σχεδιάζεται να επεκταθεί για να καλύπτει και τις περιοχές που απεικονίζονται στην πιο πάνω εικόνα { Ανατολική Ευρώπη, Μέση Ανατολή, και Βόρειο Αφρικανική Ήπειρο ( MEDA = Mediterranean Economic Development Area ) } Ανάλογα με την περιοχή επέκτασης, μπορούν να εφαρμοστούν διαφορετικές προσεγγίσεις για την κάλυψη των περιοχών αυτών που πιθανόν να περιλαμβάνουν:

- Ομοιογενή επέκταση με ανάπτυξη επιπλέον επίγειων σταθμών **RIMS**.
- **Περιοχική Υποδομή** που θα περιλαμβάνει πρόσθετες επεξεργαστικές και υπολογιστικές δυνατότητες.

## 26. Η συμμετοχή της Ελλάδος στο EGNOS και GALILEO

Ο σταθμός RIMS EGNOS των Αθηνών άρχισε να εγκαθίσταται περί τον Φεβρουάριο του 2009 και τελείωσε περί το τέλος Οκτωβρίου 2009. Από 1<sup>ης</sup> Νοεμβρίου του 2009 παρακολουθείται η δοκιμαστική λειτουργία του σταθμού Αθηνών, ελέγχονται και καταγράφονται οι επιδόσεις του σταθμού και διορθώνονται κατασκευαστικά λάθη στο υλικό ( Hardware ) ή στο λογισμικό ( Software ), πριν ο σταθμός ενταχθεί στην πλήρη επιχειρησιακή λειτουργία περί το τέλος Ιουλίου 2010.

Ο σταθμός βρίσκεται εγκατεστημένος στον Νομό Αττικής, σε επιλεγμένη θέση του όρους Υμηττού, αρκετά υψηλότερα από τις γύρω κατοικημένες περιοχές με συντεταγμένες [ 37° 5... ' .....'' Β και 23° 4... ' .....'' Α ], σε υψόμετρο 325 μέτρα από την επιφάνεια της θάλασσας.





Η τοποθεσία επιλέχθηκε μετά από προσεκτική μελέτη της εδαφολογικής διαμόρφωσης, του τρόπου πρόσβασης, αλλά και πολυήμερων πολύπλοκων μετρήσεων φάσματος του τοπικού Ηλεκτρομαγνητικού πεδίου. Εξετάστηκαν επίσης πολλές άλλες περιοχές της Αττικής με παρόμοια χαρακτηριστικά, αλλά οι περισσότερες απορρίφθηκαν λόγω ισχυρών Ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών στις περιοχές των φασμάτων που χρησιμοποιούν τα συστήματα GPS, GLONASS, EGNOS και GALILEO [ Περιοχές : ( L1=1575,42 MHz πολιτική συχνότητα ) και ( L2=1227,60 MHz στρατιωτική συχνότητα ) ].

Σημαντικό και ιδιαίτερης βαρύτητας για την επιλογή της συγκεκριμένης θέσης, ήταν το γεγονός ότι κατά την διάρκεια των εξονυχιστικών επί του πεδίου μετρήσεων ( που προηγήθηκε της εγκατάστασης του σταθμού ), δεν ανιχνεύθηκαν παρεμβολές στις περιοχές δορυφορικής εκπομπής ( Tx : 5,994359 GHz ) και δορυφορικής λήψης ( Rx : 3.769434 GHz ) των μετρήσεων δεδομένων του σταθμού RIMS, μέσω των οποίων ( συχνοτήτων ) επικοινωνεί με τους τρεις αναμεταβιβαστικούς δορυφόρους, που με την σειρά τους διαβιβάζουν αμφίδρομα τα δεδομένα προς και από τα Κύρια Κέντρα Ελέγχου ( MCC ) του EGNOS.



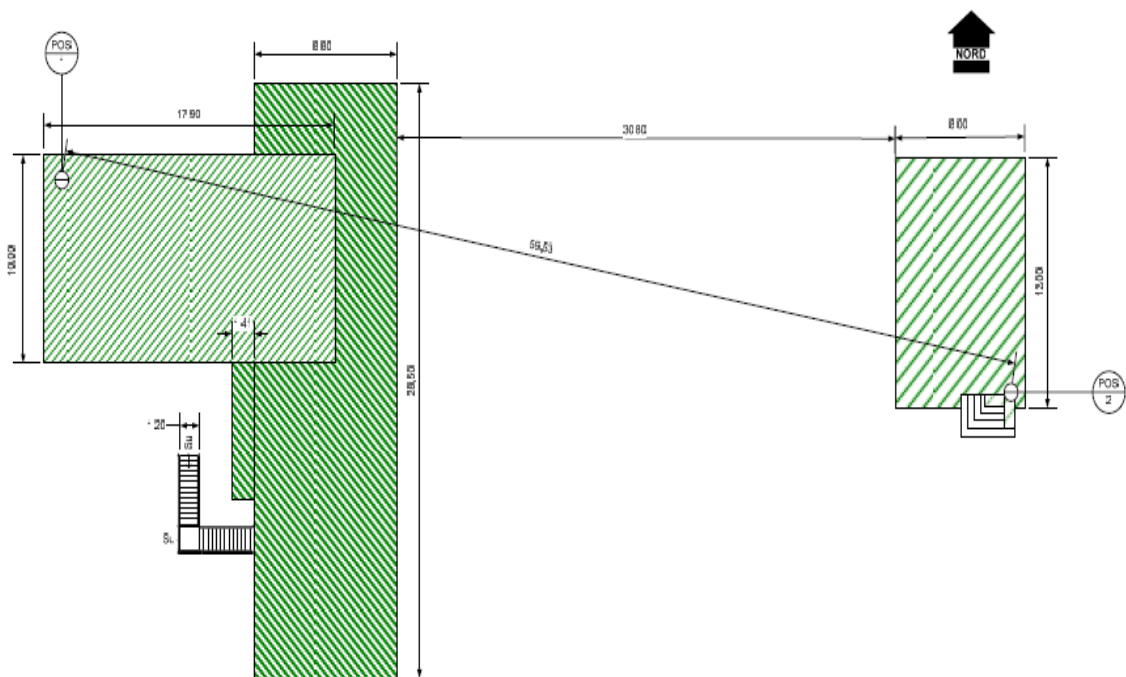
Άποψη των κτηριακών εγκαταστάσεων του σταθμού EGNOS RIMS στον Υμηττό.



Ο εξειδικευμένος χώρος του Υμηττού που επιλέχθηκε αποτελούσε Τηλεπικοινωνιακό Σταθμό λήψης των συχνοτήτων που χρησιμοποιούσε το Αεροδρόμιο Ελληνικού. Μετά την λειτουργία του Διεθνούς Αεροδρομίου Αθηνών «Ελευθέριος Βενιζέλος» στα Σπάτα, η λήψη των συχνοτήτων από τον σταθμό αυτό δεν εξυπηρετούσε την λειτουργικότητα του νέου αεροδρομίου. Έτσι όταν η ESA ζήτησε από το Υπουργείο Μεταφορών και Επικοινωνιών της Ελλάδος έναν κατάλληλο χώρο η Υ.Π.Α. πρότεινε μεταξύ άλλων θέσεων-εγκαταστάσεων και την συγκεκριμένη εγκατάσταση σε τοποθεσία του όρους Υμηττού. Η θέση αυτή κρίθηκε ιδανική για την λειτουργία του δορυφορικού σταθμού RIMS του EGNOS, διότι είναι «προστατευμένη» από ακραίες καιρικές συνθήκες, αλλά κυρίως από επίγειες παρεμβολές σε όλο το Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα συχνοτήτων που χρησιμοποιούν τα GPS, GLONASS, EGNOS και GALILEO, λόγω της «κυκλικής» περιτοίχισης του σταθμού από γειτονικούς μικρούς λόφους, ψηλότερους από το επίπεδο του σταθμού.



Οι δορυφορικές κεραιές λήψεως σημάτων του GPS, GLONASS και GALILEO βρίσκονται εγκατεστημένες στις οροφές 2 κτηρίων με πλήρη (κατά το δυνατόν) ορατότητα του ορίζοντα και χωρίς περιφερειακά εμπόδια (κτήρια, δένδρα, κ.λ.π.) που θα εισήγαγαν τα αναμενόμενα σφάλματα πολλαπλών ανακλάσεων. Διαχωρίζονται μεταξύ τους με απόσταση περίπου 60 μέτρων, ώστε να εξασφαλίζεται η απόλυτη απομόνωση λήψης των σημάτων κάθε δορυφόρου σε κάθε κεραία ξεχωριστά, παρομοιάζοντας 2 ξεχωριστές συσκευές GPS σε μικρή σχετικά απόσταση μεταξύ τους.



Στην ανωτέρω εικόνα καθώς και στο σχεδιάγραμμα, φαίνονται ( με κίτρινη γραμμή ) οι θέσεις και η απόσταση ( περίπου 60 μ ) μεταξύ των δύο διαφορετικών δορυφορικών κεραιών.

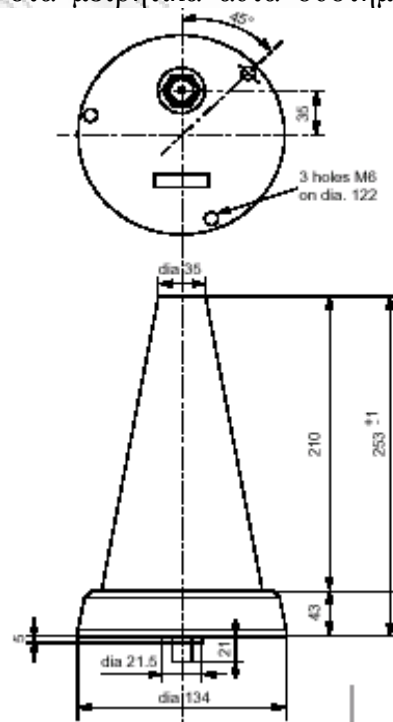




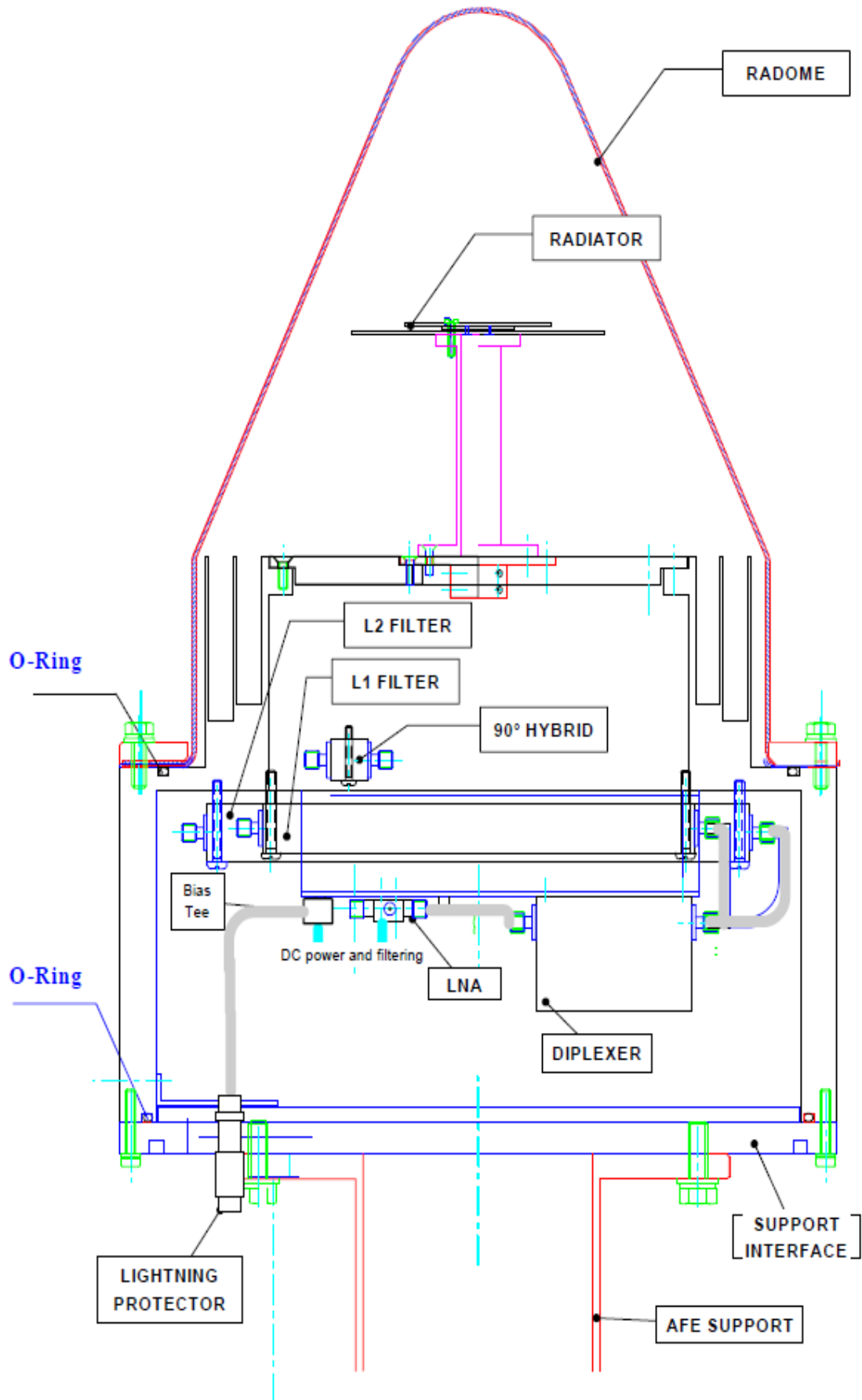




Τα συστήματα των κεραιών και προενισχυτών τους καθώς και οι δέκτες, το ενσωματωμένο σε αυτούς λογισμικό (firmware), τα καλώδια, οι διαδρομές, κ.λ.π. είναι όλα επίτηδες διαφορετικά μεταξύ τους, αλλά και από διαφορετικούς κατασκευαστές, ώστε να εξαλείφονται τα διάφορα σφάλματα που λόγω ομοιότητας ή πιθανόν λόγω κάποιου όμοιου ελαττωματικού υλικού ή λογισμικού, θα μπορούσαν να εισάγουν παρόμοιο λάθος στα μετρητικά αυτά συστήματα.



Σχέδιο της μεταλλικής ανοξείδωτης βάσης και των διαστάσεων της κεραίας του δέκτη RIMS A



Σχέδιο της εσωτερικής κατασκευής της κεραίας του δέκτη RIMSB

Οι επικοινωνίες του σταθμού RIMS Αθηνών ( Ελλάδα ) υλοποιούνται μέσω 2 ενισχυμένων ασυρματικών συνδέσεων ( φωνής, δεδομένων, και Φαξ ) δικτύου κινητής τηλεφωνίας (λόγω απομακρυσμένης θέσης του σταθμού από το αστικό τηλεφωνικό δίκτυο), καθώς και δορυφορικής ζεύξης δύο δρόμων (uplink , downlink, μέσω παραβολικής κεραίας 2,4 μέτρων), με έναν από τους τρεις (3) γεωστατικούς δορυφόρους ( τον ARTEMIS ), που συνδέουν τους διάφορους επίγειους σταθμούς μέτρησης και ελέγχου ( RIMS- **R**anging and **I**ntegrity **M**onitoring **S**tation ) με τα τέσσερα (4) κέντρα ελέγχου ( MCC ) του συστήματος EGNOS.



Παραβολική κεραία 2,4 μέτρων για διασύνδεση του σταθμού RIMS της Ελλάδος με τον γεωστατικό δορυφόρο « ARTEMIS » .

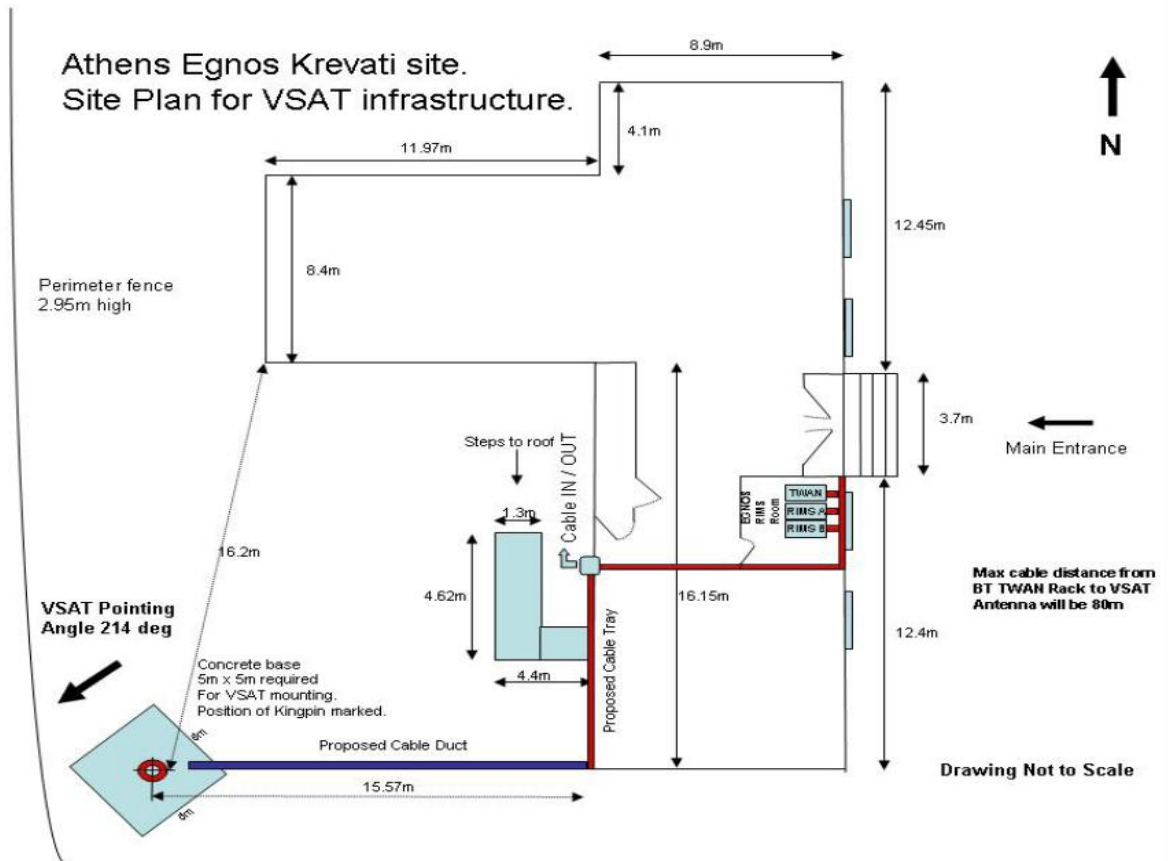
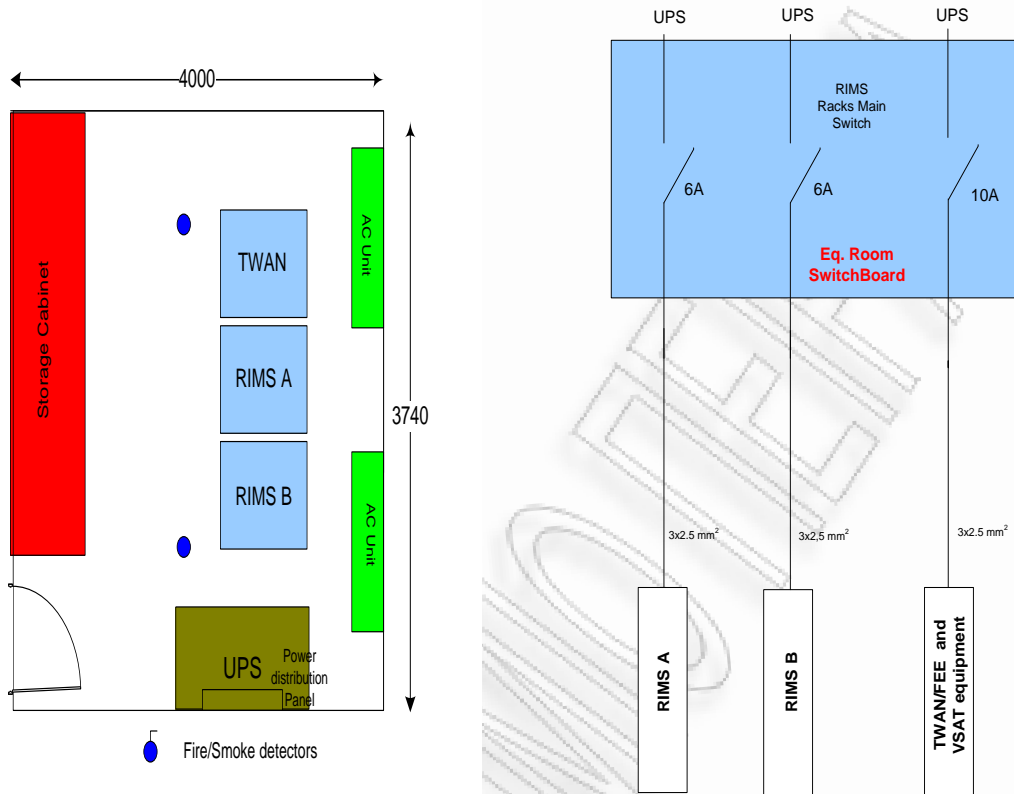


Κατευθυντική κεραία , ενισχυτική διάταξη δικτύου κινητής τηλεφωνίας και κεραία εσωτερικού χώρου για την ασύρματη διασύνδεση του σταθμού EGNOS RIMS Αθηνών (Ελλάδος).

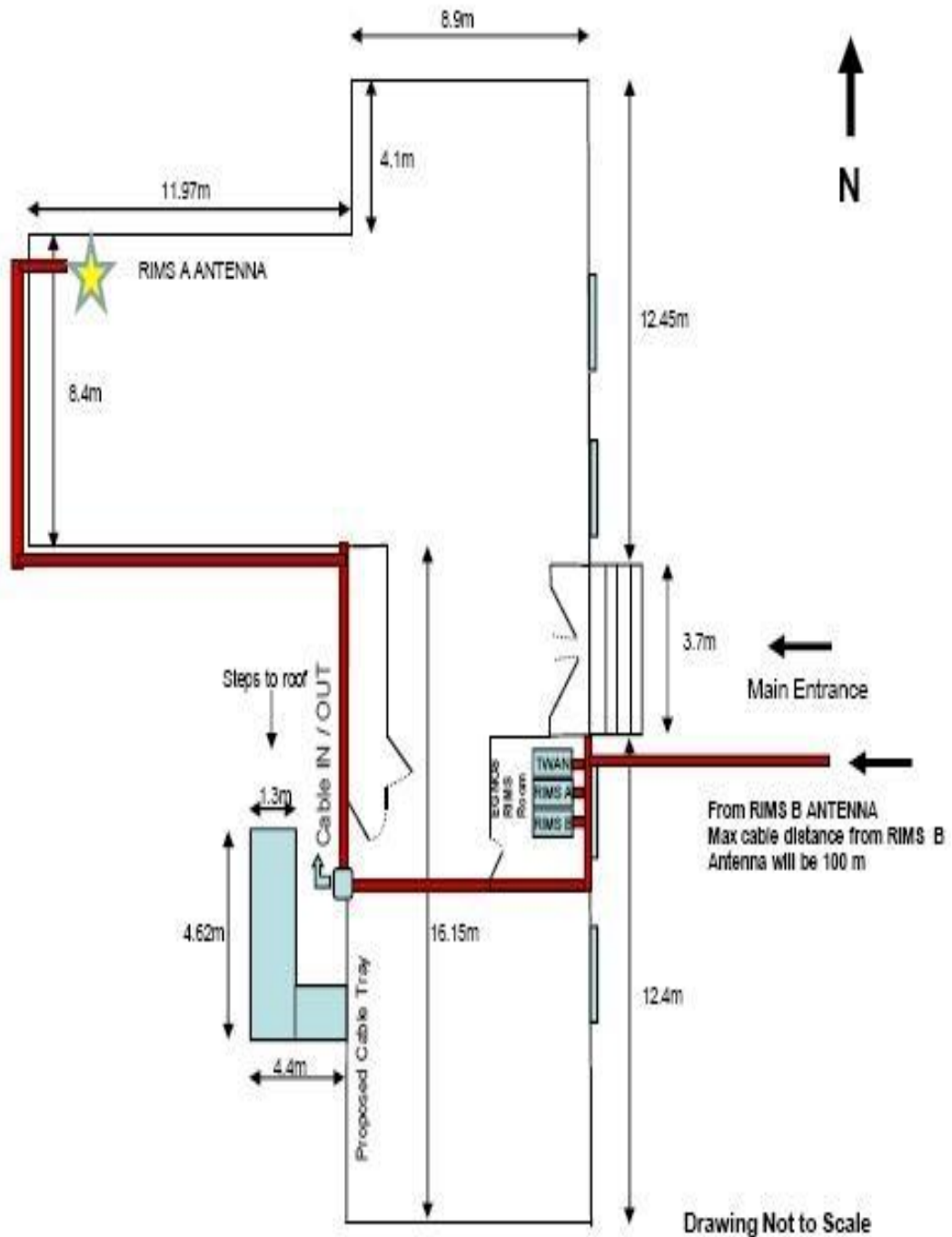
« Μελέτη βελτίωσης της ακρίβειας & ασφάλειας πλοήγησης με χρήση του Ευρωπαϊκού Δορυφορικού Συστήματος EGNOS »



Κατωτέρω φαίνεται η τοπολογία και η διασύνδεση των δύο διαφορετικών συστημάτων δορυφορικών δεκτών ( τοποθετημένων σε διαφορετικά ικρίωματα - Racks), καθώς και του ικρίωματος διαχείρισης επικοινωνιών του σταθμού .



Απεικόνιση της θέσης και της ηλεκτρικής διασύνδεσης των ικρίωμάτων και της παραβολικής κεραίας VSAT καθώς και άλλων συσκευών εντός του χώρου των ηλεκτρονικών συστημάτων του σταθμού

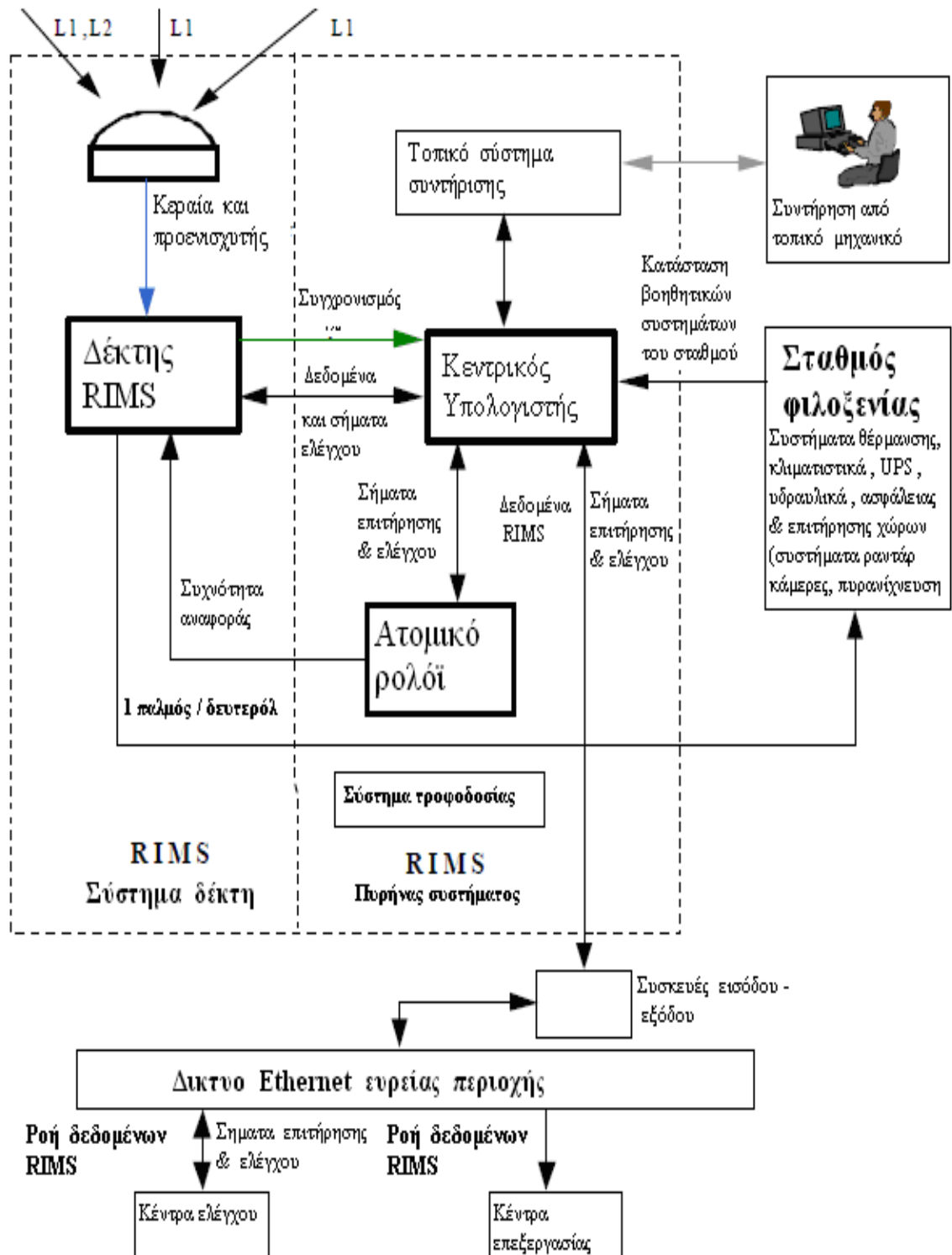


Σχεδιάγραμμα διέλευσης ομοαξονικών καλωδίων σύνδεσης και τροφοδοσίας των δορυφορικών κεραιών και προενισχυτών των συστημάτων RIMS A και RIMS B

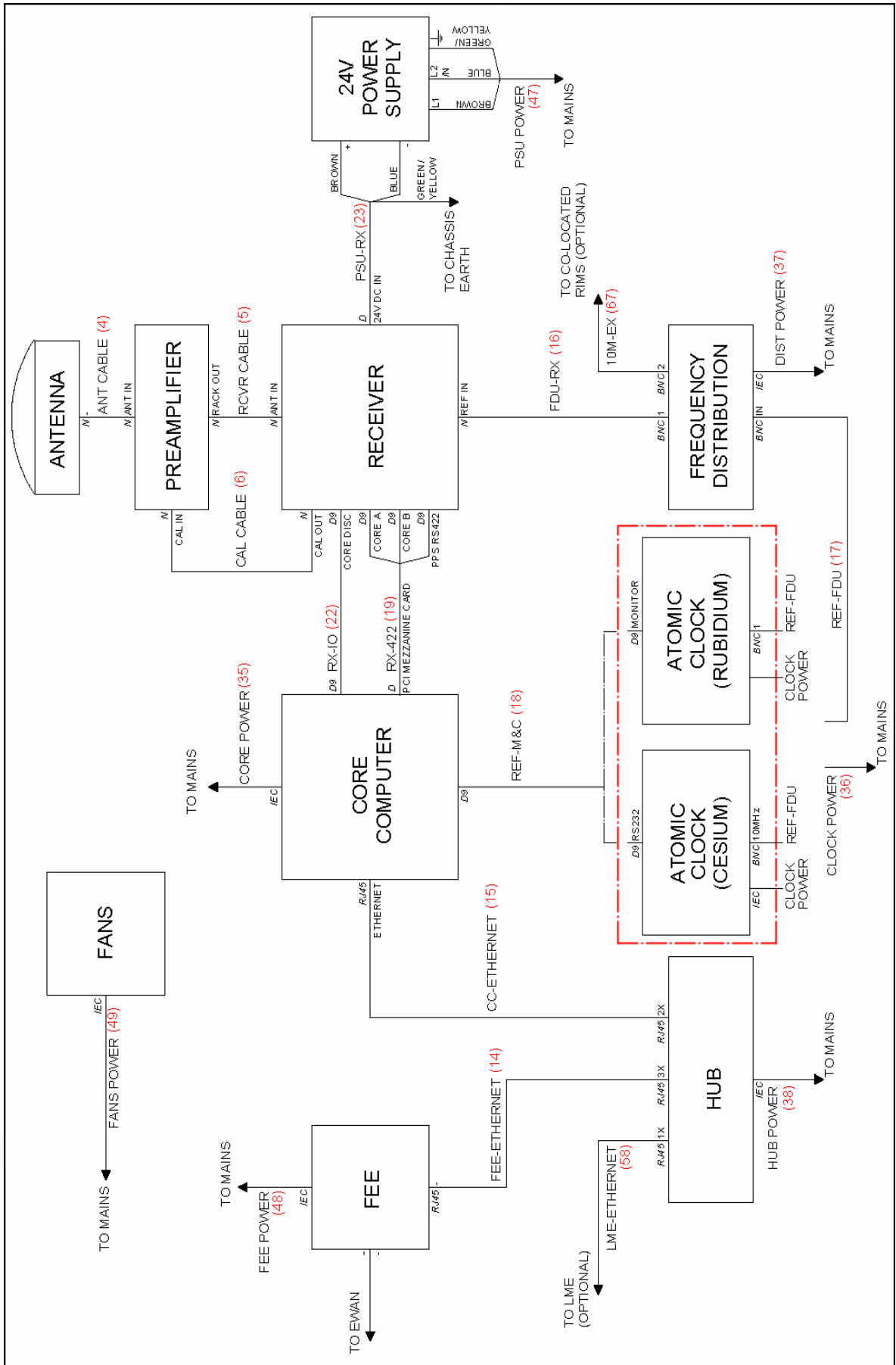
## 27. Δομή ενός σταθμού RIMS του EGNOS

Αναλύοντας τώρα την δομή ενός σταθμού RIMS όπως π.χ. των Αθηνών (παρόμοιοι με αυτόν είναι οι περισσότεροι επίγειοι σταθμοί RIMS -- με μικροδιαφορές στα ατομικά ρολόγια, στα μοντέλα των δεκτών, και στις δομές των

βοηθητικών συσκευών -- ), μπορούμε να την απεικονήσουμε γραφικά με την μορφή μπλοκ διαγραμμάτων ως ακολούθως :



**Αρχιτεκτονική δομή ενός καναλιού επίγειου σταθμού RIMS.**



**Σχεδιάγραμμα του καναλιού RIMS A σε σταθμό RIMS**

Στις αρχικές εγκαταστάσεις οι σταθμοί RIMS ήταν εφοδιασμένοι με ατομικά ρολόγια Καισίου. Στις μεταγενέστερες εγκαταστάσεις τα ρολόγια Καισίου αντικαταστάθηκαν πλέον με ατομικά ρολόγια Ρουβιδίου 2, δεδομένου ότι αυτά παρουσιάζουν καλύτερη σταθερότητα και μεγαλύτερη ακρίβεια από τα ρολόγια Καισίου.

Στους περισσότερους επίγειους σταθμούς RIMS είναι εγκατεστημένα 2 συνήθως κανάλια ( RIMS A και RIMS B ), σε κάποιους υπάρχει εγκατεστημένο και τρίτο κανάλι ( RIMS C ), ενώ ο σταθμός του Παρισιού ( Γαλλία ) έχει μόνον 1 κανάλι ( RIMS A ) και είναι αφιερωμένος στην διαδικασία υπολογισμού της διαφοράς του Δικτυακού Χρόνου του EGNOS { EGNOS Network Time –ENT } από τον Παγκόσμια Συνδιαμορφωμένο Χρόνο. ( Co-ordinated Universal Time –UTC ).

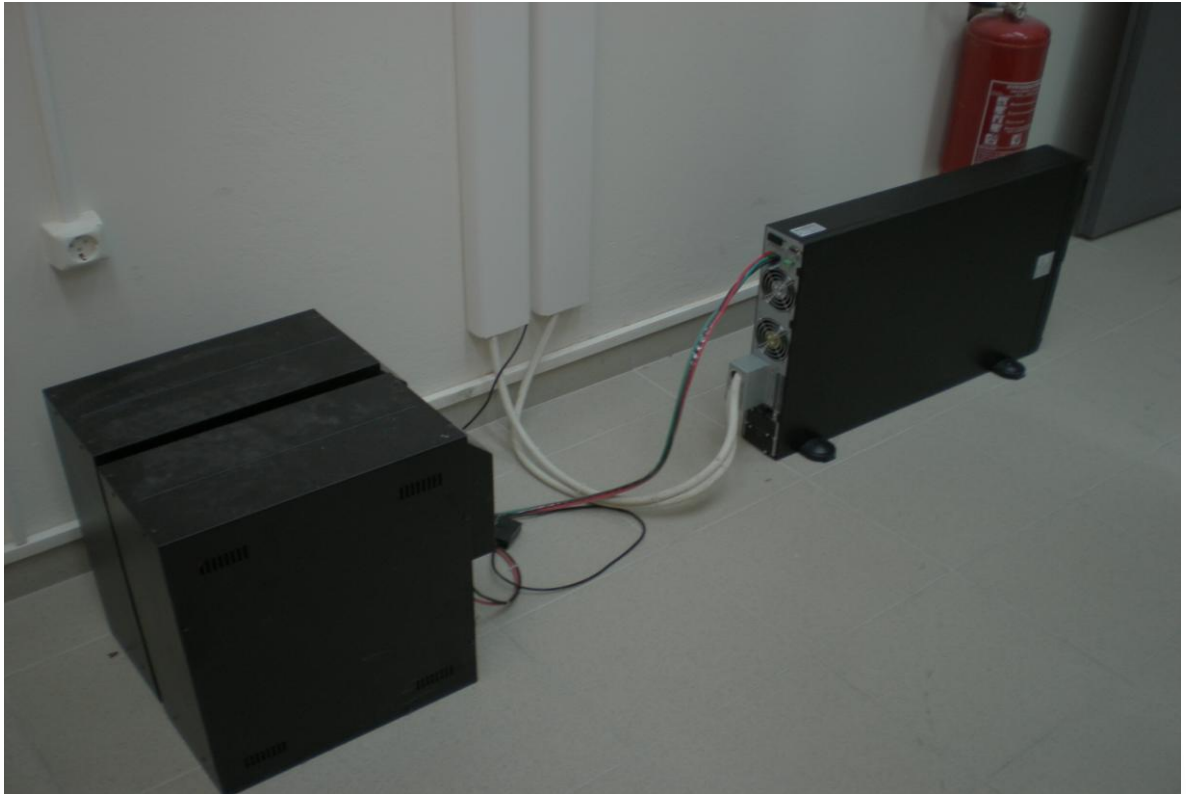
Το κανάλι RIMS A δεν έχει διασύνδεση με χρήστη, αλλά όλοι οι έλεγχοι γίνονται μέσω της διασύνδεσης δεδομένων ( data link interface ) των κεντρικών υπολογιστικών συστημάτων ( CCF ) των 4 Κυρίων Κέντρων Ελέγχου και Παρακολούθησης ( M&CC ).

Τέλος υπάρχει μια σύνδεση με την Τοπική Συσκευή Συντήρησης ( LME ), η οποία προσφέρει τις ίδιες δυνατότητες Ελέγχου και Παρακολούθησης, αλλά δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί όταν ο σταθμός είναι σε επιχειρησιακή λειτουργία.

Τα εγκατεστημένα συστήματα στον σταθμό EGNOS Αθηνών δηλαδή ( κανάλι RIMS A ), ( κανάλι RIMS B ) και ( TWAN ) και τα επί μέρους συστήματα και συσκευές που περιέχουν, φαίνονται αναλυτικότερα στις φωτογραφίες που παρατίθενται πιο κάτω :



Ηλεκτρικοί πίνακες διανομής χαμηλής τάσης ( 220 Volts ) από το δίκτυο ΔΕΗ και από το UPS , καθώς και προγραμματιζόμενος ηλεκτρικής περιβαλλοντικών συνθηκών ( επάνω από τους πίνακες διανομής τάσης ), με ενσωματωμένους : α) αισθητήρες υγρασίας και θερμοκρασίας, για τον λεπτομερή έλεγχο των συνθηκών λειτουργίας του εσωτερικού χώρου του σταθμού και : β) αισθητήρες ρεύματος για την παρακολούθηση, διαχείριση και έλεγχο καλής λειτουργίας των υπαρχόντων A/C .



Σύστημα αδιάλειπτης παροχής τάσης (UPS) 220 Volts, 6 kVA, τροφοδοτούμενο από το δίκτυο της ΔΕΗ, που εξασφαλίζει απομόνωση από τις διαταραχές του δικτύου ΔΕΗ, αλλά και αυτάρκεια τροφοδοσίας του σταθμού για περισσότερο από 1 ώρα.



Ασύρματες ζεύξεις με δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, εξασφαλίζουν τις τηλεπικοινωνιακές διασυνδέσεις (φωνής και δεδομένων) του σταθμού με τα 4 κέντρα ελέγχου και τις λοιπές υπηρεσίες της ESA.



Σύστημα εισόδου, συγχρονισμού και τροφοδοσίας της δορυφορικής GPS κεραίας του καναλιού RIMS\_A και διασύνδεση όλου του ικριώματος (Rack) με το τοπικό δίκτυο Ethernet του σταθμού.





Δύο λήψεις από διαφορετικές γωνίες των κύριων συστημάτων του σταθμού. {Από αριστερά : το μαύρο κριώμα τηλεπικοινωνιών (FEE) του σταθμού με τον Ευρωπαϊκό γεωστατικό δορυφόρο ARTEMIS , για την μεταβίβαση των μετρήσεων και την λήψη εντολών τηλεχειρισμού των συστημάτων , στο μέσον : το κριώμα του καναλιού RIMS A που ενσωματώνει τον διακόπτη ( ethernet switch ) διασύνδεσης όλων των συσκευών του σταθμού στο τοπικό δίκτυο, τον υπολογιστή του καναλιού Α ( core computer ) , τον δέκτη του καναλιού Α , το ατομικό ρολόι ρουβιδίου 2 και βοηθητικές συσκευές του καναλιού και στα δεξιά : το κριώμα του καναλιού Β (RIMS Β ) , που ενσωματώνει συσκευές τροφοδοσίας , τον δέκτη του καναλιού Β , τον υπολογιστή του καναλιού ( core computer) και άλλα παρελκόμενα συστήματα }





Ικρίωμα τηλεπικοινωνιακής διασύνδεσης ( FEE\_ Front End Equipment ) του σταθμού με τον γεωστατικό δορυφόρο της ESA . Οι συσκευές που εμπεριέχονται σε αυτό το ικρίωμα εξασφαλίζουν την απαιτούμενη μεγάλη διαθεσιμότητα λειτουργίας , δεδομένου ότι οι πλέον κρίσιμες συσκευές είναι όλες διπλές.



Στο ικρίωμα τηλεπικοινωνιακής διασύνδεσης του σταθμού RIMS EGNOS, διακρίνονται ( με κατεύθυνση από πάνω προς τα κάτω ) οι δύο αντίστοιχες (FEE) ψηφιακές συσκευές διασύνδεσης του τοπικού δικτύου (LAN) κάθε καναλιού ( RIMS B, RIMS A ), με το TWAN ( Transport Wide Area Network ) του εκτεταμένου δικτύου του EGNOS. Οι συσκευές αυτές συνδέονται μέσω switch ( τρίτη συσκευή από επάνω ), δρομολογητή ( router – τέταρτη συσκευή από πάνω ), τηλεχειριζόμενου διαχειριστή ηλεκτρικής τροφοδοσίας ( πέμπτη συσκευή από πάνω ), τοίχου προστασίας ( firewall – μικρή δεξιά έκτη συσκευή από πάνω ), διπλών δορυφορικών modems ( έβδομη και όγδοη συσκευή από πάνω ), μεταγωγέα ( switch – ένατη συσκευή από πάνω ) των δορυφορικών modems , με τους πομποδέκτες της κεραίας δορυφορικής γεωστατικής διασύνδεσης του σταθμού ( κεραία 2,4 μέτρων ).

Η έκτη από πάνω αριστερά μικρή συσκευή, είναι συμβατικό modem διασύνδεσης της συσκευής του δικτύου κινητής τηλεφωνίας με τον δρομολογητή ( router ) του ικρίωματος , μέσω του τοίχου προστασίας ( συσκευή firewall –έκτη από πάνω δεξιά ). Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η εναλλακτική χαμηλής ( < 7,2 KB/s ) ταχύτητας διασύνδεσης του σταθμού με τα 4 κέντρα ελέγχου και διαχείρισης ( MCC ), για τον απομακρυσμένο έλεγχο και παρακολούθηση της καλής λειτουργίας του σταθμού.



Το switch του διπλού δικτύου Ethernet (LAN) του σταθμού τοποθετημένο στο κριώμα RIMS A του σταθμού, με δυνατότητα σύνδεσης τοπικού συστήματος συντήρησης και ελέγχου (maintenance PC).



Στο κρύωμα του καναλιού RIMS A φαίνεται το switch του τοπικού LAN, η RJ45 πρίζα του Η/Υ τοπικής συντήρησης και ο κυρίως Η/Υ του καναλιού RIMS A



Στο κρύωμα του καναλιού RIMS A φαίνεται ο δορυφορικός GPS δέκτης του καναλιού αυτού.



Στο ίδιο ικρίωμα του καναλιού RIMS A φαίνεται το ατομικό ρολόι Ρουβιδίου 2, που συγχρονίζει όλα τα συστήματα του σταθμού RIMS Αθηνών ( και παρόμοιων σταθμών του EGNOS ), καθώς και μία σειρά ρευματοληπτών σούκο στο κάτω σημείο του ικρίματος για περιστασιακή τροφοδοσία συστημάτων παροχής συντήρησης ( Laptop, όργανα μετρήσεων, κλπ )



Μονάδα κατανομής ηλεκτρικής τροφοδοσίας του καναλιού RIMS B ( πρώτη συσκευή από πάνω ) και δορυφορικός δέκτης GPS του καναλιού RIMS B ( δεύτερη μονάδα από πάνω )



Ο Δορυφορικός δέκτης GPS τοποθετημένος στο κριώμα του RIMS B

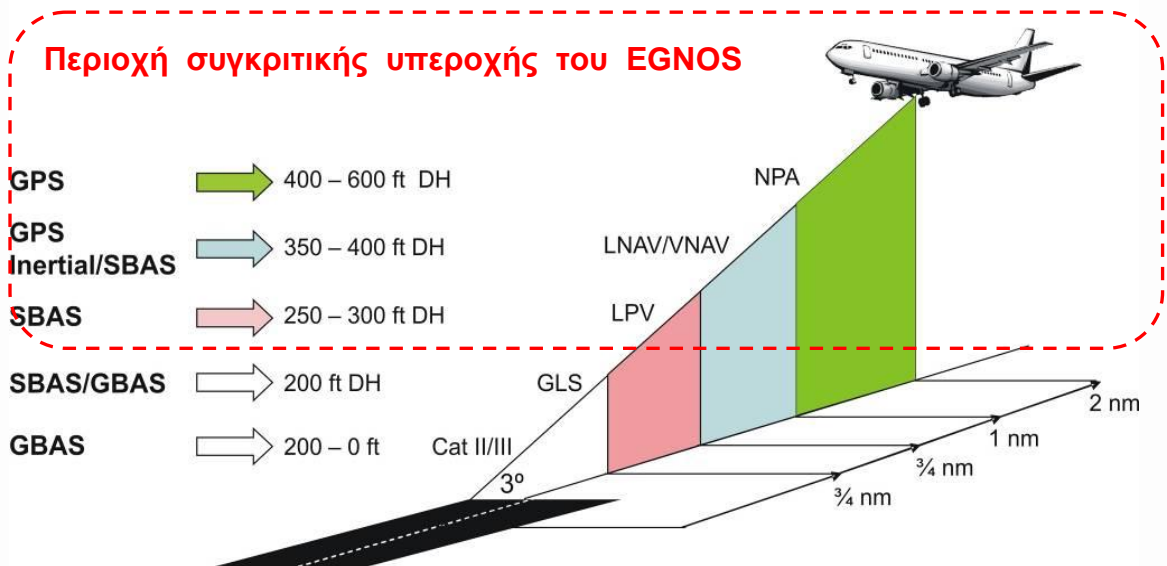


Ο κυρίως Η/Υ του καναλιού RIMS B εγκατεστημένος στο αντίστοιχο κριώμα και ενδεικτικά των βοηθητικών συστημάτων του κριώματος (θερμοκρασίας, ανεμιστήρων, και τάσεων τροφοδοσίας)

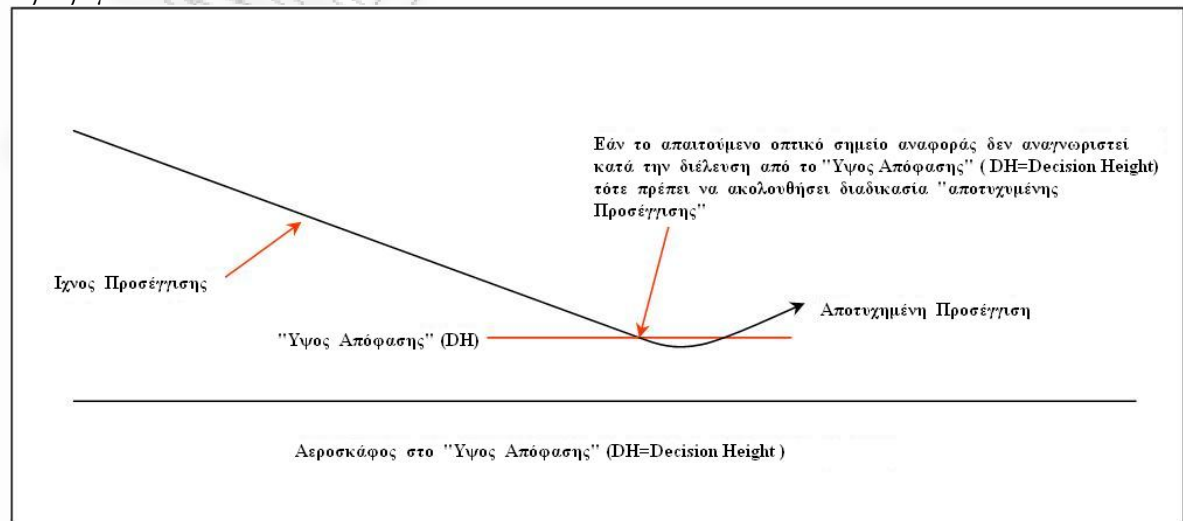
## 28. Οφέλη από την εφαρμογή του EGNOS στην Αεροναυτιλία

Η Αεροναυτιλία ήταν πρώτη που διέκρινε και αναγνώρισε τα οφέλη της Υπηρεσίας EGNOS (κυρίως η Γενική Αεροπορία και τα μικρότερα αεροδρόμια αρχικά). Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι τα μεγάλα αεροδρόμια δεν ενδιαφέρονται άμεσα, διότι χάνουν έσοδα από τα τέλη αεροδρομίου που χρεώνουν τις αεροπορικές εταιρίες για την χρήση των ραδιοβοηθημάτων που διαθέτουν. Τα τέλη αυτά μετακυλύονται τελικά στα εισιτήρια των επιβατών τα οποία γίνονται ακριβότερα. Όμως από την άλλη πλευρά οι αεροπορικές εταιρίες ενδιαφέρονται να παρέχουν στους επιβάτες τους φθηνά εισιτήρια, οπότε είναι θέμα χρόνου ο εξοπλισμός των αεροπλάνων και η χρήση του EGNOS (και παρόμοιων συστημάτων) από αυτά. Προς αυτή την κατεύθυνση ωθούν εξ άλλου οι αεροπορικές εταιρίες την παγκόσμια αεροπορική βιομηχανία, ώστε να μειωθούν τα επιχειρησιακά τους κόστη και να αυξήσουν έτσι τις πωλήσεις εισιτηρίων τους.

Τα συγκριτικά οφέλη παρουσιάζονται γραφικά με το πιο κάτω σχήμα και ακολουθούν οι επεξηγήσεις του σχήματος:



**Σημείωση 1:** Ακολουθεί διευκρινιστικό σχέδιο για την διαδικασία που επιχειρείται κατά την προσέγγιση αεροσκαφών στα αεροδρόμια και το ελάχιστο ύψος (DH=Decision Height) στο οποίο πρέπει να παρθεί απόφαση από τον πιλότο (εφόσον δεν εντοπίσει σταθερά το οπτικό σημείο αναφοράς), ώστε να έχει την δυνατότητα να ακολουθήσει τις διαδικασίες "Αποτυχημένης Προσέγγισης" κάθε συγκεκριμένου αεροδρομίου.



**Σημείωση 2 :** Τα κατωτέρω ακρονύμια δεν αναφέρονται στην αρχή της μελέτης επειδή αποτελούν επεξηγήσεις του ανωτέρω σχεδίου και δεν απαντώνται αλλού στην εργασία αυτή.

NPA = **N**otice of **P**roposed **A**mendment  
LNAV = **L**ateral **N**avigation  
VNAV = **V**ertical **N**avigation  
LPV = **L**ocalizer **P**erformance with **V**ertical Guidance  
GLS = **G**lobal **L**ocating **S**ystem  
Cat II / III = **C**ategory **II** & **III** ILS systems

Θέλοντας λοιπόν να συνοψίσουμε επιγραμματικά τα οφέλη χρήσης του EGNOS αποκλειστικά και μόνον στην Αεροναυτιλία και πώς η Ευρωπαϊκή αυτή Δορυφορική Υπηρεσία βελτιώνει την ακρίβεια και την ασφάλεια στην Παγκόσμια πλοήγηση, μπορούμε να αναφέρουμε τα εξής :

- Η χρήση του EGNOS βοηθάει στον ακριβέστερο καθορισμό του "**Ύψους Απόφασης**" (DH=Decision Height), κατά την προσέγγιση στα αεροδρόμια.
- Τα γενικά επιχειρησιακά οφέλη από την χρησιμοποίησή του είναι :
  - Μείωση του ύψους της γωνίας προσέγγισης (σε ευθεία και σε τεθλασμένη προσέγγιση)
  - Καλύτερη και σταθερότερη πλευρική καθοδήγηση προσέγγισης.
- Επίσης επιτρέπει την "**όμοια με όργανα**" **IFR**=(Instrument Flight Rules) λειτουργία, στα αεροδρόμια που δεν είναι εξοπλισμένα με σύστημα προσγειώσεως **ILS**=(Instrument Landing System).
- Αυξάνει την "χωρητικότητα" (δηλαδή την δυνατότητα εξυπηρέτησης προσγειώσεων-απογειώσεων) των αεροδρομίων.
- Αυξάνει γενικότερα την ασφάλεια των πτήσεων με οποιεσδήποτε συνθήκες.
- Αυξάνει την πτητική ικανότητα (π.χ. των ελικοπτέρων)
- Αποτρέπει την χρήση επίγειων ραδιοβοηθημάτων (NAVAIDS).
- Επιτρέπει την ελάττωση του χρονοβόρου παροπλισμού των επίγειων ραδιοβοηθημάτων και κατ'επέκταση την μείωση των τελών αεροδρομίου.

Τέλος υπάρχουν επίσης πάρα πολλοί τομείς καθημερινής δραστηριότητας όπως αναφέραμε αρχικά, που η χρήση του θα αποδεικνύεται εξαιρετικά χρήσιμη.

## 29. Βιβλιογραφία

- Πράσινη Βίβλος της Επιτροπής Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων για τις εφαρμογές της δορυφορικής πλοήγησης
- Επίσημος ιστόχωρος της ESA (European Space Agency)
- Βιβλιογραφία του ESSP (European Satellite Space Provider)  
<http://gps.faa.gov/programs>
- [www.mlit.go.jp/koku/ats/e/mtsat/role](http://www.mlit.go.jp/koku/ats/e/mtsat/role)
- Ρωσική Υπηρεσία Διαστήματος <http://www.glonass-ianc.rsa.ru/>
- Wikipedia
- Α.Π.Ε. – Αθηναϊκό Πρακτορείο Ειδήσεων
- Associated Press
- Δ. Δεληκάρσαογλου – «Ειδικά Θέματα Δορυφορικής Γεωδαισίας»
- Federal Aviation Regulations & Aeronautical Information Manual, ASA-02-FR-AM-BK, Aviation Supplies and Academics, Inc., Newcastle WA (2002).
- "Guidelines for Operators Using Global Positioning System Equipment for IFR En Route and Terminal Operations and for Nonprecision Instrument Approaches in the U.S. National Airspace System", Draft of FAA Advisory Circular, No. AC 90-94A.



- Instrument Flying Handbook, FAA-H-8083-15, U. S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration, Flight Standards Office, (2002).
- D. De Remer and D. W. McLean, "Global Navigation for Pilots: International Flight Techniques & Procedures", Aviation Supplies Academics, Inc, Newcastle, Washington, (1993).
- B. Clarke, "Aviators Guide to GPS", 2nd Edition, McGraw-Hill Inc., 1995.
- "Arianespace boosts Intelsat 11 and Optus D2 into orbit". Arianespace. [http://www.arianespace.com/site/news/releases/presrel07\\_10\\_05.html](http://www.arianespace.com/site/news/releases/presrel07_10_05.html).
- <http://www.eutelsat.com/satellites/HB9-W2M.html>
- <http://www.eutelsat.com/satellites/launch/PR-201208.pdf>
- "ESA en route to the origins of the Universe". ESA. 14 May 2009. [http://www.esa.int/esaCP/SEMk2AZVNUF\\_index\\_0.html](http://www.esa.int/esaCP/SEMk2AZVNUF_index_0.html). Retrieved 14 May 2009.
- "Ariane lofts biggest 'space bird'". BBC. 1 July 2009. <http://news.bbc.co.uk/2/hi/science/nature/8129546.stm>. Retrieved 2 July 2009.
- "Pad List - World Launch Sites". Space Launch Report. <http://www.geocities.com/launchreport/padsites.html>.
- "Europe's spaceport". ESA. [http://www.esa.int/esaCP/GGGMGNF3KCC\\_Expanding\\_0.html](http://www.esa.int/esaCP/GGGMGNF3KCC_Expanding_0.html).
- "Soyuz launch site hardware arrives in French Guiana". Arianespace. 28 July 2008. [http://www.arianespace.com/news-soyuz-vega-2008/2008\\_07\\_28\\_Soyuz-launch-site-hardware-arrives-French-Guiana.asp](http://www.arianespace.com/news-soyuz-vega-2008/2008_07_28_Soyuz-launch-site-hardware-arrives-French-Guiana.asp).
- "Official opening of the Soyuz launch base construction site in French Guiana". European Space Agency. 26 February 2007. [http://www.esa.int/esaCP/SEM0Q3N0LYE\\_index\\_0.html](http://www.esa.int/esaCP/SEM0Q3N0LYE_index_0.html).
- "Soyuz-ST rocket launch from Kourou set for April 2010" <http://en.rian.ru/russia/20090825/155922928.html>.
- (French) Le Port Spatial de l'Europe (CNES)
- Soyuz User's Manual
- Europe To Pay Russia To Build Soyuz Pad At Kourou: Russia
- "Thefts Place Russian Rocket Launches Under Threat In French Guiana". RIA Novosti / Spacewar.com. 22 November 2007. [http://www.spacetravel.com/reports/Site\\_Thefts\\_Place\\_Russian\\_Rocket\\_Launches\\_Under\\_Threat\\_In\\_French\\_Guiana\\_999.html](http://www.spacetravel.com/reports/Site_Thefts_Place_Russian_Rocket_Launches_Under_Threat_In_French_Guiana_999.html). Retrieved 26 November 2007.
- FAA Site on GPS and Satellite navigation <http://gps.faa.gov/>
- FAA Description of WAAS and LAAS <http://gps.faa.gov/Programs/WAAS/waas.htm>
- Excellent detailed tutorial on GPS from: Peter H. Dana, The Geographer's Craft Project, Department of Geography, The University of Colorado at Boulder, at web site: [http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps\\_f.html](http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps_f.html)
- "Soyuz in Samara (video)". [http://mfile.akamai.com/14448/wmv/esa.download.akamai.com/13452/wmv/Soyuz\\_Samara\\_POD\\_02-12-09\\_wmplow.asx](http://mfile.akamai.com/14448/wmv/esa.download.akamai.com/13452/wmv/Soyuz_Samara_POD_02-12-09_wmplow.asx).
- "Russian rockets readied for South America launch". [http://www.spacedaily.com/reports/Russian\\_rockets\\_readied\\_for\\_South\\_America\\_launch\\_999.html](http://www.spacedaily.com/reports/Russian_rockets_readied_for_South_America_launch_999.html).
- "Arianespace receives its fifth Ariane 5 of 2008". Arianespace. 28 July 2008. <http://www.arianespace.com/site/news/mission-up-524.html>.
- "Ariane 5 rolls out for Arianespace's fifth launch of 2007". Arianespace. November 8, 2007. [http://www.arianespace.com/site/news/mission\\_up\\_438.html](http://www.arianespace.com/site/news/mission_up_438.html).
- D. Margaria, F. DAVIS, P. Mulassano, An Innovative Data Demodulation Technique for Galileo AltBOC Receivers, Journal of Global Positioning Systems, Journal of Global Positioning Systems, Vol.6, No.1, pp.89-96, ISSN: 1446-3156, 2007, <http://www.gmat.unsw.edu.au/wang/jgps/v6n1/v6n1p10.pdf> (GPSJournal07)
- D. Margaria, F. DAVIS, P. Mulassano, Galileo AltBOC Signal Multiresolution Acquisition Strategy, IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, Vol.23, No.11, pp.4-10, ISSN: 0885-8985, November 2008. (Margaria08)
- E. S. Lohan, A. Lakhzouri, M. Renfors, "Complex Double-Binary-Offset-Carrier modulation for a unitary characterization of Galileo and GPS signals, *IEEE Proceedings on Radar, Sonar, and Navigation*, vol. 153(5), pp. 403-408, Oct 2006. [IEE06]
- Avila-Rodriguez, J.A., Hein, G.W., Wallner, S., Issler, J.L., Ries, L., Lestarquit, L., De Latour, A., Godet, J., Bastide, F., Pratt, T., Owen, J. The MBOC Modulation- A Final Touch for the Galileo Frequency and Signal Plan, <http://www.insidegnss.com/node/174> (InsideGNSS07)

- Avila-Rodriguez, J.A., Wallner, S., Hein, G.W., Eissfeller, B., Irsigler, M., Issler, J.L.: A vision on new frequencies, signals and concepts for future GNSS systems, Proceedings of ION GNSS 2007, Fort Worth, Texas, USA, 25-28 September 2007 (ION-GNSS07)
- Avila-Rodriguez, J.A., Hein, G.W., Wallner, S., Issler, J.L., Ries, L., Lestarquit, L., De Latour, A., Godet, J., Bastide, F., Pratt, T., Owen, J.: The MBOC Modulation: The Final Touch to the Galileo Frequency and Signal Plan, Proceedings of ION GNSS 2007, Fort Worth, Texas, USA, 25-28 September 2007 (ION-GNSS07bis)
- E.S. Lohan and M. Renfors, "On the performance of Multiplexed-BOC (MBOC) modulation for future GNSS signals, in *Proc. of European Wireless Conference, Apr 2007, Paris, France.* (EW07)
- Avila-Rodriguez J.A., Wallner S., Hein G.W.: MBOC: The New Optimized Spreading Modulation Recommended for Galileo E1 OS and GPS L1C, ESA Navitec 2006, Noordwijk, The Netherlands, Dec. 11-13, 2006 (ESA06)
- Betz J. The offset carrier modulation for GPS modernization. In Proceedings of ION Technical meeting, (Cambridge, Massachusetts) June 1999; 639–648. (ION-AM99)
- J. Betz, "Design and performance of code tracking for the GPS M code signal," MITRE, Mclean, Va, USA, September 2000, [http://www.mitre.org/work/tech\\_papers/tech\\_papers\\_00/betz\\_codetracking/](http://www.mitre.org/work/tech_papers/tech_papers_00/betz_codetracking/) (MITRE00)
- Galileo Open Service Signal In Space Interface Control Document <http://www.gsa.europa.eu/go/galileo/os-sis-icd/galileo-open-service-signal-in-space-interface-control-document> (SIS-ICD08)
- Hein G, Irsigler M, Rodriguez JA, Pany T. Performance of Galileo L1 signal candidates. In CDROM Proceedings of European Navigation Conference GNSS, May 2004. (ENC-GNSS04)
- Ries L, Lestarquit L, Armengou-Miret E, et al. A software simulation tool for GNSS2 BOC signals analysis. In Proceedings of ION GPS, (Portland, OR) September 2002; 2225-2239 (ION-GPS02)
- GJU. Galileo standardisation document for 3GPP. Galileo Joint Undertaking (GJU) webpages, <http://www.galileoju.com/page.cfm?voce=s2&idvoce=64&plugIn=1> (GJU)
- [www.septentrio.com/papers/GalileoAltBOC\\_paperFinal.pdf](http://www.septentrio.com/papers/GalileoAltBOC_paperFinal.pdf)
- E. S. Lohan, A. Lakhzouri, and M. Renfors, "Binary-offset-carrier modulation techniques with applications in satellite navigation systems," *Wiley Wireless Communications and Mobile Computing*, vol. 7, no. 6, pp. 767–779, 2006, <http://www3.interscience.wiley.com/cgi-bin/fulltext/112693999/PDFSTART> (Wiley06)
- Raghavan SH, Holmes JK. Modeling and simulation of mixed modulation formats for improved CDMA bandwidth efficiency. In Proceedings of Vehicular Technology Conference 2004; 6: 4290-4295 (VTC04).