



**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ**  
**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ**

**Π.Σ.Ε. ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ & ΔΙΚΤΥΩΝ Η/Υ**

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΙΚΡΟΚΥΜΑΤΙΚΩΝ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΚΑΙ**  
**ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**

## **Πτυχιακή εργασία**

με θέμα

*Τεχνολογία και Εφαρμογές*

*Δορυφορικών Συστημάτων Ναυσιπλοΐας - Εντοπισμού Θέσης*

από τον **Κωνσταντίνο Καλλιγιαννάκη** και

τον **Έρασμο-Πρόδρομο Νικολαΐδη.**

*Εκπονήθηκε υπό την επίβλεψη του Επίκουρου Καθηγητή Δρ. **Ιωάννη Βαρδιάμπαση**  
στα πλαίσια του “ΕΠΕΑΕΚ II – Αρχιμήδης: Ενίσχυση Ερευνητικών Ομάδων στα ΤΕΙ –  
Μελέτη- σχεδίαση ευφών κεραιών με τεχνικές υπολογιστικού ηλεκτρομαγνητισμού  
και πιλοτική ανάπτυξη- λειτουργία ψηφιακού ραδιοφωνικού σταθμού DAB  
στα Χανιά (SMART-DAB)”*

Χανιά, Μάιος 2004

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Ως επίλογο μιας επιτυχημένης πορείας στο τμήμα Τηλεπικοινωνιών και Δικτύων Η/Υ του Τ.Ε.Ι. Κρήτης επιλέξαμε την μελέτη μιας πολλά υποσχόμενης τεχνολογίας, που σχετίζεται άμεσα με την κάλυψη των διαρκώς αυξανόμενων αναγκών των δορυφορικών τεχνολογιών.

Στην προσπάθειά μας αυτή, στάθηκαν στο πλευρό μας κάποιοι άνθρωποι, που πραγματικά πίστεψαν σε εμάς και θα θέλαμε να τους ευχαριστήσουμε, ως ελάχιστη ένδειξη του σεβασμού και της ευγνωμοσύνης μας. Καταρχήν θερμά ευχαριστούμε τον επιβλέποντα της πτυχιακής εργασίας μας κ. Ιωάννη Βαρδιάμπαση, Επίκουρο Καθηγητή και Υπεύθυνο του Τομέα Τηλεπικοινωνιών στο Τμήμα Ηλεκτρονικής του Τ.Ε.Ι. Κρήτης.

Τον ευχαριστούμε για την εμπιστοσύνη με την οποία μας περιέλαβε από την πρώτη στιγμή, για την έμπνευση που μας προσέφερε και για τη μύηση στις ιδέες και στα οράματα για την τεχνολογία. Επίσης, τον ευχαριστούμε για την υποστήριξη, τη συμπαράσταση και την ενθάρρυνση που μας παρείχε, καθώς και για την άριστη συνεργασία που είχαμε μαζί του.

Ευχαριστίες επίσης, θα θέλαμε να εκφράσουμε προς όλους τους διδάσκοντες του Τμήματος Τηλεπικοινωνιών και Δικτύων Η/Υ του Τ.Ε.Ι. Κρήτης, που υπήρξαν καθηγητές μας κατά την διάρκεια των σπουδών. Οι γνώσεις που μας προσέφεραν και τα όσα μας δίδαξαν με το ήθος και τη συμπεριφορά τους αποδείχθηκαν πολύτιμα στην μέχρι τώρα πορεία μας.

Τέλος ευχαριστούμε τις οικογένειες μας και τα άτομα του ιδιαίτερου περιβάλλοντός μας, που με την υπομονή και την υποστήριξή τους, ο καθένας με τον δικό του ιδιαίτερο τρόπο, κατάφεραν να θέσουν έστω ένα μικρό λιθαράκι στην επιτυχή εκπόνηση της παρούσας πτυχιακής εργασίας.

Καλλιγιαννάκης Κωνσταντίνος  
Νικολαΐδης Έρασμος-Πρόδρομος

Χανιά Μάιος 2004

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο τομέας των δορυφορικών επικοινωνιών είναι από τους πιο αναπτυσσόμενους κλάδους της τεχνολογίας σήμερα. Ένας από τους κλάδους αυτού του τομέα, η δορυφορική ναυσιπλοΐα βρίσκει εδώ και περίπου 20 χρόνια εφαρμογές στην καθημερινή ζωή των ανθρώπων παγκόσμια.

Από το 1983 που άρχισε να λειτουργεί πλήρως το δορυφορικό σύστημα GPS μέχρι και σήμερα, χιλιάδες χρήστες ανά τον κόσμο απολαμβάνουν τις υπηρεσίες που προσφέρει αυτό, καθώς και τα συστήματα βελτίωσης της ακριβειάς του (DGPS-WAAS-EGNOS).

Ο τομέας όμως αυτός εξελίσσεται συνέχεια λόγω των απαιτήσεων για μεγαλύτερη ακρίβεια, ποιότητα και αξιοπιστία υπηρεσιών. Σαν φυσικό επακόλουθο των παραπάνω δημιουργήθηκε η ιδέα για την ανάπτυξη ενός νέου πιο εξελιγμένου συστήματος δορυφορικής ναυσιπλοΐας, του Ευρωπαϊκού συστήματος Galileo.

Οι γενικότερες εξελίξεις στο χώρο των δορυφορικών επικοινωνιών σε συνδυασμό με την επιθυμία μας να ασχοληθούμε με ότι πιο νέο στον κλάδο της δορυφορικής ναυσιπλοΐας, οδήγησαν στην απόφαση υλοποίησης της παρούσας πτυχιακής εργασίας.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: GPS-DGPS

<b>Εισαγωγή</b>	
<b>1.1 Γενικά χαρακτηριστικά</b>	<b>12</b>
1.1.1 Δορυφόροι πλοήγησης	12
1.1.2 Το GPS είναι ένα δορυφορικό σύστημα ναυσιπλοΐας	12
1.1.2.1 Space Segment	15
1.1.2.2 Control Segment	17
1.1.2.3 User Segment	18
1.1.3 Κώδικες και Σειρές Προτύπων	19
1.1.4 Άγνωστος αρχικός ακέραιος αριθμός (Ακέραια Ασάφεια)	19
<b>1.2 Υπηρεσίες του GPS</b>	<b>21</b>
1.2.1 Precise Positioning Service (PPS)	21
1.2.2 Standard Positioning Service (SPS)	21
<b>1.3 Ακρίβεια του GPS</b>	<b>22</b>
<b>1.4 GPS Satellite Signals</b>	<b>24</b>
<b>1.5 GPS Data</b>	<b>25</b>
<b>1.6 Θέση και χρόνος από το GPS</b>	<b>26</b>
1.6.1 Code Phase Tracking (Navigation)	26
1.6.2 Pseudo-Range Navigation	29
1.6.3 Receiver Position, Velocity, and Time	31
1.6.4 Carrier Phase Tracking (Surveying)	34
<b>1.7 Πηγές μείωσης της ακρίβειας: Τα προβλήματα</b>	<b>35</b>
1.7.1 Το χρονόμετρο των δορυφόρων	35
1.7.2 Το χρονόμετρο των δεκτών	36
1.7.3 Τροχιακά σφάλματα δορυφόρων	37
1.7.4 Σφάλματα που υπεισέρχονται από την ατμόσφαιρα	37
1.7.5 Σφάλμα πολλαπλών διαδρομών (multipath)	38
1.7.6 Σφάλματα δεκτών	38
1.7.7 GDOP (Geometric Dilution Of Precision)	39
1.7.8 Επιλεκτική διαθεσιμότητα (Selective Availability)	40
<b>1.8 Πηγές μείωσης της ακρίβειας: Λύσεις</b>	<b>42</b>
1.8.1 DGPS(Differential GPS)	42
1.8.2 Δομή DGPS	43
1.8.2.1 Σταθμός αναφοράς	44
1.8.2.2 Κινητός σταθμός	45
1.8.2.3 Data Link	45
1.8.2.4 Format μηνυμάτων RTCM SC- 104	47
1.8.2.5 Έλεγχος ακεραιότητας GPS	49
1.8.2.6 Βοήθεια ύψους	50
1.8.2.7 Πολλαπλάσιοι σταθμοί αναφοράς	50
1.8.3 Επίδραση του διαχωρισμού User-to-Reference Station	51
1.8.4 Διαφορικός Εντοπισμός (Differential Mode)	52
1.8.5 Τεχνικές DGPS	53
1.8.6 Differential Code GPS (Navigation)	54
1.8.7 Differential Carrier GPS (Survey)	56
1.8.8 RTK (Real-Time Kinematik)	56

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: WAAS**

<b>Εισαγωγή</b>	<b>59</b>
<b>2.1 Πώς λειτουργεί το WAAS</b>	<b>59</b>
<b>2.2 Δομή του προγράμματος WAAS</b>	<b>60</b>
<b>2.3 Απόδοση WAAS</b>	<b>61</b>
2.3.1 Χαρακτηριστικά απόδοσης	61
2.3.2 Περιοχή κάλυψης απόδοσης	62
<b>2.4 Τα οφέλη του WAAS</b>	<b>62</b>
2.4.1 Οφέλη στην αεροπορία	62
2.4.2 Οφέλη αερογραμμών	65
2.4.3 Οφέλη FAA	67
2.4.4 Μη-αεροπορικά οφέλη	69
<b>2.5 Μελλοντική ανάπτυξη του WAAS</b>	<b>70</b>
<b>2.6 Διαφορές WAAS-GPS-DGPS</b>	<b>71</b>

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: EGNOS**

<b>Εισαγωγή</b>	<b>73</b>
<b>3.1 Το Πρόγραμμα EGNOS</b>	<b>75</b>
<b>3.2 Στόχοι του EGNOS</b>	<b>77</b>
<b>3.3 Λειτουργίες του EGNOS</b>	<b>78</b>
<b>3.4 Περιγραφή των απαιτήσεων του συστήματος EGNOS</b>	<b>78</b>
3.4.1 Αεροναυτικές εφαρμογές	79
3.4.2 Θαλάσσιες εφαρμογές	80
3.4.3 Εφαρμογές εδάφους	80
3.4.4 Χρονικά πρότυπα	81
3.4.5 Απαιτήσεις υπηρεσιών	82
<b>3.5 EGNOS Performance</b>	<b>83</b>
<b>3.6 Αρχιτεκτονική του EGNOS και περιγραφή του συστήματος</b>	<b>85</b>
3.6.1 Επίγειο τμήμα	85
3.6.1.1 RIMS (Μακρινός Σταθμός Ακεραιότητας και Ελέγχου)	86
3.6.1.2 MCC (Κύριο Κέντρο Ελέγχου)	87
3.6.1.3 NLES (Επίγειος Σταθμός Ναυσιπλοΐας)	88
3.6.1.4 EWAN (Egnos Wide Area Network)	88
3.6.1.5 PACF (Performance Assessment and Check out Facility)	89
3.6.1.6 ASQF (Application Specific Qualification Facility)	89
3.6.2 Διαστημικό τμήμα	91
3.6.3 Τμήμα χρηστών	92
3.6.4 Εγκαταστάσεις υποστήριξης	92
3.6.5 Επίγειο περιφερειακό δίκτυο αύξησης EGNOS (EGNOS TRAN)	92
3.6.6 Επεξεργασία του συστήματος	93
<b>3.7 Τεχνικές επεξεργασίας σήματος</b>	<b>93</b>
<b>3.8 Το πεδίο δοκιμής του EGNOS (EGNOS SYSTEM TEST BED -ESTB)</b>	<b>96</b>
<b>3.9 Δοκιμές του συστήματος EGNOS</b>	<b>101</b>
<b>3.10 Διαλειτουργικότητα</b>	<b>102</b>
3.10.1 Διαλειτουργικότητα μεταξύ EGNOS-WAAS	102
3.10.2 Διαλειτουργικότητα των συστημάτων SBAS	103

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: GALILEO**

<b>Περίληψη</b>	<b>106</b>
<b>Εισαγωγή</b>	<b>107</b>
<b>4.1 Global Navigation Satellite Systems</b>	<b>107</b>
4.1.1 Γενικά χαρακτηριστικά	107
4.1.2 Στρατιωτική εφαρμογή	109
4.1.3 Εμπορικές εφαρμογές	109
4.1.4 Περιορισμοί και ευπάθειες συστημάτων	110
<b>4.2 Τα τρέχοντα συστήματα</b>	<b>111</b>
4.2.1 Navstar GPS	112
4.2.2 GLONASS	114
<b>4.3 Το μέλλον του συστήματος Galileo</b>	<b>115</b>
4.3.1 Ευρωπαϊκή συνεργασία	115
4.3.2 Τα στάδια χρηματοδότησης του Galileo	117
4.3.3 Public/Private Partnership (PPP)	118
4.3.3.1 Το νέο έδαφος	119
4.3.4 Τα πλεονεκτήματα του Galileo	122
4.3.5 Οικονομική, βιομηχανική και πολιτική υπόσταση του Galileo	123
4.3.6 Αρχιτεκτονική	126
4.3.6.1 Υπηρεσίες Galileo	130
4.3.6.2 Σήματα Galileo	131
4.3.6.3 Δέκτες Galileo	133
<b>4.4 Εφαρμογές ασφάλειας του Galileo</b>	<b>134</b>
4.4.1 Galileo και CFSP/ESDP	134
4.4.2 Galileos από την αμερικανική προοπτική	135
4.4.2.1 Το πρόβλημα επικαλύψεων του M-κώδικα	136
4.4.2.2 Επιπτώσεις για την αμερικανική άμυνα	138
4.4.3 Galileo και NATO	138
4.4.4 Προστασία συστημάτων Galileo	139
<b>4.5 Θεσμικές προκλήσεις που ανακύπτουν από το Galileo</b>	<b>139</b>
4.5.1 Τρέχουσα διακυβέρνηση συστημάτων	139
4.5.2 Σχέση με τις Ηνωμένες Πολιτείες και το NATO	142
4.5.3 Σχέσεις με την Κίνα, τη Ρωσία και άλλα έθνη έξω από το NATO	143
<b>4.6 Galileo Frequency &amp; Signal Design</b>	<b>144</b>
4.6.1 Απαιτήσεις σημάτων	144
4.6.2 Πρόσφατες εξελίξεις	146
4.6.3 Συχνότητα, βασική γραμμή σημάτων	147
4.6.4 Τύποι διαμόρφωσης (Modulation schemes)	149
4.6.5 Διαδιδόμενοι κώδικες (Spreading code)	151
4.6.6 Κρυπτογράφηση	153
4.6.7 Παράμετροι απόδοσης (Performance parameters)	154
4.6.8 Πρόσφατες μελέτες παρέμβασης	156
4.6.9 Συμβατότητα, διαλειτουργικότητα	157
4.6.10 Σήμα στο διάστημα	157
4.6.11	Ισότιμο πλαίσιο αναφοράς
160	
4.6.12 Πλαίσιο χρονικής αναφοράς (Time Reference Frame)	160
<b>4.7 Απόδοση του Galileo</b>	<b>161</b>

4.7.1	Διαλειτουργικότητα του GPS για αστικό/εσωτερικό περιβάλλον	161
4.7.2	Δορυφορική ανάλυση διαφάνειας	162
4.7.3	Χαρακτηρισμός του τοπικού περιβάλλοντος	165
4.7.4	Γενική απόδοση	168
4.7.5	Συμπεράσματα	170
	<b>Βιβλιογραφία</b>	<b>172</b>
	<b>Παράρτημα Α: Σχέδια δορυφόρου Galileo</b>	<b>175</b>
	<b>Παράρτημα Β: Συντμήσεις</b>	<b>177</b>

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## GPS-DGPS

### Εισαγωγή: Από τους λίθους στους δορυφόρους

Που βρίσκομαι; Από που μπορώ να πάω στον προορισμό μου; Οι ερωτήσεις αυτές πλανώνται από αρχαιοτάτων χρόνων.

#### Η λίθινη εποχή

Ο μόνος τρόπος για να θυμηθεί ο άνθρωπος μια διαδρομή μέσα από δάση και έρημους εκείνη την εποχή, ήταν να χρησιμοποιήσει ως σημεία αναφοράς διάφορα δέντρα και βράχους. Αφήνοντας πέτρες στη διαδρομή του, σηματοδύοντας δέντρα και έχοντας σαν αναφορά (διεύθυνση) τα βουνά, ο άνθρωπος μπορούσε να προσανατολιστεί και να οδηγηθεί στον προορισμό του. Αυτός ο απλός τρόπος πλοήγησης, που ακόμα και σήμερα χρησιμοποιείται, εισήγαγε την έννοια «σημείο αναφοράς» στην πλέον απλή της μορφή. Μία έννοια που εξελίχθηκε με την πάροδο του χρόνου και την πρόοδο της τεχνολογίας.



#### Η εποχή των άστρων

Η εύρεση σημείων αναφοράς στη στεριά ήταν εύκολη υπόθεση. Από τη στιγμή όμως που ο άνθρωπος άρχισε την εξερεύνηση των ωκεανών, η εύρεση κάποιων σημείων αναφοράς για πλοήγηση στη θάλασσα ήταν απαραίτητη. Τα μόνα ορατά αντικείμενα ήταν ο ήλιος, το φεγγάρι και τα αστέρια. Ήταν φυσικό λοιπόν να χρησιμοποιηθούν αυτά ως σημεία αναφοράς. Αυτή ήταν και η απαρχή της περιόδου των ουράνιων συστημάτων πλοήγησης.

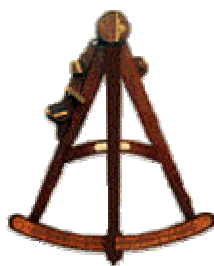


Η ουράνια πλοήγηση αποτέλεσε την πρώτη σοβαρή λύση στο πρόβλημα του εντοπισμού της θέσης σε άγνωστες περιοχές, όπου ο ήλιος, το φεγγάρι και τα αστέρια, χρησιμοποιούνταν ως σημεία αναφοράς. Η σχετική θέση των αστεριών καθώς και η γεωμετρία του σχηματισμού τους



όμως άλλαζε ανάλογα με τη θέση παρατήρησης τους από τη Γη. Επομένως, παρατηρώντας τη γεωμετρία των αστρικών σχηματισμών, ο άνθρωπος μπορούσε να εκτιμήσει τη θέση του στη Γη και να υπολογίσει την κατεύθυνση την οποία έπρεπε να ακολουθήσει για να πάει στον προορισμό του. Τα πιο χαρακτηριστικά παραδείγματα τέτοιων αστρικών σχηματισμών είναι η Μεγάλη κι η Μικρή Άρκτος. Αργότερα, με την ανακάλυψη ειδικών οπτικών οργάνων, η γεωμετρία των αστρικών σχηματισμών, ανάλογα με τη θέση παρατήρησης, προσδιορίστηκε με μεγαλύτερη ακρίβεια μετρώντας σχετικές γωνίες. Αυτές οι γωνίες λοιπόν χρησιμοποιήθηκαν αργότερα για τον ακριβέστερο υπολογισμό της θέσης του παρατηρητή, με τη βοήθεια χαρτών, οι οποίοι απλούστευσαν την επίπονη υπολογιστική διαδικασία.

Η διαδικασία των γωνιομετρήσεων με τα οπτικά όργανα ήταν πολύ επίπονη και χρονοβόρα διαδικασία. Ταυτόχρονα δεν παρείχε καλές ακρίβειες. Επίσης, δεν ήταν δυνατή η εφαρμογή της, ούτε κατά τη διάρκεια της ημέρας, ούτε τις νύχτες που είχε συννεφιά. Οι μετρημένες γωνίες έπρεπε να μεταφερθούν σε ειδικούς χάρτες και μετά από επίπονη υπολογιστική διαδικασία το τελικό αποτέλεσμα παρείχε περιορισμένη ακρίβεια της τάξης μερικών μιλίων.



Η μέθοδος επίλυσης βασιζόταν στην κλασσική τριγωνομετρία, όπου τα αστέρια αποτελούν τα γνωστά σημεία αναφοράς και οι μετρούμενες γωνίες μεταξύ των αστεριών και του παρατηρητή θα επίλυαν τα τρίγωνα και θα προσδιόριζαν τη θέση του παρατηρητή.

Η όλη διαδικασία θα ήταν πολύ πιο απλή, εάν υπήρχε και η δυνατότητα μέτρησης των αποστάσεων προς τα αστέρια. Η διαδικασία του τριπλευρισμού θα μπορούσε κάλλιστα να αντικαταστήσει τον τριγωνισμό, αλλά τέτοιου είδους μετρήσεις δεν ήταν δυνατόν να γίνουν.

Πολλοί ήταν αυτοί που προσπάθησαν να κατασκευάσουν ένα όργανο – κι ακόμα περισσότεροι αυτοί που ονειρεύονταν την ύπαρξή του – που θα μπορούσε να υπολογίσει τη θέση αυτόματα και με μεγαλύτερη ακρίβεια. Η παραπάνω ιδέα της μέτρησης αποστάσεων προς τα σημεία αναφοράς τέθηκε σε εφαρμογή μόλις πρόσφατα, με την χρησιμοποίηση των ραδιοκυμάτων και η εποχή του ραδιοεντοπισμού άρχισε.

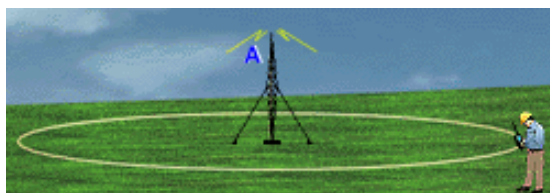
### **Η εποχή του Ραδιοεντοπισμού**

Στα μέσα περίπου του 20ου αιώνα, οι επιστήμονες βρήκαν τον τρόπο να μετρούν αποστάσεις χρησιμοποιώντας ραδιοκύματα. Η αρχή λειτουργίας βασίζεται στη μέτρηση του χρόνου που έκανε το κύμα να μεταδοθεί (ταξιδέψει) από την πηγή του (πομπός) στη ειδική συσκευή που έχει τη δυνατότητα λήψης του. Πολλαπλασιάζοντας τον χρόνο μετάδοσης με την ταχύτητα που ταξιδεύει το κύμα παίρνουμε την απόσταση. Η ταχύτητα μετάδοσης ισούται με την ταχύτητα

του φωτός (περίπου 300.000.000 m/sec). Το κρίσιμο σημείο στη διαδικασία αυτή είναι η όσο το δυνατό ακριβέστερη μέτρηση του χρόνου, μια που σφάλμα στη μέτρηση του της τάξης του 1μsec, εισάγει σφάλμα 300m στη μέτρηση της απόστασης. Για ακριβή προσδιορισμό της θέσης κατά συνέπεια, η συσκευή μέτρησης του χρόνου πρέπει να παρέχει ακρίβεια τάξης 1 nsec.

### Χρήση RF πομποδέκτη για την εύρεση θέσης με ακρίβεια

Ας υποθέσουμε ότι ένας πομπός είναι εγκατεστημένος στο σημείο Α στη γη και εμείς έχουμε ένα δέκτης που μπορεί να δέχεται το σήμα που εκπέμπει ο πομπός Α και να μετρά την απόσταση προς αυτόν. Επίσης, ο δέκτης έχει αποθηκευμένη στη μνήμη του την ακριβή θέση του πομπού Α. Βρισκόμαστε σε μια τυχαία θέση, θέτουμε τον δέκτη σε λειτουργία και μετράμε την απόσταση από τον πομπό  $S=12.325m$ . Η μέτρηση αυτή δε μας δίνει την ακριβή μας θέση, αλλά ξέρουμε ότι βρισκόμαστε στο γεωμετρικό τόπο που ορίζει ένας κύκλος με ακτίνα 12.325m (όπως στο δίπλα σχήμα).



Στη συνέχεια ας υποθέσουμε ότι ένας δεύτερος πομπός είναι εγκατεστημένος στο σημείο Β με γνωστές συντεταγμένες. Ο δέκτης μας μετρά την απόσταση και προς τον δεύτερο πομπό και την υπολογίζει 9.729m. Επομένως βρισκόμαστε κάπου στον γεωμετρικό τόπο του κύκλου με ακτίνα 9.729m. Αν συνδυάσουμε όμως και την πληροφορία που είχαμε και από τον πομπό Α, τότε ξέρουμε ότι βρισκόμαστε στην τομή των δύο κύκλων. Αυτό περιορίζει τις πιθανές θέσεις σε δύο, τα σημεία Ρ και Q, όπως φαίνεται στο δίπλα σχήμα.



Για να απορρίψουμε μία από τις δύο λύσεις και να προσδιορίσουμε την ακριβή μας θέση, χρειαζόμαστε κι έναν τρίτο πομπό (Γ). Η τομή τριών κύκλων είναι ένα σημείο. Αυτή ακριβώς είναι και η αρχή λειτουργίας του συστήματος. Οι πομποί Α, Β και Γ μαζί ονομάζονται «αλυσίδα» πομπών. Μια τέτοια αλυσίδα μπορεί να αποτελείται από 4 ή περισσότερους πομπούς για να εξασφαλιστεί η καλύτερη δυνατή κάλυψη μιας περιοχής. Οι ραδιοπομποί τέτοιου είδους, έχουν εμβέλεια περίπου 500 km.

Τα συστήματα εντοπισμού που βασίζονται στα ραδιοκύματα για την μέτρηση των αποστάσεων προς διάφορους πομπούς που βρίσκονται εγκατεστημένοι σε σημεία με γνωστές συντεταγμένες, ονομάζονται συστήματα ραδιοεντοπισμού.

### Η εποχή του LORAN

Το LORAN (LONg RANge Navigation) είναι ένα σύστημα Ραδιοεντοπισμού που τέθηκε σε λειτουργία το 1950. Κάθε αλυσίδα LORAN αποτελείται από τουλάχιστον 4 πομπούς οι οποίοι καλύπτουν μία έκταση της τάξης των 500 μιλίων. Για να υπάρξει κάλυψη σε μεγαλύτερες

εκτάσεις, είναι απαραίτητη η ύπαρξη περισσότερων αλυσίδων. Για παράδειγμα, στη Δυτική Ακτή των ΗΠΑ χρησιμοποιούνται 2 αλυσίδες LORAN.

Η κάθε αλυσίδα LORAN εκπέμπει τα ραδιοκύματα στη δική της μοναδική συχνότητα. Ο δέκτης LORAN με τη σειρά του, συντονίζεται στη συγκεκριμένη συχνότητα των εκπεμπόμενων ραδιοκυμάτων της αλυσίδας, μετράει τις αποστάσεις προς τους πομπούς αυτόματα και υπολογίζει τη θέση του. Ο δέκτης LORAN διαθέτει μια βάση δεδομένων στην οποία είναι αποθηκευμένες οι συντεταγμένες όλων των πομπών LORAN, όλων των αλυσίδων του συστήματος. Έτσι, το μόνο που πρέπει να κάνει ο χρήστης κατά τη διάρκεια της διαδρομής του, είναι να συντονίζει τον δέκτη του στη συχνότητα που εκπέμπει η κάθε αλυσίδα, η οποία καλύπτει την περιοχή στην οποία βρίσκεται. Η παραπάνω διαδικασία είναι ακριβώς η ίδια σαν να συντονίζει κάποιος το ραδιόφωνό του (FM radio) σε κάποιο συγκεκριμένο σταθμό.

Η ανάπτυξη του συστήματος LORAN παγκοσμίως καλύπτει μόνο ένα μικρό μέρος της Γήινης επιφάνειας. Οι αλυσίδες LORAN είναι εγκατεστημένες σε διαφορετικές χώρες οι οποίες είναι και υπεύθυνες για την σωστή και απρόσκοπτη λειτουργία του. Συνήθως εγκαθίστανται σε παραθαλάσσιες περιοχές με βεβαρημένη κίνηση.

Παρόλο που το σύστημα LORAN ήταν μια μεγάλη καινοτομία στη διαδικασία του εντοπισμού και της πλοήγησης, είχε τα ακόλουθα μειονεκτήματα.

- Η κάλυψη που παρείχε το σύστημα ήταν μόλις στο 5% της Γήινης επιφάνειας. Το LORAN δεν ήταν ένα παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού.
- Το σύστημα LORAN παρείχε μόνο δυσδιάστατη πληροφορία (γεωγραφικό πλάτος και μήκος). Δεν παρείχε πληροφορία για το υψόμετρο και κατά συνέπεια δεν μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές όπως η αεροπλοΐα.

Σε γενικές γραμμές πάντως και η παρεχόμενη ακρίβεια ήταν μειωμένη, της τάξης των 250m.

### **Η δορυφορική εποχή**

Για να ξεπεραστούν οι περιορισμοί του LORAN και να υπάρξει ένα σύστημα που να παρέχει παγκόσμια κάλυψη, εφαρμόστηκε η ιδέα της τοποθέτησης βελτιωμένων ραδιοπομπών σε δορυφόρους, σε τροχιά γύρω από τη Γη σε αρκετά μεγάλο υψόμετρο. Αυτό το σκεπτικό βρίσκεται σε πλήρη αντιστοιχία με τη δορυφορική τηλεόραση, όπου ο αντίστοιχος δορυφόρος παρέχει κάλυψη της τάξης των 3.000 μιλίων. Έτσι με τον τρόπο αυτό, τα σήματα από πολλούς δορυφόρους μπορούν να ληφθούν από οποιοδήποτε σημείο της Γης, παρέχοντας παγκόσμια κάλυψη.



Η αρχή λειτουργίας ενός συστήματος πλοήγησης βασισμένο σε δορυφόρους, δε διαφέρει καθόλου από αυτή των επιγείων συστημάτων ραδιοεντοπισμού που αναφερθήκαμε προηγουμένως. Στα επίγεια συστήματα, τα σημεία αναφοράς είναι οι πομποί που βρίσκονται στην επιφάνεια της γης και τα μετρούμενα μεγέθη είναι οι αποστάσεις προς αυτούς. Το αποτέλεσμα είναι η εύρεση της θέσης του δέκτη (γεωγραφικό μήκος και πλάτος χωρίς πληροφορία υψομέτρου), μέσω τομών κύκλων. Στα δορυφορικά συστήματα, το ρόλο των σημείων αναφοράς παίζουν οι δορυφόροι και με τη μέτρηση της απόστασης προς αυτούς εξάγεται η θέση του παρατηρητή (γεωγραφικό μήκος, γεωγραφικό πλάτος και υψόμετρο, ή γεωκεντρικές συντεταγμένες  $X, Y, Z$ ) ως το σημείο τομής πολλών σφαιρών (όσες και οι δορυφόροι που παρατηρούνται).

Στα επίγεια συστήματα, οι πομποί (σημεία αναφοράς) είναι σταθεροί, με ακριβείς συντεταγμένες και αποθηκευμένες στη μνήμη του δέκτη. Αντίθετα, στα δορυφορικά συστήματα, τα σημεία αναφοράς (δορυφόροι) δεν είναι σταθερά, αλλά βρίσκονται σε τροχιά γύρω από τη γη. Παρόλα αυτά οι δορυφόροι διαθέτουν την ικανότητα να μεταδίδουν την θέση τους ανά πάσα στιγμή. Είναι λοιπόν προφανές, ότι είναι πολύ σημαντικός ο όσο το δυνατόν ακριβέστερος υπολογισμός της θέσης των δορυφόρων τη στιγμή της μέτρησης της απόστασης τους από τον δέκτη, διότι έχει άμεσο αντίκτυπο στην ακρίβεια υπολογισμού της θέσης του δέκτη. Με άλλα λόγια, η ακρίβεια υπολογισμού της θέσης μας εξαρτάται άμεσα από την ακρίβεια υπολογισμού της θέσης των σημείων αναφοράς μας.

Στα δορυφορικά συστήματα εντοπισμού, οι θέσεις των δορυφόρων και κατ' επέκταση οι τροχιές τους παρακολουθούνται συνεχώς από διάφορους σταθμούς στη γη (control stations), που ανήκουν στην υπηρεσία που είναι υπεύθυνη για την διατήρηση του συστήματος. Η υπηρεσία αυτή επίσης, προβλέπει την τροχιά των δορυφόρων για τις επόμενες 24 ώρες, βασισμένη στα στοιχεία της τροχιάς που διέγραψαν το προηγούμενο 24ωρο. Στη συνέχεια, η προβλεπόμενη αυτή τροχιά, επανεκπέμπεται στους δορυφόρους, οι οποίοι την μεταδίδουν στους δέκτες των χρηστών ως μέρος του εκπεμπόμενου σήματός τους.

Με τη δημιουργία των δορυφορικών συστημάτων εντοπισμού, επανερχόμαστε στη φιλοσοφία των ουράνιων συστημάτων, με τη διαφοροποίηση όμως ότι τα σημεία αναφοράς είναι αυτή τη φορά δημιουργήματα του ανθρώπου. Το γεγονός αυτό επιτρέπει την μέτρηση των αποστάσεων προς αυτά, πράγμα που ήταν επιθυμητό από παλιά και διευκολύνει τις διαδικασίες εντοπισμού.

Ένα από τα πρώτα δορυφορικά συστήματα εντοπισμού ήταν το Transit. Το σύστημα αυτό βρήκε αρκετές εφαρμογές από τους πολιτικούς χρήστες, αλλά δεν παρείχε τις ακρίβειες που ζητά ο τοπογράφος μηχανικός για εφαρμογές όπως τριγωνισμός, πολυγωνομετρία, ταχυμετρία, χαράξεις κ.α. Η πείρα που αποκτήθηκε από το σύστημα Transit και από άλλα παρόμοια πειραματικά συστήματα, χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη των σημερινών Global Positioning System (GPS) από τις ΗΠΑ και του Global Navigation Satellite System (GLONASS) από την Ρωσία (πρώην Σοβιετική Ένωση).

## 1.1 Γενικά χαρακτηριστικά

### 1.1.1 Δορυφόροι πλοήγησης



Προηγούμενα, αναλύσαμε ότι εφόσον μετρήσουμε την απόσταση προς πολλούς δορυφόρους ξέροντας τη θέση τους τη στιγμή της μέτρησης, μπορούμε να υπολογίσουμε τη θέση μας. Για γίνει αυτό, πρέπει να υπάρχουν τρεις (3) προϋποθέσεις:

1. **Δορυφόροι:** Χρειαζόμαστε τους δορυφόρους ως σημεία αναφοράς προς τα οποία θα μετράμε τις αποστάσεις. Ταυτόχρονα, θα πρέπει ανά πάσα στιγμή να γνωρίζουμε την ακριβή θέση τους.
2. **Σύστημα Συντεταγμένων:** Με ποιό τρόπο θα εκφράσουμε τη θέση του κάθε δορυφόρου και κατ' επέκταση της θέσης μας. Ο μόνος τρόπος είναι η ύπαρξη ενός κοινού Συστήματος Συντεταγμένων που θα άπτεται και για τους δορυφόρους, αλλά και για οποιαδήποτε θέση πάνω στη Γη. Πρέπει λοιπόν να ορίσουμε ένα Σύστημα Συντεταγμένων με τέτοιο τρόπο, ώστε να είναι παγκοσμίως αποδεκτό και κοινό. Με άλλα λόγια χρειαζόμαστε ένα Παγκόσμιο Σύστημα Συντεταγμένων.
3. **Μέτρηση Αποστάσεων:** Τί είδους ηλεκτρονικό σήμα πρέπει να εκπέμπουν οι δορυφόροι ώστε να μπορούν όλοι οι χρήστες να το λαμβάνουν. Με ποιό τρόπο θα γίνεται η μέτρηση των αποστάσεων. Με τί ακρίβεια μπορούμε να μετρήσουμε αυτές τις αποστάσεις. Σε ποιό βαθμό επηρεάζουν τα σφάλμα των μετρήσεων μας τον υπολογισμό της θέσης μας. Όλα τα παραπάνω είναι θέματα που πρέπει να πραγματευτούμε για να έχουμε σαν αποτέλεσμα έναν ακριβή προσδιορισμό θέσης.

### 1.1.2 Το GPS είναι ένα δορυφορικό σύστημα ναυσιπλοΐας

Το όνομά του GPS προέρχεται από τα αρχικά των λέξεων Global Positioning System, το οποίο ουσιαστικά σημαίνει σύστημα προσδιορισμού θέσης (στίγματος) στη γη. Το GPS είναι ένα σύστημα που αποτελείται από 24 δορυφόρους που βρίσκονται σε τροχιά στο διάστημα, σε απόσταση 11 χιλιάδων ναυτικών μιλίων από τη γη και κινούνται σε 6 διαφορετικές τροχιές. 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 !

Οι δορυφόροι του GPS λέγονται και δορυφόροι NAVSTAR. Μερικά ενδιαφέροντα χαρακτηριστικά τους:

- Ο πρώτος δορυφόρος GPS εκτοξεύτηκε τον Φεβρουάριο 1978.
- Ο κάθε δορυφόρος ζυγίζει κάτι λιγότερο από 1 τόνο, και το πλάτος του δεν ξεπερνά τα 5 μέτρα με τις ηλιακές κυψέλες σε ανοιχτή θέση.
- Η ισχύς του πομπού του είναι maximum 50 watt.
- Κάθε δορυφόρος εκπέμπει σε δύο διαφορετικές συχνότητες. Το Σύστημα GPS εκπέμπει σε δύο συχνότητες στην συχνότητα L1: 1575.42 MHz και στην L2: 1227.6 MHz και χρησιμοποιεί τέτοια τεχνολογία ούτως ώστε τουλάχιστον θεωρητικά, να μην επηρεάζεται σημαντικά από τις καιρικές συνθήκες, ούτε από άλλα ηλεκτρονικά όργανα, ηλεκτρονικές εγκαταστάσεις ξηράς, από εκκινητήρες μηχανών ή ασυρμάτους. Οι στρατιωτικές συσκευές GPS χρησιμοποιούν και τις δύο συχνότητες ενώ οι συσκευές που διατίθενται στο εμπόριο εργάζονται συνήθως μόνο στην συχνότητα L1 (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 μέχρι το 2006.
- Οι Δορυφόροι επίσης μεταδίδουν σε δύο κώδικες:
  - (α) Μυστικός Κώδικας (Encrypted code= P-code ή PPS=Precise Positioning Service= Στρατιωτική Υπηρεσία Ακριβούς Θέσεως)
  - (β) "Κατά προσέγγιση κώδικας" (Coarse Acquisition Code = C/A Code ή SPS = Standard Positioning Service= Πολιτική Υπηρεσία συνήθους ακριβείας).

#### **Συσκευές που κυκλοφορούν στο εμπόριο**

Το GPS χρηματοδοτείται και ελέγχεται από το αμερικανικό DOD (U.S. Department of Defense). Ενώ υπάρχουν πολλές χιλιάδες αστικοί χρήστες του GPS παγκοσμίως, το σύστημα σχεδιάστηκε από τον αμερικανικό στρατό. Παρέχει ειδικά κωδικοποιημένα δορυφορικά σήματα που μπορούν να υποβληθούν σε επεξεργασία σε έναν δέκτη GPS, επιτρέποντας στο δέκτη να υπολογίσει τη θέση, τη ταχύτητα και το χρόνο. Τέσσερα δορυφορικά σήματα GPS χρησιμοποιούνται για να υπολογιστούν θέσεις σε τρεις διαστάσεις και το χρονικό offset στο ρολόι των δεκτών.

Οι τροχιές των δορυφόρων GPS περνούν από περίπου 60 μοίρες βόρεια μέχρι 60 μοίρες νότια. 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.

Ας δούμε λοιπόν τι περιεχόμενο έχει η πληροφορία που εκπέμπει ένας δορυφόρος. Το σήμα του GPS περιέχει ένα “ψευδο-τυχαίο”(pseudorange) κωδικό, το **ephemeris** και κάποια δεδομένα **αλμανάκ** όπως λέγονται. Ο ψευδο-τυχαίος κωδικός προσδιορίζει την ταυτότητα του δορυφόρου που εκπέμπει. Κάθε δορυφόρος έχει ένα χαρακτηριστικό αριθμό PRN (pseudo-random 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.

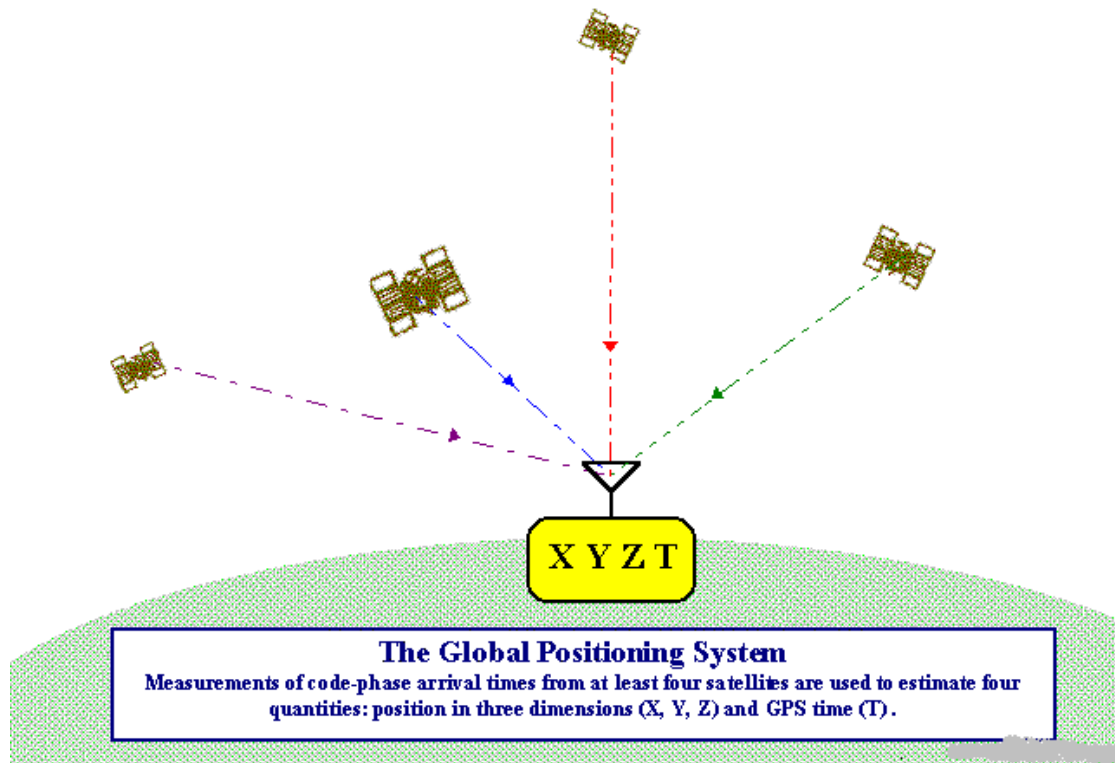
### **Πως υπολογίζεται το στίγμα**

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.

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. Γιαυτό χρειάζονται τουλάχιστον τρεις δορυφόροι ώστε να μπορεί να προσδιοριστεί το γεωγραφικό μήκος και πλάτος (latitude/longitude), 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).

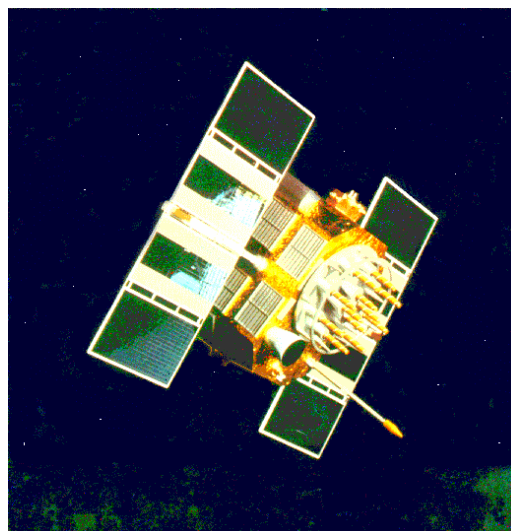
Συνοπτικά λοιπόν:

- Για στίγμα δύο διαστάσεων (2D: πλάτος και μήκος) η συσκευή χρειάζεται τουλάχιστον 3 δορυφόρους.
- Για στίγμα τριών διαστάσεων (3D: πλάτος, μήκος, ύψος από την επιφάνεια της θάλασσας) η συσκευή χρειάζεται 4 δορυφόρους.



### 1.1.2.1 Space Segment

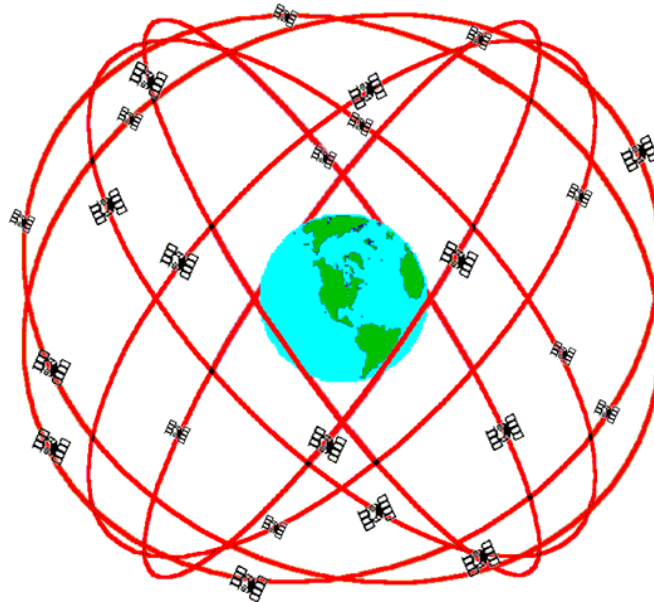
Το διαστημικό τμήμα του συστήματος αποτελείται από τους δορυφόρους GPS. Αυτά τα διαστημικά οχήματα (space vehicles-SVs) στέλνουν ραδιοσήματα από το διάστημα.



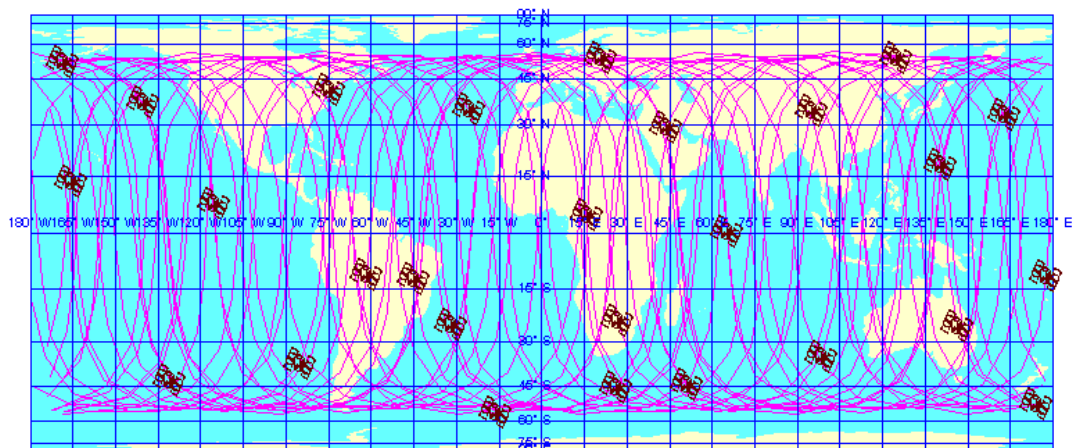
Ο λειτουργικός αστερισμός GPS αποτελείται από 24 δορυφόρους που κάνουν τροχιά γύρω από τη γη σε 12 ώρες. Οι δορυφορικές τροχιές επαναλαμβάνουν σχεδόν την ίδια επίγεια διαδρομή



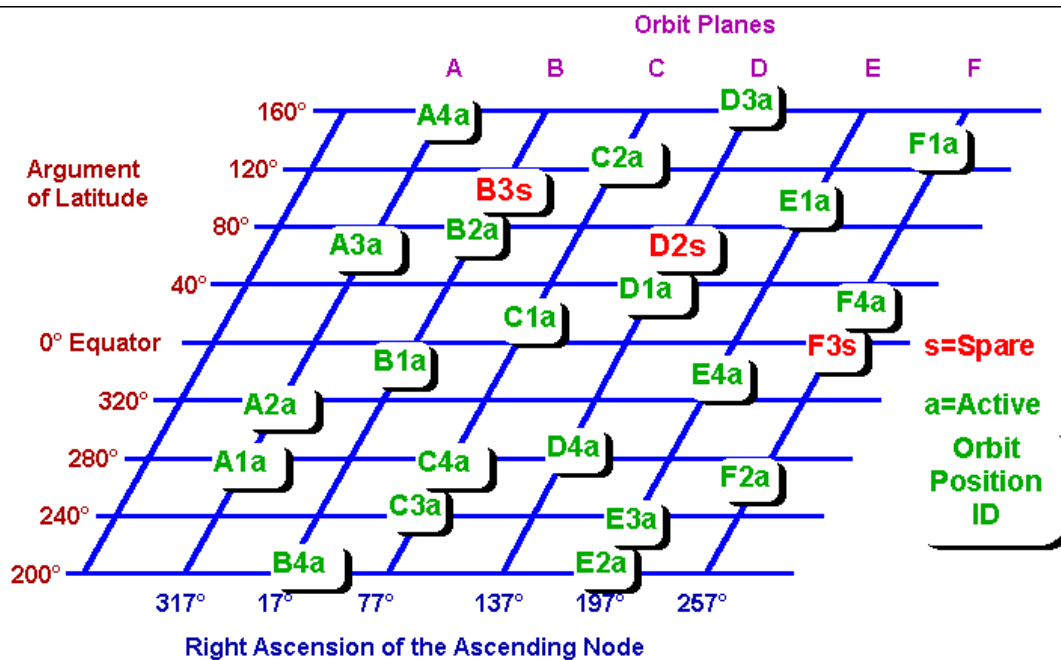
μιά φορά κάθε ημέρα. Το ύψος τροχιάς είναι τέτοιο που οι δορυφόροι επαναλαμβάνουν την ίδια διαδρομή και διαμόρφωση πέρα από οποιοδήποτε σημείο περίπου κάθε 24 ώρες (4 λεπτά νωρίτερα κάθε ημέρα). Υπάρχουν έξι τροχιακά επίπεδα (με ονομαστικά τέσσερα SVs σε κάθε ένα), ισοδιάστατα (60 μοίρες κατα επίπεδο), και με κλίση περίπου 55 μοιρών ως προς τον ισημερινό. Αυτός ο αστερισμός παρέχει στο χρήστη από πέντε έως οκτώ ορατά SVs από οποιοδήποτε σημείο στη γη.



**GPS Nominal Constellation**  
**24 Satellites in 6 Orbital Planes**  
**4 Satellites in each Plane**  
**20,200 km Altitudes, 55 Degree Inclination**



**Global Positioning System Satellites and Orbits**  
**for 27 Operational Satellites on September 29, 1998**  
**Satellite Positions at 00:00:00 9/29/98 with 24 hours (2 orbits) of Ground Tracks to 00:00:00 9/30/98**



**Simplified Representation of Nominal GPS Constellation**

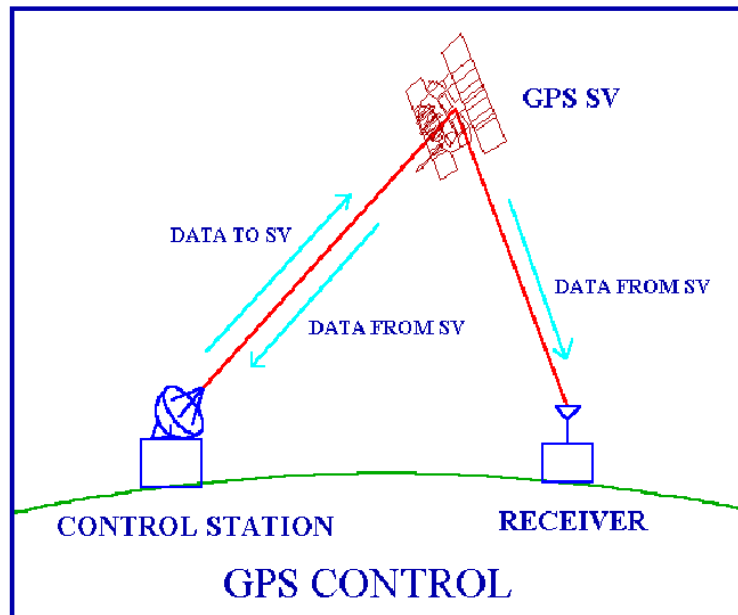
**1.1.2.2 Control Segment**

Το τμήμα ελέγχου αποτελείται από ένα σύστημα από σταθμούς εντοπισμού που βρίσκονται σε όλο τον κόσμο.

Ο κεντρικός σταθμός ελέγχου βρίσκεται στη βάση της αμερικανικής Πολεμικής Αεροπορίας στο Schriever (στο παρελθόν Falcon AFB) στο Κολοράντο. Αυτοί οι σταθμοί ελέγχουν-μετρούν τα σήματα από τα SVs, που ενσωματώνονται στα τροχιακά μοντέλα για κάθε δορυφόρο. Τα μοντέλα υπολογίζουν τα ακριβή τροχιακά ephemeris data (ημεροδεικτών) και τις διορθώσεις ρολογιών του SV για κάθε δορυφόρο. Ο κύριος σταθμός ελέγχου φορτώνει τα ephemeris data και τα data ρολογιών στα SVs. Τα SVs στέλνουν έπειτα τα υποσύνολα των τροχιακών ephemeris data στους δέκτες GPS πέρα από τα ραδιοσήματα.



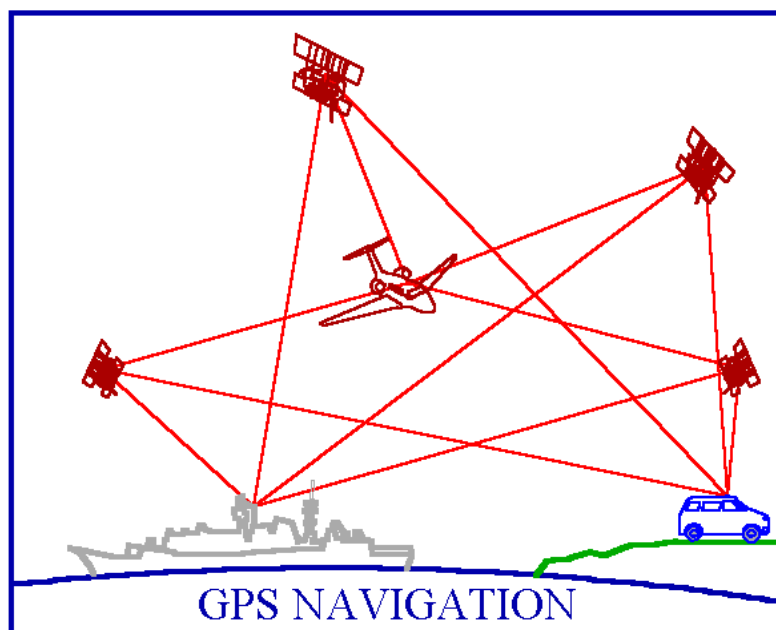
**Global Positioning System (GPS) Master Control and Monitor Station Network**



### 1.1.2.3 User Segment

Το τμήμα χρηστών του GPS αποτελείται από τους δέκτες GPS και την κοινότητα χρηστών. Οι δέκτες GPS μετατρέπουν τα σήματα του SV σε θέση, ταχύτητα και χρονικές εκτιμήσεις. Τέσσερις δορυφόροι απαιτούνται για να υπολογίσουν τις τέσσερις διαστάσεις του X, Y, Z (θέση) και του χρόνου. Οι δέκτες GPS χρησιμοποιούνται για τη ναυσιπλοΐα, τον προσδιορισμό θέσης, τη χρονική διάδοση, και για άλλες έρευνες:

- Η ναυσιπλοΐα σε τρεις διαστάσεις είναι η αρχική λειτουργία των δεκτών ναυσιπλοΐας GPS. Οι δέκτες ναυσιπλοΐας είναι φτιαγμένοι για αεροσκάφη, πλοία, επίγεια οχήματα, και για ψυχαγωγία.



- Ο ακριβής προσδιορισμός θέσης είναι δυνατός χρησιμοποιώντας δέκτες GPS στις θέσεις αναφοράς που παρέχουν διορθώσεις και positioning data για μακρινούς δέκτες. Η έρευνα, ο γεωδαιτικός έλεγχος, και οι τεκτονικές μελέτες είναι παραδείγματα.
- Η διάδοση χρόνου και συχνότητας, που είναι βασισμένη στα ακριβή ρολόγια των SVs και που ελέγχεται από τους σταθμούς ελέγχου, είναι μια άλλη χρήση του GPS.
- Ερευνητικά προγράμματα έχουν χρησιμοποιήσει σήματα GPS για να μετρήσουν ατμοσφαιρικές παραμέτρους.

### **1.1.3 Κώδικες και Σειρές Προτύπων**

Οι δορυφόροι παράγουν δύο είδη σήματος – προτύπων. Το πρώτο, που στην ορολογία του δορυφορικού εντοπισμού ονομάζεται “carrier” ή φέρουσα συχνότητα, έχει μήκος περίπου 20 εκατοστά και διαβάθμιση περίπου 1 χιλιοστό. Το δεύτερο, που ονομάζεται “code” ή κώδικας, έχει ουσιαστικά άπειρο μήκος και διαβάθμιση περίπου 1 μέτρο. Με τη χρησιμοποίηση των δύο εκπεμπόμενων σημάτων μπορούμε να υπολογίσουμε δύο αποστάσεις προς τον ίδιο δορυφόρο. Χρησιμοποιώντας τη φέρουσα συχνότητα, η απόσταση που υπολογίζεται ονομάζεται “carrier phase”, ενώ χρησιμοποιώντας τον κώδικα, η απόσταση που υπολογίζεται ονομάζεται “code phase”. Λόγω της μεγάλης διάρκειας του σήματος του κώδικα, η μέτρηση αυτή δεν πάσχει από ασάφεια και η μέτρηση της απόστασης προς τον δορυφόρο είναι άμεση (πχ 19.234.763 μέτρα). Αντίθετα, το πρότυπο της φέρουσας συχνότητας (ή φάσης για συντομία) έχει ασάφεια. Εύλογα μπορεί να θεωρήσει κανείς ότι είναι άσκοπο να λέμε ότι η απόσταση προς το δορυφόρο είναι 13,2 εκατοστά συν μία ασάφεια (ακέραιος αριθμός κύκλων), η οποία είναι της τάξης των μερικών δεκάδων εκατομμυρίων μέτρων. Σε τι ωφελεί να μετράμε ένα μικρό μέρος της συνολικής απόστασης με τόσο μεγάλη ακρίβεια, ενώ παραμένει άγνωστο το μεγαλύτερο μέρος της που ανέρχεται σε εκατομμύρια ακέραιους κύκλους;

### **1.1.4 Άγνωστος αρχικός ακέραιος αριθμός (Ακέραια Ασάφεια)**

Οι έννοιες του κώδικα και της φέρουσας συχνότητας είναι πολύ σημαντικές. Ας παρακολουθήσουμε το παρακάτω παράδειγμα για να κατανοήσουμε καλύτερα τις έννοιες αυτές. Ας θεωρήσουμε τον κώδικα σαν ένα ρολόι που έχει μόνο τον ωροδείκτη (ας το ονομάσουμε ρολόι κώδικα). Σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή κοιτώντας το ρολόι αυτό ξέρει κανείς την ώρα της ημέρας. Ας θεωρήσουμε τη φέρουσα σαν ένα ρολόι που έχει μόνο το δείκτη των δευτερολέπτων (ας το ονομάσουμε ρολόι φέρουσας). Με το ρολόι αυτό μπορεί κανείς να ξέρει με ακρίβεια δευτερολέπτου το χρονικό διάστημα μεταξύ δύο γεγονότων, αρκεί να το παρακολουθεί συνεχώς, ώστε να «μετρά» τα ακέραια λεπτά. Αν με κάποιο τρόπο μπορούσαμε να προσδιορίσουμε το πλήθος των αρχικών λεπτών (τον αρχικό άγνωστο ακέραιο αριθμό όταν κοιτάξαμε το ρολόι φέρουσας), τότε μπορούμε να παρακολουθήσουμε το χρόνο με μεγάλη

ακρίβεια. Αν για κάποιο λόγο αποσπαστεί η προσοχή μας και χάσουμε το μέτρημα των ακέραιων λεπτών, τότε έχουμε να επαναπροσδιορίσουμε το νέο «αρχικό άγνωστο ακέραιο αριθμό». Σε αντίθεση με τα παραπάνω, με το ρολόι κώδικα έχουμε πάντα την εκτίμηση της ώρας, αλλά με μειωμένη ακρίβεια (ενός 10λέπτου περίπου), εκτιμώντας από τη θέση του ωροδείκτη. Το ρολόι κώδικα μπορεί να δώσει μια καλή εκτίμηση του άγνωστου αριθμού των λεπτών του ρολογιού της φέρουσας. Είναι εμφανής όμως η έλλειψη του λεπτοδείκτη από τα ρολόγια μας. Οι κατασκευάστριες εταιρείες δεκτών GPS έχουν αναπτύξει διάφορες τεχνικές έτσι ώστε οι μετρήσεις κώδικα και φάσης που γίνονται να είναι σαφείς και ακριβείς, με αποτέλεσμα να εξάγεται γρήγορα η σωστή μέτρηση της απόστασης προς τους δορυφόρους.

Ο άγνωστος ακέραιος αριθμός της φέρουσας, που ονομάζεται ασάφεια φάσης, μπορεί να προσδιοριστεί αν έχουμε παρατηρήσεις προς τους δορυφόρους για κάποιο χρονικό διάστημα. Αυτή ακριβώς είναι και η θεμελιώδης αρχή για όλες τις εφαρμογές ακριβείας του GPS, όπως η γεωδαισία.

Εκτελώντας μετρήσεις με GPS και χρησιμοποιώντας τη φάση, είναι πολύ κρίσιμο να παρακολουθούμε τον αριθμό των ακέραιων κύκλων σωστά και απρόσκοπτα. Δηλαδή να προσδιορίσουμε σωστά την ασάφεια φάσης. Εφόσον έχουμε προσδιορίσει την ασάφεια φάσης, πρέπει ταυτόχρονα να συνεχίσουμε να παρακολουθούμε τους ακέραιους κύκλους. Κάθε φορά που περνά ένας ακέραιος κύκλος και εμείς δεν τον λαμβάνουμε υπόψη μας, υπολογίζουμε λάθος την απόστασή μας προς το δορυφόρο και κατά συνέπεια και τη θέση μας. Στη γλώσσα του GPS αυτό ονομάζεται απώλεια κύκλου (cycle slip). Οι περισσότεροι δέκτες GPS είναι ικανοί να εντοπίζουν και να διορθώνουν τις απώλειες κύκλων.

Πρέπει εδώ να σημειώσουμε ότι όλοι οι δέκτες δεν είναι ικανοί να μετρούν και τα δύο μεγέθη (κώδικα και φάση). Υπάρχουν πολλοί δέκτες που μετρούν μόνο τον κώδικα. Η φάση χρησιμοποιείται σε εφαρμογές υψηλής ακριβείας, όπως οι γεωδαιτικές εφαρμογές. Για τον λόγο αυτό οι δέκτες που παρακολουθούν και εκτελούν μετρήσεις με χρήση της φάσης, ονομάζονται γεωδαιτικοί δέκτες.

Η ακρίβεια με την οποία προσδιορίζουμε την απόσταση μας προς τους δορυφόρους, κυμαίνεται ανάλογα με το παρατηρούμενο μέγεθος. Έτσι, αν χρησιμοποιούμε μετρήσεις κώδικα, η ακρίβεια στον προσδιορισμό της απόστασης είναι της τάξης του ενός (1) μέτρου, ενώ με χρήση φάσης είναι της τάξης του ενός (1) χιλιοστού. Αυτό όμως δεν σημαίνει ότι μπορούμε να υπολογίσουμε τη θέση μας χρησιμοποιώντας ένα δέκτη GPS με ακρίβεια ενός (1) μέτρου ή ενός (1) χιλιοστού. Υπάρχουν πολλές πηγές που εισάγουν σφάλματα στις μετρήσεις μας, με αποτέλεσμα να μειώνεται η ακρίβεια προσδιορισμού.

## 1.2 Υπηρεσίες του GPS

### 1.2.1 Precise Positioning Service (PPS)

Οι εξουσιοδοτημένοι χρήστες με κρυπτογραφικό εξοπλισμό και κλειδιά και οι ειδικά εξοπλισμένοι δέκτες χρησιμοποιούν το PPS. Αυτοί είναι ο αμερικανικός στρατός, οι αμερικανικές μυστικές υπηρεσίες και επιλεγμένοι πολιτικοί χρήστες.

Προβλεπόμενη ακρίβεια του PPS:

- οριζόντια ακρίβεια 22 μέτρων,
- κάθετη ακρίβεια 27,7 μέτρων,
- χρονική ακρίβεια (UTC) 200 νανοδευτερολέπτων.

### 1.2.2 Standard Positioning Service (SPS)

Οι αστικοί χρήστες χρησιμοποιούν παγκόσμια το SPS χωρίς δαπάνες ή περιορισμούς. Οι περισσότεροι δέκτες είναι σε θέση να λάβουν και να χρησιμοποιήσουν το σήμα SPS. Η ακρίβεια του SPS υποβιβάζεται σκόπιμα από το DOD με την χρήση «εκλεκτικής διαθεσιμότητας» (SA). Προβλεπόμενη ακρίβεια του SPS:

- οριζόντια ακρίβεια 100 μέτρων,
- κάθετη ακρίβεια 156 μέτρων,
- χρονικής ακρίβεια 340 νανοδευτερόλεπτα.

Αυτές οι εκτιμήσεις ακρίβειας του GPS είναι θεσπισμένες από το ομοσπονδιακό σχέδιο ραδιοπλοήγησης του 1999. Έχουν 95% ακρίβεια, και εκφράζουν την αξία δύο σταθερών αποκλίσεων του ακτινωτού λάθους από την πραγματική θέση κεραίων σε ένα σύνολο εκτιμήσεων θέσης που γίνονται υπό τη διευκρινισμένη δορυφορική γωνία ανύψωσης (5 μοίρες) και τους όρους PDOP (λιγότερο από 6).

Για οριζόντια ακρίβεια 95% είναι η ισοδυναμία  $2drms$ , ή δύο φορές η ακτινωτή σταθερή απόκλιση λάθους. Για τα λάθη της κάθετης και του χρόνου 95% είναι η αξία δύο τυποποιημένων αποκλίσεων του κάθετου λάθους ή του χρονικού λάθους.

Οι κατασκευαστές δεκτών μπορούν να χρησιμοποιήσουν άλλα μέτρα ακρίβειας. Το λάθος μέσης τετραγωνικής τιμής (RMS) είναι η αξία μιας σταθερής απόκλισης (68%) του λάθους σε μια, δύο ή τρεις διαστάσεις. Το πιθανό κυκλικό λάθος (CEP) είναι η αξία της ακτίνας ενός κύκλου, που κεντροθετείται στην πραγματική θέση που περιέχει 50% των εκτιμήσεων θέσης. Το πιθανό σφαιρικό λάθος (SEP) είναι η σφαιρική ισοδυναμία του CEP, το οποίο είναι η ακτίνα μιας σφαίρας, που κεντροθετείται στην πραγματική θέση, η οποία περιέχει 50% των τριών εκτιμήσεων θέσης διάστασης.

Μερικές προδιαγραφές δεκτών κατηγοριοποιούν την οριζόντια ακρίβεια σε RMS ή σε CEP και χωρίς εκλεκτική διαθεσιμότητα, κάτι που κάνει εκείνους τους δέκτες να εμφανιστούν ακριβέστεροι από εκείνους που χρησιμοποιούν πιο συντηρητικά μέτρα λάθους.

### 1.3 Ακρίβεια του GPS

Στην πράξη η απόδοση του GPS δεν είναι τόσο καλή. Το στίγμα δηλαδή που παίρνουμε δεν είναι τόσο ακριβές όσο το περιγράψαμε. Υπάρχουν πολλοί παράγοντες που αυξάνουν το σφάλμα στις μετρήσεις.

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 μια διαφορά όμως, 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.

Ένας παράγοντας που επηρεάζει την ακρίβεια του GPS είναι η “γεωμετρία” των δορυφόρων. Με απλά λόγια, η γεωμετρική θέση των δορυφόρων είναι το σημείο που βρίσκεται ο καθένας σε σχέση με τους άλλους δορυφόρους, όπως φαίνεται από το GPS. Αν τώρα ένα GPS έχει στην εμβέλειά του τέσσερις δορυφόρους (που είναι αρκετοί για να δώσουν ένα ακριβές στίγμα) αλλά και οι τέσσερις είναι π.χ. βορειοδυτικά σε σχέση με το GPS, η “γεωμετρία” των δορυφόρων είναι πολύ κακή. Στην πραγματικότητα, το GPS μπορεί να μην είναι σε θέση να δώσει καν στίγμα. Αυτό συμβαίνει γιατί όλες οι μετρήσεις της απόστασης από όλους τους δορυφόρους προέρχονται από την ίδια διεύθυνση, ΒΔ. Δηλαδή, τα τριγωνομετρικά δεδομένα που λαμβάνει το GPS όσον αφορά την περιοχή στην οποία βρίσκεται το στίγμα μας είναι ασαφή, η περιοχή που ορίζεται από τις τομές των αποστάσεων είναι πολύ μεγάλη, και έτσι ο ακριβής προσδιορισμός της θέσης του GPS είναι αδύνατος. Σε αυτή την περίπτωση το σφάλμα του στίγματος μπορεί να είναι της τάξης των 90 έως 150 μέτρων (300-500 πόδια).

Στην αντίθετη περίπτωση, με τέσσερις δορυφόρους στην εμβέλεια του GPS κατανεμημένους στα τέσσερα σημεία του ορίζοντα, η ακρίβεια του στίγματος είναι η μέγιστη δυνατή. Η καλύτερη γεωμετρία των δορυφόρων είναι όταν αυτοί βρίσκονται ανά 90 μοίρες σε σχέση με το GPS. Το στίγμα μας βρίσκεται στην περιοχή που ορίζεται εκεί που τέμνονται οι διευθύνσεις της απόστασης από τους τέσσερις δορυφόρους, και η περιοχή αυτή είναι τώρα πάρα πολύ μικρή.

Η ακρίβεια του GPS επίσης είναι μικρότερη όταν κινούμαστε με μεγάλη ταχύτητα ή όταν βρισκόμαστε ανάμεσα σε ψηλά βουνά ή άλλα εμπόδια. Όταν το σήμα δεν φτάνει μέχρι το GPS λόγω των φυσικών εμποδίων, οι δορυφόροι υπολογίζουν τη θέση τους σε σχέση με τους υπόλοιπους και το GPS μπορεί τότε να καταλάβει εάν είναι σε θέση να δώσει ένα ακριβές στίγμα. Ένα καλό GPS μπορεί να δώσει ένδειξη όχι μόνο ποιοι δορυφόροι είναι εντός εμβέλειας και εν λειτουργία, αλλά και που ακριβώς βρίσκονται (αζιμούθιο και υψόμετρο), ώστε ο χρήστης του GPS να καταλάβει τι βαθμό αξιοπιστίας έχει το στίγμα που του δίνει το όργανο.

Ένα άλλο πρόβλημα που επηρεάζει την ακρίβεια του στίγματος είναι οι αντανακλάσεις. Με απλά λόγια, κάθε ραδιοσήμα ανακλάται πάνω στα διάφορα αντικείμενα του φυσικού περιβάλλοντος και το σήμα φτάνει στο GPS καθυστερημένα αφού έχει ταξιδέψει μεγαλύτερη απόσταση από την αναμενόμενη. Αυτός ο επιπλέον χρόνος κάνει το GPS να πιστεύει ότι ο δορυφόρος που το εξέπεμψε βρίσκεται μακρύτερα από ότι είναι στην πραγματικότητα και έτσι προσδιορίζει λανθασμένα το σχετική θέση του. Αυτό το επιπλέον σφάλμα επιβαρύνει την ακρίβεια του στίγματος με άλλα 4-5 μέτρα (15 πόδια).

Συμαντική επίδραση στις μετρήσεις παίζει και το λεγόμενο σφάλμα Ιονόσφαιρας. Γύρω από την Γη σε ένα στρώμα από τα 80 μέχρι τα 120 μίλια περίπου πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας υπάρχει στρώμα αερίων συνεχώς ηλεκτρικά φορτισμένο/ιονισμένο (με απλά λόγια μόρια υδρογόνου που υφίστανται την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας). Τα μόρια του ηλεκτρισμένου αυτού στρώματος επηρεάζουν την ταχύτητα του φωτός και επομένως και την ταχύτητα των ραδιοσημάτων που εκπέμπουν οι δορυφόροι του συστήματος GPS. Το πρόγραμμα των συσκευών GPS κάνει την ανάλογη διόρθωση στον χρόνο λαμβάνοντας υπόψη την Μέση Ημερήσια Επίδραση και την Μέση Ιονοσφαιρική Δραστηριότητα. Όπως αντιλαμβάνεσθε δεν είναι κάθε ημέρα μία Μέση ημέρα, έτσι κάποιο ελάχιστο σφάλμα παραμένει και μετά την διόρθωση.

Ένα άλλο σφάλμα είναι το σφάλμα Τροπόσφαιρας. Αφού το ραδιοσήμα που εκπέμπεται από τον δορυφόρο GPS στην πορεία προς την Γή, περάσει την Ιονόσφαιρα εισέρχεται στην Τροπόσφαιρα. Δηλαδή στο στρώμα της Ατμόσφαιρας από την επιφάνεια της Γης μέχρι την Ιονόσφαιρα εκεί συγκεκριμένα που δημιουργούνται οι διάφορες μετεωρολογικές μεταβολές και φαινόμενα. Δυστυχώς οι υδρατμοί (σύννεφα, ομίχλη κλπ) με τους οποίους είναι γεμάτη η Τροπόσφαιρα επηρεάζουν και αυτοί τα ραδιοσήματα στον ίδιο περίπου βαθμό που τα επηρεάζει η Ιονόσφαιρα αλλά ευτυχώς η διόρθωση αυτού του σφάλματος είναι κάπως ευκολότερη. Με τον τρόπο αυτό η φορητή συσκευή GPS βρίσκει με σχετικά μεγάλη ακρίβεια πόσο απέχει η συσκευή (δηλαδή ο χρήστης) από κάθε δορυφόρο. Αφού βρει την απόσταση αυτή της συσκευής από κάθε δορυφόρο, χρησιμοποιώντας τύπους σφαιρικής τριγωνομετρίας υπολογίζει το στίγμα σε πλάτος και μήκος, υψόμετρο και το δείχνει στην οθόνη και στην συνέχεια πολλά άλλα στοιχεία.

Αυτά που είδαμε μέχρι τώρα ήταν οι βασικότερες μόνο αιτίες σφάλματος στις μετρήσεις. Υπάρχουν και άλλοι μικρότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την ακρίβεια του GPS, όπως οι καιρικές συνθήκες, ο συγχρονισμός πομπού - δέκτη, κ.α.



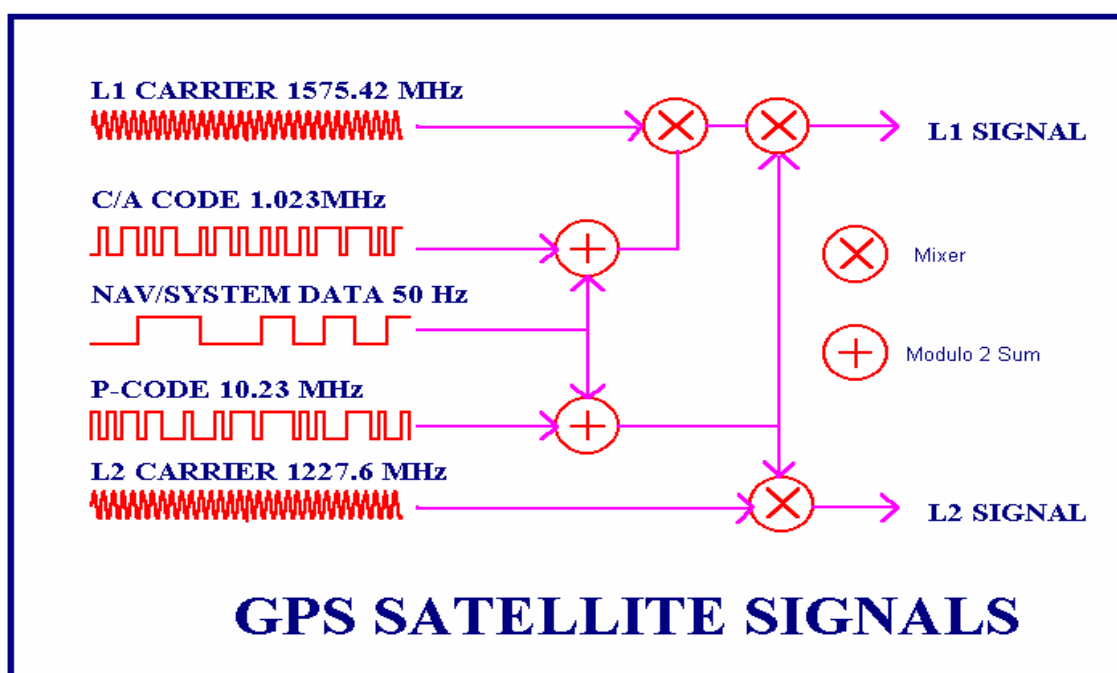
## 1.4 GPS Satellite Signals

Τα SVs διαβιβάζουν δύο μικροκυματικά σήματα φέροντος. Η L1 συχνότητα (1575.42 MHz) φέρει το μήνυμα ναυσιπλοΐας και τα SPS σήματα κώδικα. Η L2 συχνότητα (1227.60 MHz) χρησιμοποιείται για να μετρήσει την ιονοσφαιρική καθυστέρηση από εξοπλισμένους PPS δέκτες.

Τρεις δυαδικόι κώδικες μεταβάλλουν την L1 και/ή την L2 φάση φέροντος:

- Ο κώδικας C/A (Coarse Acquisition) διαμορφώνει τη L1 φάση φέροντος. Ο κώδικας C/A είναι ένας κώδικας επανάληψης 1 MHz ψευδοτυχαίου θορύβου (PRN). Αυτός ο παρόμοιος με θόρυβο κώδικας διαμορφώνει το L1 σήμα φέροντος, "διαδίδοντας" το φάσμα πέρα από ένα 1 MHz εύρος ζώνης. Ο κώδικας C/A επαναλαμβάνεται κάθε 1023 bits (ένα χιλιοστό του δευτερολέπτου). Υπάρχει ένας διαφορετικός C/A κώδικας PRN για κάθε SV. Οι δορυφόροι GPS προσδιορίζονται συχνά από τον PRN αριθμό τους, το μοναδικό προσδιοριστικό για κάθε ψευδοτυχαίο κώδικα θορύβου. Ο κώδικας C/A που διαμορφώνει το L1 φέρον είναι η βάση για το αστικό SPS.
- Ο P-κώδικας (Precise) διαμορφώνει και την L1 και την L2 φάση φέροντος. Ο P-κώδικας είναι ένας 10 MHz PRN κώδικας. Στον AS τρόπο (Anti-Spoofing) λειτουργίας, ο P-κώδικας κρυπτογραφείται στον Y-κώδικα. Ο κρυπτογραφημένος Y-κώδικας απαιτεί ταξινομημένη AS Module για κάθε κανάλι δεκτών και είναι για χρήση μόνο από εξουσιοδοτημένους χρήστες με κρυπτογραφικά κλειδιά. Ο P(Y)-κώδικας είναι η βάση για την PPS.

Το μήνυμα ναυσιπλοΐας διαμορφώνει επίσης το L1-C/A σήμα κώδικα. Το μήνυμα ναυσιπλοΐας είναι ένα σήμα 50 Hz που αποτελείται από data bits που περιγράφουν τις δορυφορικές τροχιές GPS, τις διορθώσεις ρολογιών, και άλλες παραμέτρους του συστήματος.

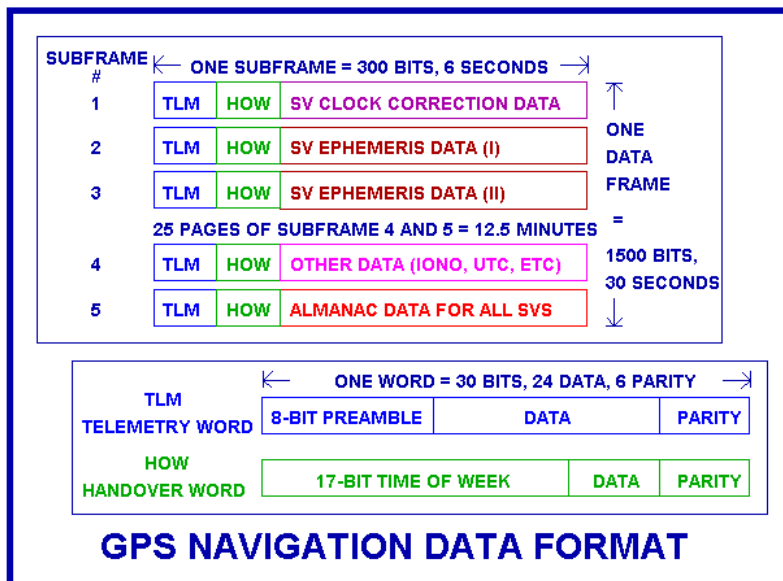


### 1.5 GPS Data

Το μήνυμα ναυσιπλοΐας του GPS αποτελείται από τα χρονικά data bits χαρακτηρίζοντας το χρόνο της μετάδοσης κάθε subframe στο χρόνο που διαβιβάζονται από το SV. Ένα πλαίσιο data bits αποτελείται από 1500 bits που διαιρούνται σε πέντε 300 bits subframes. Ένα data frame διαβιβάζεται κάθε τριάντα δευτερόλεπτα. Τρία subframes έξι-δευτερολέπτων περιέχουν τα τροχιακά data και τα data ρολογιών. Οι διορθώσεις των ρολογιών του SV στέλνονται απο το subframe 1 και τα ακριβή τροχιακά data σύνολα του SV (παράμετροι ephemeris data) για το διαβιβάζον SV στέλνονται στα subframes 2 και 3. Τα Subframes 4 και 5 χρησιμοποιούνται για να διαβιβάσουν διαφορετικές σελίδες των data του συστήματος. Ένα ολόκληρο σύνολο εικοσι πέντε frames (125 subframes) αποτελεί το πλήρες μήνυμα ναυσιπλοΐας που στέλνεται κατά τη διάρκεια μιας μικρής περιόδου 12,5 min.

Τα data frames (1500 bits) στέλνονται κάθε τριάντα δευτερόλεπτα. Κάθε frame αποτελείται από πέντε subframes.

Τα data bits subframes (300 bits διαβιβάζονται κάθε έξι δευτερόλεπτα) περιέχουν τα parity bits που επιτρέπουν τον έλεγχο των data και την διόρθωση λάθους.



Οι παράμετροι των data ρολογιού περιγράφουν το ρολόι του SV και τη σχέση του με το χρόνο GPS. Οι παράμετροι των ephemeris data περιγράφουν τις τροχιές του SV για σύντομα τμήματα δορυφορικών τροχιών.Κανονικά, ένας δέκτης συγκεντρώνει νέα ephemeris data κάθε ώρα, αλλά μπορεί να χρησιμοποιήσει παλαιά data μέχρι και τέσσερις ώρες χωρίς πολλά λάθη. Οι παράμετροι των ephemeris χρησιμοποιούνται με έναν αλγόριθμο ο οποίος υπολογίζει τη θέση SV κάθε χρονική στιγμή μαζί με την περίοδο τροχιάς που περιγράφεται από το σύνολο των παραμέτρων των ephemeris.

Τα ημερολόγια είναι κατά προσέγγιση τροχιακοί παράμετροι data για όλα τα SVs. Τα ημερολόγια δέκα παραμέτρων περιγράφουν τις τροχιές SV κατά τη διάρκεια εκτεταμένων

χρονικών περιόδων και ένα σύνολο για όλα τα SVs στέλνεται από το κάθε SV για μία περίοδο 12,5 λεπτών (τουλάχιστον). Ο χρόνος απόκτησης σημάτων στο ξεκίνημα λειτουργίας των δεκτών μπορεί να βοηθηθεί σημαντικά από τη διαθεσιμότητα των τρεχόντων ημερολογίων. Το κατά προσέγγιση τροχιακό data χρησιμοποιείται για να προετοιμάσει το δέκτη με την κατά προσέγγιση συχνότητα Doppler θέσης και φέρουσας (η μετατόπιση συχνότητας που προκαλείται από το ποσοστό αλλαγής του φάσματος στο κινούμενο SV) του κάθε SV στον αστερισμό.

Κάθε πλήρες σύνολο data του SV περιλαμβάνει ένα ιονοσφαιρικό πρότυπο που χρησιμοποιείται στο δέκτη για να προσεγγίσει την καθυστέρηση φάσης μέσω της ιονόσφαιρας σε οποιαδήποτε θέση και χρόνο.

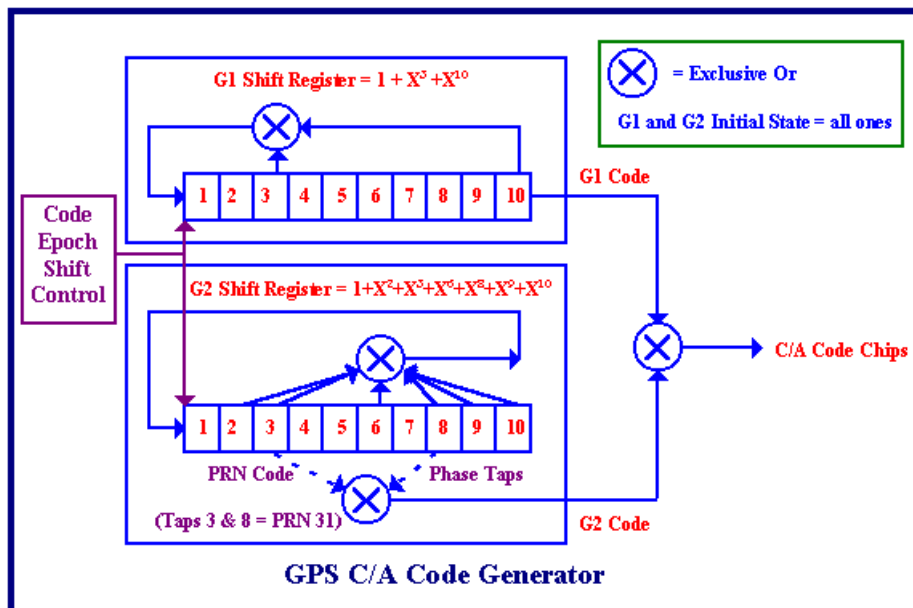
Κάθε SV στέλνει το ποσό στο οποίο ο χρόνος GPS αντισταθμίζεται από το UTC. Αυτή η διόρθωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί από το δέκτη για να θέσει UTC μέσα σε 100 ns.

## 1.6 Θέση και χρόνος από το GPS

### 1.6.1 Code Phase Tracking (Navigation)

Ο δέκτης GPS παράγει τα αντίγραφα του C/A και/ή του P(Y)-κώδικα. Κάθε PRN κώδικας είναι μία μοναδική σειρά απο bits.

Ο δέκτης παράγει την ακολουθία του κώδικα C/A για ένα συγκεκριμένο SV με κάποια μορφή μιας γεννήτριας C/A κώδικα. Οι σύγχρονοι δέκτες αποθηκεύουν συνήθως ένα πλήρες σύνολο προυπολογισμένων τσιπς κώδικα C/A στη μνήμη.



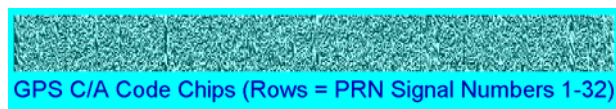
Η γεννήτρια C/A κώδικα παράγει μια διαφορετική ακολουθία 1023 chip για κάθε ρύθμιση φάσης. Σε μια εφαρμογή καταλόγων μετατόπισης τα τσιπ κώδικα μετατοπίζονται εγκαίρως

γυρίζοντας το ρολόι που ελέγχει τους καταλόγους μετατόπισης. Σε ένα σχέδιο lookup μνήμης τα απαραίτητα τσιπ κώδικα ανακτώνται από τη μνήμη.

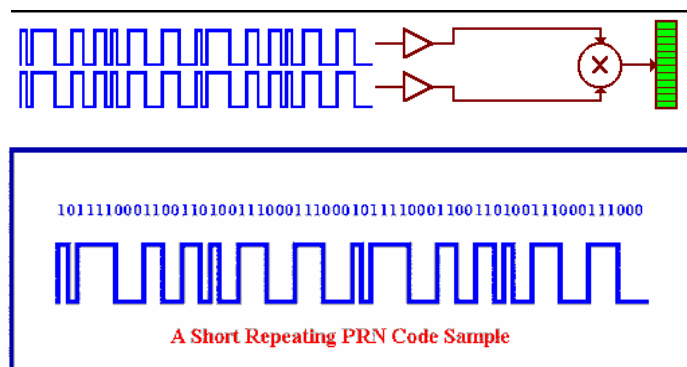
**GPS C/A Code Assignments**

SV PRN ID	G2 Phase Taps	First 10 Chips
1	2 & 6	1100100000
2	3 & 7	1110010000
3	4 & 8	1111001000
4	5 & 9	1111100100
5	1 & 9	1001011011
6	2 & 10	1100101101
7	1 & 8	1001011001
8	2 & 9	1100101100
9	3 & 10	1110010110
10	2 & 3	1101000100
11	3 & 4	1110100010
12	5 & 6	1111101000
13	6 & 7	1111110100
14	7 & 8	1111111010
15	8 & 9	1111111101
16	9 & 10	1111111110
17	1 & 4	1001101110
18	2 & 5	1100110111
19	3 & 6	1110011011
20	4 & 7	1111001101
21	5 & 8	1111100110
22	6 & 9	1111110011
23	1 & 3	1000110011
24	4 & 6	1111000110
25	5 & 7	1111100011
26	6 & 8	1111110001
27	7 & 9	1111111000
28	8 & 10	1111111100
29	1 & 6	1001010111
30	2 & 7	1100101011
31	3 & 8	1110010101
32	4 & 9	1111001010

Η γεννήτρια C/A κώδικα επαναλαμβάνει την ίδια ακολουθία 1023 chip PRN κώδικα κάθε χιλιοστό του δευτερολέπτου. Οι κώδικες PRN καθορίζονται για 32 δορυφορικούς αριθμούς αναγνώρισης.

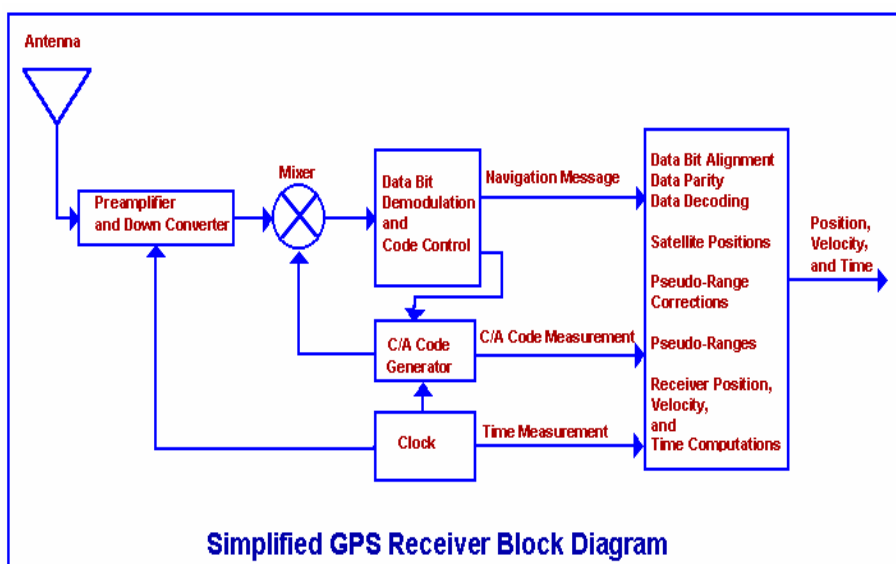


Ο δέκτης ολισθαίνει ένα αντίγραφο του C/A κώδικα εγκαίρως έως ότου υπάρχει συσχετισμός με το κώδικα του SV.



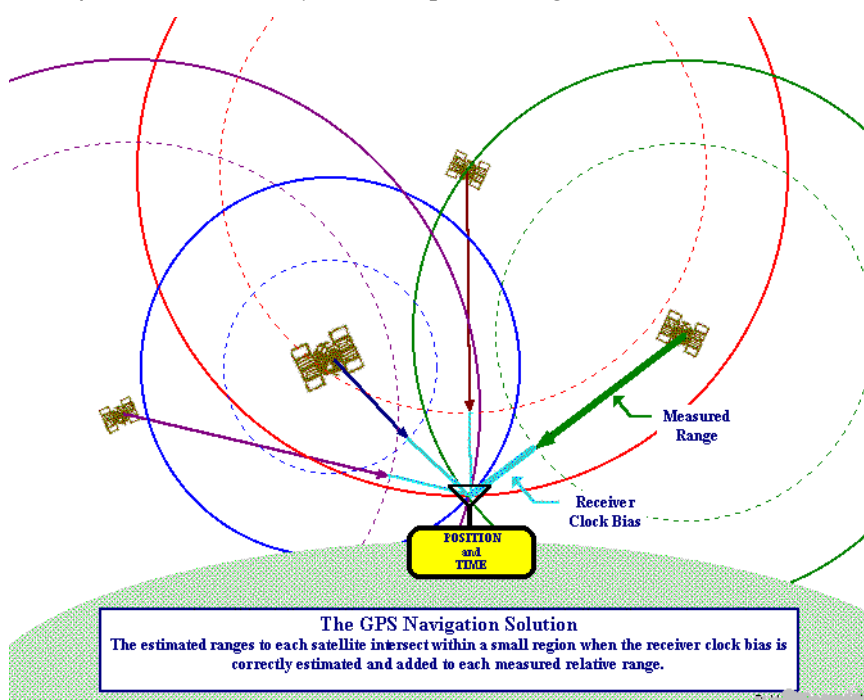
Εάν ο δέκτης εφαρμόζει έναν διαφορετικό κώδικα PRN σε ένα σήμα του SV δεν υπάρχει κανένας συσχετισμός.





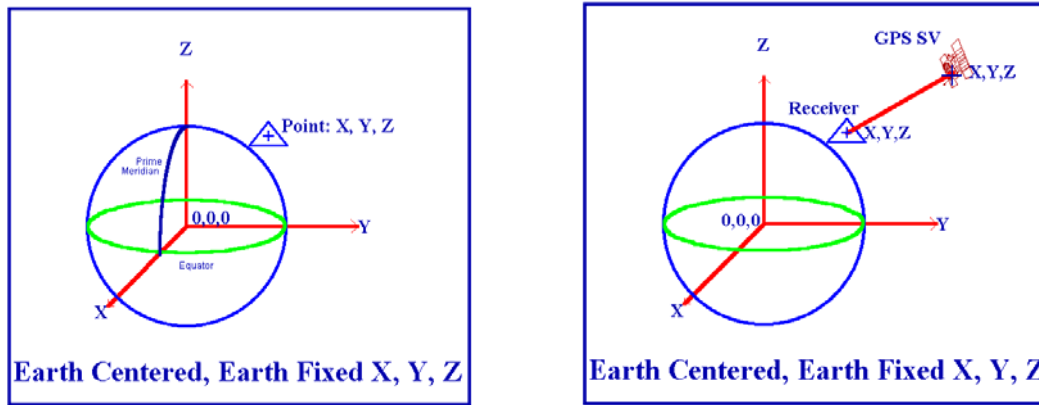
### 1.6.2 Pseudo-Range Navigation

Η θέση του δέκτη είναι εκεί όπου τέμνονται οι pseudorange από ένα σύνολο SVs.



Η θέση καθορίζεται από τις πολλαπλάσιες pseudorange μετρήσεις σε ένα ενιαίο χρόνο μέτρησης. Οι pseudorange μετρήσεις χρησιμοποιούνται μαζί με τις εκτιμήσεις θέσης του SV που είναι βασισμένες στα ephemeris data που στέλνονται από το κάθε SV. Αυτά τα τροχιακά data επιτρέπουν στο δέκτη να υπολογίσει τις θέσεις του SV σε τρεις διαστάσεις τη στιγμή την οποία έστειλαν τα αντίστοιχα σήματά τους.

Τέσσερις δορυφόροι (κανονική ναυσιπλοΐα) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να καθορίσουν τρεις διαστάσεις θέσης και τον χρόνο. Οι διαστάσεις θέσης υπολογίζονται από το δέκτη στις γέω-κεντροθετημένες, γέω-σταθερές X, Y, Z συντεταγμένες (ECEF XYZ).



Ο χρόνος χρησιμοποιείται για να διορθώσει το offset στο ρολόι των δεκτών, επιτρέποντας τη χρήση ενός ανέξοδου ρολογιού δεκτών.

Η θέση του SV σε XYZ υπολογίζεται από τέσσερις pseudorange του SV, τη διόρθωση ρολογιών και τα ephemeris data.

Η θέση δεκτών υπολογίζεται από τις θέσεις του SV, τις μετρημένες pseudorange (που διορθώνονται για τα offset των ρολογιών του SV, τις ιονοσφαιρικές καθυστερήσεις και τα σχετιστικά αποτελέσματα) και μια εκτίμηση της θέσης των δεκτών (συνήθως την τελευταία υπολογισμένη θέση δεκτών).

GPS Pseudorange Navigation Example -

Satellite (SV) coordinates in ECEF XYZ from Ephemeris Parameters and SV Time

$SVx_0 := 15524471.175$	$SVy_0 := -16649826.222$	$SVz_0 := 13512272.387$	SV 15
$SVx_1 := -2304058.534$	$SVy_1 := -23287906.465$	$SVz_1 := 11917038.105$	SV 27
$SVx_2 := 16680243.357$	$SVy_2 := -3069625.561$	$SVz_2 := 20378551.047$	SV 31
$SVx_3 := -14799931.395$	$SVy_3 := -21425358.24$	$SVz_3 := 6069947.224$	SV 7

Satellite Pseudoranges in meters (from C/A code epochs in milliseconds)

$P_0 := 89491.971$     $P_1 := 133930.500$     $P_2 := 283098.754$     $P_3 := 205961.742$  Range + Receiver Clock Bias

Receiver Position Estimate in ECEF XYZ

$R_x := -730000$     $R_y := -5440000$     $R_z := 3230000$

For Each of 4 SVs    $i := 0..3$

Ranges from Receiver Position Estimate to SVs (R) and Array of Observed - Predicted Ranges

$$R_i := \sqrt{(SVx_i - R_x)^2 + (SVy_i - R_y)^2 + (SVz_i - R_z)^2} \quad L_i := \text{mod}[(R_i), 299792.458] - P_i$$

Compute Directional Derivatives for XYZ and Time

$$Dx_i := \frac{SVx_i - R_x}{R_i} \quad Dy_i := \frac{SVy_i - R_y}{R_i} \quad Dz_i := \frac{SVz_i - R_z}{R_i} \quad Dt_i := -1$$

Solve for Correction to Receiver Position Estimate

$$A := \begin{bmatrix} Dx_0 & Dy_0 & Dz_0 & Dt_0 \\ Dx_1 & Dy_1 & Dz_1 & Dt_1 \\ Dx_2 & Dy_2 & Dz_2 & Dt_2 \\ Dx_3 & Dy_3 & Dz_3 & Dt_3 \end{bmatrix} \quad dR := (A^T \cdot A)^{-1} \cdot A^T \cdot L \quad dR = \begin{bmatrix} -3186.496 \\ -3791.932 \\ 1193.286 \\ 12345.997 \end{bmatrix}$$

Apply Corrections to Receiver XYZ and Compute Receiver Clock Bias Estimate

$R_x := R_x + dR_0$     $R_y := R_y + dR_1$     $R_z := R_z + dR_2$    Time :=  $dR_3$

$R_x = -733186.496$     $R_y = -5443791.932$     $R_z = 3231193.286$    Time = 12345.997

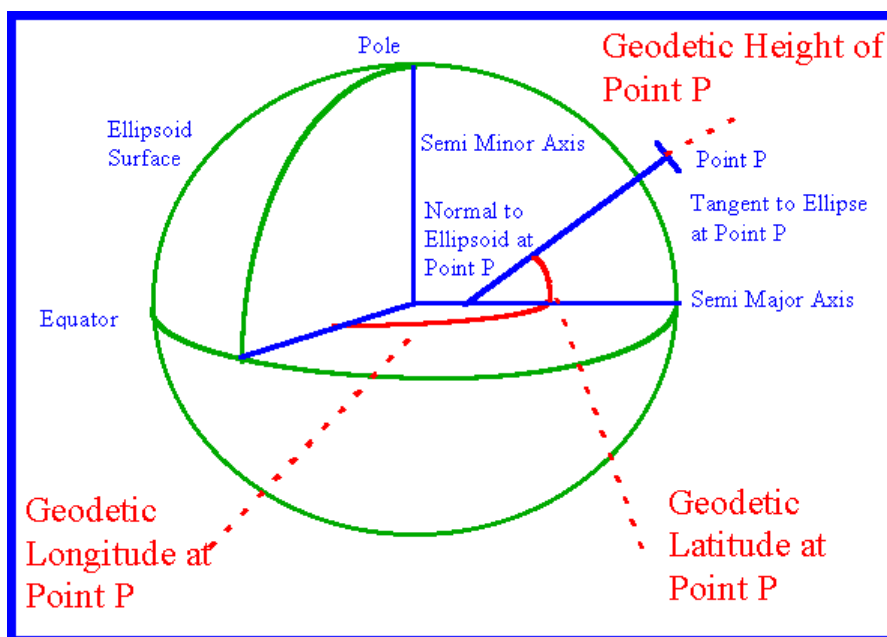
**Ephemeris Data Set Used in Pseudo-Range Navigation Example (GPS Time = 150000 seconds)**

Ephemeris Data Parameter	Value	Value	Value	Value
SV	15	27	31	7
Issue of Data Ephemeris	196	200	125	125
Cosine Correction to Inclination	-9.313225746E-08	1.136213541E-07	2.793967724E-08	-1.285225153E-07
Sine Correction to Inclination	-3.725290298E-09	-1.061707735E-07	9.126961231E-08	-1.322478056E-07
Cosine Correction to Radius	146.09375	148.84375	306.28125	322
Sine Correction to Radius	-69.9375	79.09375	-130.71875	-128.5
Cosine Correction to Latitude	-3.630295396E-06	4.122033715E-06	-6.921589375E-06	-6.720423698E-06
Sine Correction to Latitude	1.228414476E-05	1.15185976E-05	3.74391675E-06	2.983957529E-06
Mean Motion Difference	4.023024718E-09	4.513045129E-09	4.656622538E-09	4.650550857E-09
Eccentricity	0.006778693292	0.01127019501	0.005836840719	0.006999379606
Rate of Inclination Angle	1.817932867E-10	-5.928818388E-11	-5.418082828E-10	-4.207318109E-10
Orbital Inclination	0.9721164968	0.9459886628	0.9633626261	0.963950905
Mean Anomaly at Reference Time	-0.8856059028	0.1225249	-0.6775731485	3.019737078
Argument of Perigee	1.738558535	2.601538834	0.6715504011	-2.568758665
Rate of Right Ascension	-7.783538501E-09	-8.143553497E-09	-8.411421798E-09	-8.25355808E-09
Longitude of Ascending Node	-2.8654714	0.2200327977	2.320031302	2.317137898
Square Root of Semi-Major Axis	5153.618444	5153.653282	5153.789852	5153.644896
Reference Time Ephemeris	151200	151200	136800	151200

Πέντε ή περισσότεροι δορυφόροι μπορούν να παρέχουν τη θέση, το χρόνο και τον πλεονασμό. Περισσότερα SVs μπορούν να παρέχουν πρόσθετη βεβαιότητα αποτυπώσεων θέσης και μπορούν να επιτρέψουν την ανίχνευση των σημάτων out of tolerance υπό ορισμένες συνθήκες.

**1.6.3 Receiver Position, Velocity, and Time**

Η θέση XYZ μετατρέπεται μέσα στο δέκτη σε γεωδαιτικό γεωγραφικό πλάτος, γεωγραφικό μήκος και ύψος επάνω από τον ellipsoid.





## Coordinate Conversion: Cartesian (ECEF X, Y, Z) and Geodetic (Latitude, Longitude, and Height)

### Direct Solution for Latitude, Longitude, and Height from X, Y, Z

This conversion is not exact and provides centimeter accuracy for heights < 1,000 km

$$\phi = \text{atan}\left(\frac{Z + e'^2 b \sin^3 \theta}{p - e'^2 a \cos^3 \theta}\right)$$

$$\lambda = \text{atan2}(Y, X)$$

$$h = \frac{p}{\cos(\phi)} - N(\phi)$$

where:

$\phi, \lambda, h$  = geodetic latitude, longitude, and height above ellipsoid

$X, Y, Z$  = Earth Centered Earth Fixed Cartesian coordinates

and:

$$p = \sqrt{X^2 + Y^2} \quad \theta = \text{atan}\left(\frac{Za}{pb}\right) \quad e'^2 = \frac{a^2 - b^2}{b^2}$$

$$N(\phi) = a / \sqrt{1 - e'^2 \sin^2 \phi} = \text{radius of curvature in prime vertical}$$

$a$  = semi - major earth axis (ellipsoid equatorial radius)

$b$  = semi - minor earth axis (ellipsoid polar radius)

$$f = \frac{a - b}{a} = \text{flattening}$$

$$e'^2 = 2f - f^2 = \text{eccentricity squared}$$

## Coordinate Conversion Geodetic Latitude, Longitude, and Height to ECEF, X, Y, Z

$$X = (N + h) \cos \phi \cos \lambda$$

$$Y = (N + h) \cos \phi \sin \lambda$$

$$Z = [N(1 - e'^2) + h] \sin \phi$$

where:

$\phi, \lambda, h$  = geodetic latitude, longitude, and height above ellipsoid

$X, Y, Z$  = Earth Centered Earth Fixed Cartesian Coordinates

and:

$$N(\phi) = a / \sqrt{1 - e'^2 \sin^2 \phi} = \text{radius of curvature in prime vertical}$$

$a$  = semi - major earth axis (ellipsoid equatorial radius)

$b$  = semi - minor earth axis (ellipsoid polar radius)

$$f = \frac{a - b}{a} = \text{flattening}$$

$$e'^2 = 2f - f^2 = \text{eccentricity squared}$$

Το γεωγραφικό πλάτος και το γεωγραφικό μήκος παρέχονται συνήθως στο γεωδαιτικό στοιχείο (datum) στο οποίο είναι βασισμένο το GPS (WGS- 84). Offset θέσης εκατοντάδων μέτρων μπορούν να προκύψουν από τη χρησιμοποίηση ενός λανθασμένου στοιχείου (datum).

Η ταχύτητα υπολογίζεται από την αλλαγή στη θέση κατά τη διάρκεια του χρόνου, των συχνοτήτων του SV Doppler, ή και των δύο.

Ο χρόνος υπολογίζεται με βάση τον χρόνο SV, τον χρόνο GPS, και τον χρόνο UTC.

Ο χρόνος του SV είναι ο χρόνος που διατηρείται από κάθε δορυφόρο. Το κάθε SV περιέχει τέσσερα ατομικά ρολόγια (δύο καισίου και δύο ρουβιδίου). Τα ρολόγια του SV ελέγχονται από τους σταθμούς επίγειου ελέγχου και επαναρυθμίζονται περιστασιακά για να διατηρήσουν το χρόνο μέσα σε ένα χιλιοστό του δευτερολέπτου από το χρόνο του GPS. Τα data bits των διορθώσεων των ρολογιών απεικονίζουν το offset του κάθε SV από το χρόνο GPS.

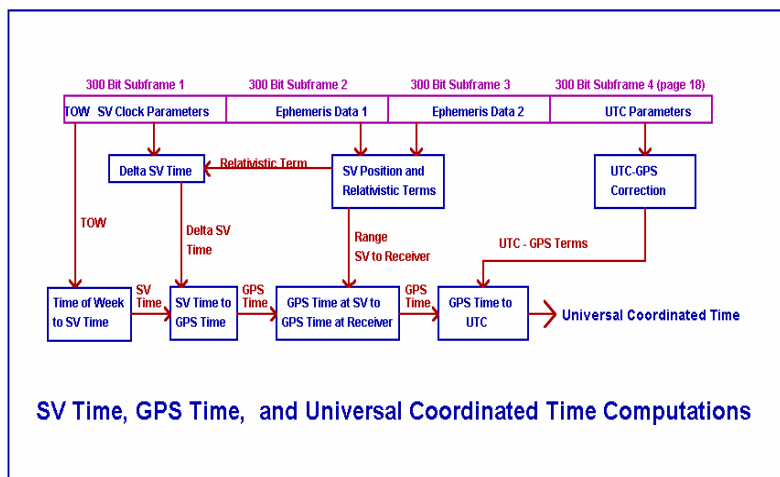
Ο χρόνος του SV ρυθμίζεται στο δέκτη από τα σήματα GPS. Τα subframes των data bits εμφανίζονται κάθε έξι δευτερόλεπτα και περιέχουν τα bits που επιλύουν το «χρόνο της εβδομάδας» (Time of the Week) μέσα σε 6 sec. Ο χρόνος του SV μετατρέπεται σε χρόνο GPS μέσα στο δέκτη. Ο χρόνος GPS είναι ένα σύνολο "paper clock" του κύριου ρολογιού ελέγχου (Master Control Clock) και των ρολογιών του SV. Ο χρόνος μετριέται σε εβδομάδες και δευτερόλεπτα από 24:00:00 της 5ης Ιανουαρίου 1980. Ο χρόνος GPS δεν χάνει κανένα δευτερόλεπτο και είναι μπροστά από το UTC μέχρι αρκετά δευτερόλεπτα.

Ο UTC υπολογίζεται από το χρόνο GPS χρησιμοποιώντας τις παραμέτρους διορθώσεων του UTC, που στέλνονται ως τμήμα των data bits ναυσιπλοΐας. Στη μετάβαση από τις 23:59:59 UTC στις 31 Δεκεμβρίου 1998 στις 00:00:00 UTC την 1η Ιανουαρίου 1999, το UTC καθυστέρησε 1 sec σε σχέση με τον χρόνο GPS.

**SV 8: SUBFRAME 1**

WORD	BITS	#1-8	#9-16	#17-24	#25-30
1	1-30	10001011	11000000	00111111	101000
2	31-60	00110101	10110001	10000100	110000
3	61-90	00111010	01010011	00000000	011000
4	91-120	01011000	01001101	11111100	010101
5	121-150	11011010	10110101	10100010	000101
6	151-180	00001111	10001111	01101010	010100
7	181-210	00111010	00111000	11111101	001001
8	211-240	00101001	00101001	01001111	010100
9	241-270	00000000	00000001	10110000	011101
10	271-300	01010010	10100111	01110000	0011001

**PREAMBLE: 10001011**  
**TIME OF WEEK: 00110101 10110001 1 = 27491 subframes = 164946 seconds = 1 day, 21 hours 49 minutes, 06 seconds = SV time at end of bit 300 (T)**  
**toc: 00101001 01001111 = 169200**  
**af2: 00000000 = 0.0**  
**af1: 00000001 10110000 = 4.91127138959 E-11**  
**af0: 01010010 10100111 011100 = 6.30600377919E-04**  
**(Δt<sub>r</sub> = relativistic correction)**  
**ΔTsv = af0 + af1 (t-toc) + af2(t-toc)<sup>2</sup> + Δt<sub>r</sub> = 630.392 microseconds + Δt<sub>r</sub>**



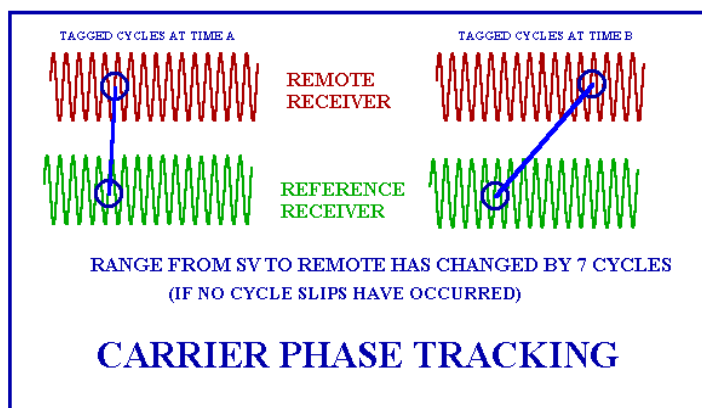
### **1.6.4 Carrier Phase Tracking (Surveying)**

Το Tracking της φάσης φέροντος των σημάτων GPS έχει οδηγήσει σε μια επανάσταση στην έρευνα του εδάφους. Οι θέσεις μπορούν να μετρηθούν μέχρι 30 χλμ από το σημείο αναφοράς χωρίς ενδιάμεσα σημεία. Αυτή η χρήση του GPS απαιτεί ειδικά εξοπλισμένους δέκτες .

Τα L1 ή/και L2 φέροντα σήματα χρησιμοποιούνται στην έρευνα της φάσης φέροντος. Οι L1 κύκλοι φέροντος έχουν μήκος κύματος 19 cm.

Το tracking της φάσης φέροντος των σημάτων δεν παρέχουν καμία χρονική πληροφορία μετάδοσης. Τα φέροντα σήματα, ενώ διαμορφώνονται με χρονικούς tagged δυαδικούς κώδικες, δεν φέρνουν καμία χρόνο-ετικέτα που να διακρίνει τον ένα κύκλο από τον άλλο. Οι μετρήσεις που χρησιμοποιούνται στο tracking της φάσης φέροντος είναι διαφορετικές στους κύκλους φάσης φέροντος και στα μέρη των κύκλων κατά τη διάρκεια του χρόνου. Τουλάχιστον 2 δέκτες ανίχνευσης φέροντος σήματος στον ίδιο χρόνο. Οι ιονοσφαιρικές διαφορές καθυστέρησης στους δύο δέκτες πρέπει να είναι αρκετά μικρές ώστε να εξασφαλίσουν ότι οι κύκλοι φάσης φέροντος ερμηνεύονται κατάλληλα. Αυτό συνήθως απαιτεί ότι οι δύο δέκτες απέχουν το πολύ 30 χλμ ο ένας από τον άλλον.

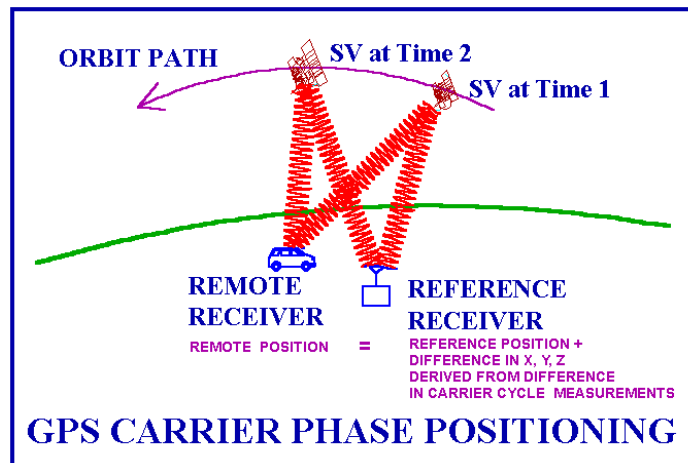
Η φάση φέροντος ανιχνεύεται και στους δύο δέκτες και οι αλλαγές στην ανιχνευμένη φάση καταγράφονται κατά τη διάρκεια του χρόνου και στους δύο δέκτες.



Όλο το tracking φάσης φέροντος είναι διαφορετικό, απαιτώντας και αναφορά και μακρινούς δέκτες ανίχνευσης φάσης φέροντος συγχρόνως.

Οι μακρινοί δέκτες πρέπει να είναι αρκετά κοντά για να εξασφαλίζουν ότι η διαφορά της ιονοσφαιρικής καθυστέρησης είναι μικρότερη από το μήκος κύματος ενός φέροντος, εκτός αν η αναφορά και οι μακρινοί δέκτες χρησιμοποιούν L1-L2 διαφορές για να μετρούν την ιονοσφαιρική καθυστέρηση. Χρησιμοποιώντας τις ιονοσφαιρικές μετρήσεις L1-L2 και μακροχρόνιες κατά μέσο όρο περιόδους μέτρησης, οι σχετικές θέσεις των σταθερών περιοχών μπορούν να καθοριστούν πέρα από εκατοντάδες χιλιόμετρα.

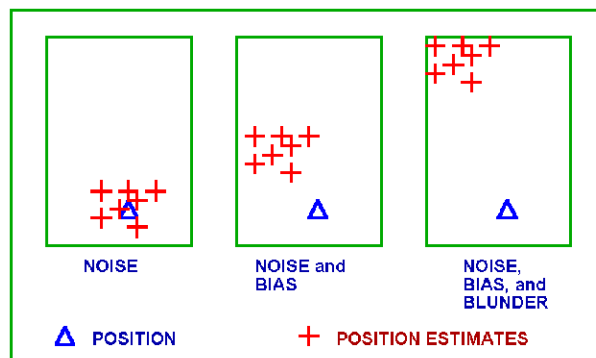
Οι αλλαγές της διαφοράς φάσης στους δύο δέκτες μειώνονται χρησιμοποιώντας λογισμικό στις διαφορές θέσεων τριών διαστάσεων μεταξύ του σταθμού αναφοράς και του μακρινού δέκτη. Δύο δέκτες και ένα SV κατά τη διάρκεια του χρόνου οδηγούν σε ενιαίες διαφορές.



Δύο δέκτες και δύο SVs κατά τη διάρκεια του χρόνου παρέχουν διπλές διαφορές.

### 1.7 Πηγές μείωσης της ακρίβειας: Τα προβλήματα

Τα λάθη του GPS είναι ένας συνδυασμός θορύβου, απόκλισης και σφαλμάτων (noise, bias, blunders).



Τα λάθη θορύβου είναι η συνδυασμένη επίδραση του θορύβου PRN (περίπου 1 μέτρο) και του θορύβου του δέκτη (περίπου 1 μέτρο).

Τα λάθη απόκλισης προκύπτουν από την εκλεκτική διαθεσιμότητα (SA) και από άλλους παράγοντες.

Στους δορυφόρους, το ηλεκτρονικό σήμα μεταδίδεται με την ταχύτητα του φωτός. Άρα τα σφάλματα στο ρολόι των δορυφόρων και στο ρολόι των δεκτών επιδρούν καταλυτικά στον υπολογισμό των αποστάσεων.

#### 1.7.1 Το χρονόμετρο των δορυφόρων

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-

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.

Ακόμα και με τις προσπάθειες των σταθμών ελέγχου της παρακολούθησης 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 το οποίο προκαλεί σφάλμα στην υπολογιζόμενη απόσταση κατά 1 μέτρο.

### **1.7.2 Το χρονόμετρο 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 δολάρια και απαιτούν εκτεταμένη φροντίδα στον έλεγχο της θερμοκρασίας.

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 για να υπολογίσουμε την τιμή του. Παραπάνω, είχαμε αναφέρει ότι 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 nsec 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 η ακρίβεια που παρέχεται.

### **1.7.3 Τροχιακά σφάλματα δορυφόρων**

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η ακρίβεια της προσδιορισμένης θέσης εξαρτάται και από την ακρίβεια με την οποία γνωρίζουμε την θέση του κάθε δορυφόρου. Οι τροχιές των δορυφόρων παρακολουθούνται συνεχώς από επίγειους σταθμούς ελέγχου ανά τον κόσμο και η προβλεπόμενη τροχιακή πληροφορία εκπέμπεται στους δορυφόρους που με την σειρά τους την εκπέμπουν στους δέκτες GPS. Η ιστορία του GPS έχει δείξει έως τώρα ότι η ακρίβεια της προβλεπόμενης τροχιακής πληροφορίας είναι της τάξεως μερικών μέτρων. Αυτό δημιουργεί μερικά μέτρα λάθους στον υπολογισμό της θέσης του δέκτη.

### **1.7.4 Σφάλματα που υπεισέρχονται από την ατμόσφαιρα: Ιονόσφαιρα - τροπόσφαιρα**

#### **Ιονόσφαιρα**

Υπολογίζοντας τις αποστάσεις από τους δορυφόρους, υπολογίζουμε αρχικά το χρόνο που χρειάζεται το σήμα για να έρθει στον δέκτη και μετά πολλαπλασιάζουμε με την ταχύτητα του φωτός. Το πρόβλημα είναι ότι η ταχύτητα του φωτός διαφέρει λόγω ατμοσφαιρικών συνθηκών. Το πάνω μέρος της ατμόσφαιρας, η ιονόσφαιρα, περιέχει φορτισμένα ιόντα τα οποία ενώ εισάγουν καθυστέρηση στην μετάδοση του κώδικα, επιταχύνουν την μετάδοση του φέροντος κύματος. Το μέγεθος της επίδρασης της ιονόσφαιρας είναι μεγαλύτερο κατά την διάρκεια της ημέρας από ότι το βράδυ. Το μέγεθος της επίδρασης επίσης έχει μια κυκλική περίοδο 11 χρόνων κατά την οποία παρουσιάζει maximum και minimum τιμή. Για τον κύκλο που διανύουμε η ιονόσφαιρα θα παρουσιάσει το μεγαλύτερο μέγεθος επίδρασης το 1998 και το μικρότερο το τρέχον έτος. Ο κύκλος μετά θα επαναληφθεί. Οι επιδράσεις της ιονόσφαιρας, αν δεν εξαλειφθούν, επιφέρουν σφάλματα στις μετρήσεις των αποστάσεων έως και 10 μέτρα. Μερικοί δέκτες χρησιμοποιούν ένα μαθηματικό μοντέλο για τις επιδράσεις της ιονόσφαιρας.

Με την κατά προσέγγιση γνώση της πυκνότητας των φορτισμένων ιόντων, η επίδραση της ιονόσφαιρας μπορεί να ελαττωθεί κατά 50%. Τα εναπομείναντα σφάλματα είναι όμως ακόμα σημαντικά.

Η επίδραση της ιονόσφαιρας στα ηλεκτρονικά σήματα εξαρτάται από την συχνότητα του σήματος. Όσο μεγαλύτερη είναι η συχνότητα, τόσο μικρότερη είναι η επίδραση. Αν εκπέμψουμε ταυτόχρονα δύο σήματα διαφορετικών συχνοτήτων η καθυστέρηση στην μετάδοση του σήματος στην μια συχνότητα θα είναι για παράδειγμα 5 m ενώ στην άλλη θα είναι 6 m. Δεν μπορούμε να υπολογίσουμε το απόλυτο μέγεθος της επίδρασης σε κάθε συχνότητα, αλλά μπορούμε να υπολογίσουμε την διαφορά υπολογίζοντας την διαφορά στον χρόνο λήψης των δύο σημάτων που στην περίπτωση αυτή είναι 1 m. Με αυτό τον τρόπο και χρησιμοποιώντας γνωστούς τύπους εξαρτημένων συχνοτήτων ιονοσφαιρικής καθυστέρησης, μπορούμε να εξαλείψουμε την επίδραση της ιονόσφαιρας στις μετρήσεις μας χρησιμοποιώντας δέκτες δύο συχνοτήτων.

### **Τροπόσφαιρα**

Το κατώτερο στρώμα της ατμόσφαιρας, το οποίο περιέχει υδρατμούς ονομάζεται τροπόσφαιρα. Η επίδραση της είναι η καθυστέρηση στην μετάδοση και του κώδικα, και του φέροντος κύματος. Οι επιδράσεις της τροπόσφαιρας δεν μπορούν να εξαλειφθούν ούτε με την χρήση δεκτών δύο συχνοτήτων. Ο μόνος τρόπος για να εξαλειφθούν αυτά τα σφάλματα είναι με μετρήσεις της υγρασίας, της θερμοκρασίας και της ατμοσφαιρικής πίεσης και της εφαρμογής αυτών σε μαθηματικό μοντέλο το οποίο θα υπολογίσει την καθυστέρηση της τροπόσφαιρας.

### **1.7.5 Σφάλμα πολλαπλών διαδρομών (multipath)**

Όταν μετράμε την απόσταση από ένα δορυφόρο, υποθέτουμε ότι το σήμα έρχεται κατευθείαν από τον δορυφόρο στην κεραία του δέκτη. Εκτός όμως από το απευθείας σήμα, υπάρχουν και ανακλώμενα σήματα από το έδαφος ή από αντικείμενα κοντά στην κεραία, τα οποία λαμβάνονται από την κεραία και επιδρούν με το απευθείας σήμα. Το σύνθετο σήμα δημιουργεί μια αβεβαιότητα για τον αληθή χρόνο λήψης του σήματος, με τον ίδιο τρόπο με τον οποίο η ηχώ δημιουργεί μια αβεβαιότητα για τον ακριβή χρόνο τον οποίο μεταδόθηκε - παράχθηκε κάποιος ήχος. Αν το από ανάκλαση σήμα είναι σημαντικά μεγαλύτερο από το απευθείας σήμα (περισσότερο από 10 m) ώστε τα δύο σήματα να μπορούν να διαχωριστούν, τότε το σφάλμα πολλαπλών διαδρομών (multipath) μπορεί να ελαττωθεί με κατάλληλες τεχνικές επεξεργασίας σημάτων. Επομένως το multipath είναι δυνατό να ανιχνευθεί και κάποιες φορές να αποφευχθεί.

### **1.7.6 Σφάλματα δεκτών**

Οι δέκτες μπορούν να εισάγουν κάποια σφάλματα όταν μετράνε τον κώδικα ή την φάση του φέροντος κύματος. Σε δέκτες υψηλής ποιότητας, αυτά τα σφάλματα είναι ασήμαντα (λιγότερο

από 1 mm) για τη μέτρηση της φάσης του φέροντος κύματος και μερικά cm για τον κώδικα του φέροντος κύματος.

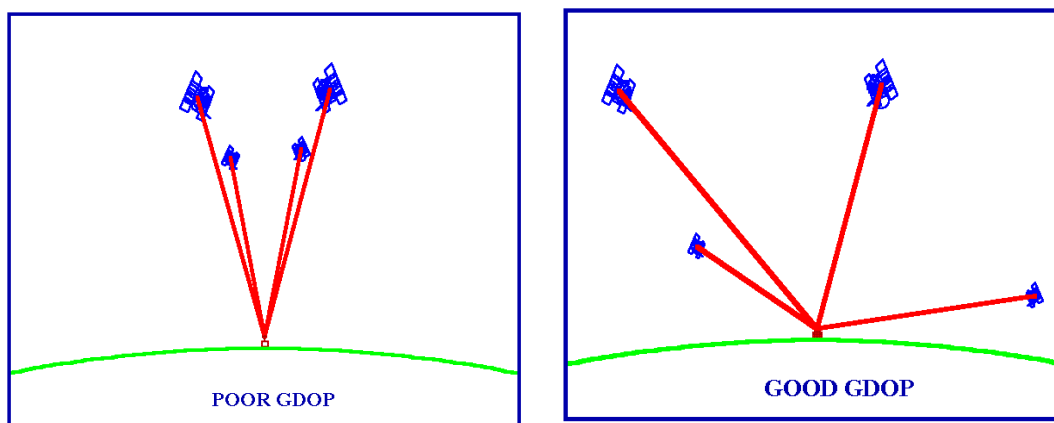
### **1.7.7 GDOP (Geometric Dilution Of Precision)**

Στις προηγούμενες παραγράφους αναφερθήκαμε στα σφάλματα τα οποία υπεισέρχονται στις μετρήσεις των αποστάσεων από τους δορυφόρους τα οποία ονομάζονται range errors. Η ερώτηση που τίθεται τώρα είναι ποια είναι η σχέση μεταξύ αυτών των σφαλμάτων και του σφάλματος στον υπολογισμό της θέσης. Με άλλα λόγια πόσα μέτρα σφάλματος εισάγεται στον υπολογισμό της θέσης για κάθε μέτρο σφάλματος στον υπολογισμό της απόστασης δορυφόρου-δέκτη.

Η απάντηση είναι ότι εξαρτάται από τον αριθμό των δορυφόρων που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της θέσης και από την γεωμετρία τους στον ορίζοντα. Για παράδειγμα αν τέσσερις δορυφόροι είναι συγκεντρωμένοι σε κάποιο σημείο του ορίζοντα, τότε ένα μέτρο σφάλματος στον υπολογισμό των αποστάσεων προς αυτούς είναι πιθανό να εισάγει δεκάδες ή εκατοντάδες μέτρα σφάλματος στον υπολογισμό της θέσης. Αν όμως αρκετοί δορυφόροι είναι διασκορπισμένοι στον ορίζοντα τότε το σφάλμα στον υπολογισμό της θέσης είναι πιθανό να είναι μικρότερο από 1.5m για κάθε μέτρο σφάλματος στον υπολογισμό των αποστάσεων προς τους δορυφόρους. Η επίδραση της γεωμετρίας των δορυφόρων στο σφάλμα υπολογισμού της θέσης ονομάζεται GDOP και μπορεί χονδρικά να ερμηνευτεί ως ο λόγος του σφάλματος υπολογισμού της θέσης με το σφάλμα υπολογισμού των αποστάσεων προς τους δορυφόρους.

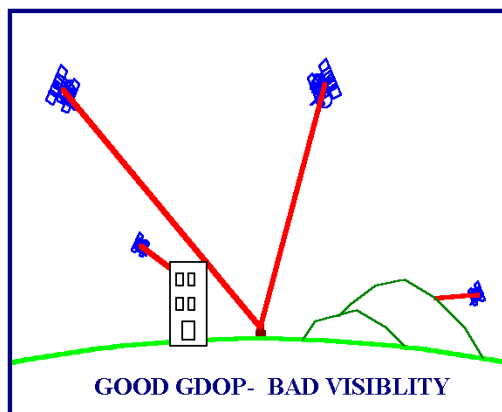
Στις εικόνες που ακολουθούν φανταστείτε ένα τετράεδρο το οποίο σχηματίζεται από τις γραμμές που συνδέουν τον δέκτη-κεραία GPS, με τους δορυφόρους. Όσο μεγαλύτερος είναι ο όγκος αυτού του τετραέδρου τόσο μικρότερο (καλύτερο) είναι το GDOP. Στις περισσότερες περιπτώσεις όσους περισσότερους δορυφόρους λαμβάνουμε τόσο καλύτερο είναι το GDOP. Με άλλα λόγια:

- Φτωχό GDOP: όταν οι γωνίες από το δέκτη σε σχέση με τα SVs είναι παρόμοιες.
- Καλό GDOP: όταν οι γωνίες από το δέκτη σε σχέση με τα SVs είναι διαφορετικές.





Το GDOP, όπως είπαμε, υπολογίζεται από τις γεωμετρικές σχέσεις μεταξύ της θέσης του δέκτη και των θέσεων των δορυφόρων, που ο δέκτης χρησιμοποιεί για τη ναυσιπλοΐα. Για λόγους προγραμματισμού το GDOP υπολογίζεται συχνά από τα almanacs και απο μια κατ' εκτίμηση θέση. Κατ' εκτίμηση το GDOP δεν λαμβάνει υπόψη τα εμπόδια που εμποδίζουν την οπτική επαφή μεταξύ του δέκτη και των δορυφόρων.



Οι όροι του GDOP υπολογίζονται συνήθως χρησιμοποιώντας τις παραμέτρους από τη διαδικασία λύσης ναυσιπλοΐας.

Γενικά, τα κυμαινόμενα λάθη από τα σήματα του SV πολλαπλασιάζονται με τον κατάλληλο όρο GDOP για να υπολογίσουν το προκύπτον λάθος θέσης ή χρόνου. Οι διάφοροι όροι GDOP μπορούν να υπολογιστούν από την μήτρα συνδιακύμανσης ναυσιπλοΐας. Οι όροι ECEF XYZ DOP μπορούν να περιστραφούν σε ένα NED (North East Down) σύστημα για να παραγάγουν τοπικούς οριζόντιους και κάθετους όρους DOP.

Συστατικά GDOP:

- PDOP = Position Dilution of Precision, μερικές φορές το σφαιρικό DOP.
- HDOP = Horizontal Dilution of Precision (γεωγραφικό πλάτος, γεωγραφικό μήκος).
- VDOP = Vertical Dilution of Precision (ύψος).
- TDOP = Time Dilution of Precision (χρόνος).

Αν και κάθε ένας από αυτούς τους όρους GDOP μπορεί να υπολογιστεί χωριστά παρόλα αυτά διαμορφώνονται από τις συνδιακυμάνσεις και έτσι δεν είναι ανεξάρτητοι ο ένας από τον άλλον. Ένα υψηλό TDOP, παραδείγματος χάριν, θα προκαλέσει λάθη των ρολογιών των δεκτών κάτι που θα οδηγήσει τελικά σε αυξανόμενο λάθος θέσης.

### **1.7.8 Επιλεκτική διαθεσιμότητα (Selective Availability)**

Όλα τα σφάλματα τα οποία αναφέραμε στα προηγούμενα κεφάλαια επιφέρουν σφάλμα 10 m στον υπολογισμό των αποστάσεων προς τους δορυφόρους, το οποίο με τυπικό GDOP περίπου 2 επιφέρει σφάλμα στον υπολογισμό της θέσης της τάξης των 20 m περίπου.

Το Αμερικάνικο Υπουργείο Αμύνης καθόρισε ότι παρέχοντας αυτής της τάξης την ακρίβεια στο κοινό, είναι εναντίον των συμφερόντων των ΗΠΑ. Για αυτό το λόγο το Υπουργείο εισήγαγε

«εσκεμμένο» συστηματικό σφάλμα το οποίο υποβαθμίζει την ακρίβεια εντοπισμού θέσης στα 100 m. Αυτή η υποβάθμιση της ακρίβειας του συστήματος ονομάζεται “επιλεκτική διαθεσιμότητα (SA)” και εφαρμόζεται παραποιώντας τα χρονόμετρα των δορυφόρων και μεταδίδοντας ανακριβή τροχιακή πληροφορία. Οι στρατιωτικοί δέκτες είναι εξοπλισμένοι με ειδικό “hardware” το οποίο εξαλείφει την επίδραση της επιλεκτικής διαθεσιμότητας. Η επιλεκτική διαθεσιμότητα μπορεί να τεθεί On ή Off από τους επίγειους σταθμούς ελέγχου του GPS.

GPS GDOP Example -

Satellite (SV) coordinates in ECEF XYZ from Ephemeris Parameters and SV Time

SVx <sub>0</sub> := 15524471.175	SVy <sub>0</sub> := -16649826.222	SVz <sub>0</sub> := 13512272.387	SV 15
SVx <sub>1</sub> := -2304058.534	SVy <sub>1</sub> := -23287906.465	SVz <sub>1</sub> := 11917038.105	SV 27
SVx <sub>2</sub> := 16680243.357	SVy <sub>2</sub> := -3069625.561	SVz <sub>2</sub> := 20378551.047	SV 31
SVx <sub>3</sub> := -14799931.395	SVy <sub>3</sub> := -21425358.24	SVz <sub>3</sub> := 6069947.224	SV 7

Receiver Position Estimate in ECEF XYZ

Rx := -730000	Ry := -5440000	Rz := 3230000
---------------	----------------	---------------

For Each of 4 SVs i := 0..3

Ranges from Receiver Position Estimate to SVs (R<sub>i</sub>) and Array of Observed - Predicted Ranges

$$R_i := \sqrt{(SVx_i - Rx)^2 + (SVy_i - Ry)^2 + (SVz_i - Rz)^2}$$

Compute Directional Derivatives for XYZ and Time

$$Dx_i := \frac{SVx_i - Rx}{R_i} \quad Dy_i := \frac{SVy_i - Ry}{R_i} \quad Dz_i := \frac{SVz_i - Rz}{R_i} \quad Dt_i := -1$$

Solve for Correction to Receiver Position Estimate

$$A := \begin{bmatrix} Dx_0 & Dy_0 & Dz_0 & Dt_0 \\ Dx_1 & Dy_1 & Dz_1 & Dt_1 \\ Dx_2 & Dy_2 & Dz_2 & Dt_2 \\ Dx_3 & Dy_3 & Dz_3 & Dt_3 \end{bmatrix} \quad P := (A^T \cdot A)^{-1}$$

Compute Geometric Dilution of Precision (GDOP) terms:

$$GDOP := \sqrt{P_{0,0} + P_{1,1} + P_{2,2} + P_{3,3}} \quad GDOP = 6.806$$

$$PDOP := \sqrt{P_{0,0} + P_{1,1} + P_{2,2}} \quad PDOP = 6.171$$

$$TDOP := \sqrt{P_{3,3}} \quad TDOP = 2.871$$

Από την 1η Μαΐου 2000, το Υπουργείο Αμύνης της Αμερικής έθεσε σε κατάσταση Off την Επιλεκτική Διαθεσιμότητα, με ανακοίνωση του εκπροσώπου Τύπου των Η.Π.Α. Σαν αποτέλεσμα αυτού η ακρίβεια εντοπισμού που παρέχει το σύστημα GPS είναι και πάλι 20 m περίπου.

Η SA είναι η σκόπιμη υποβάθμιση των σημάτων SPS μέχρι ένα χρόνο κυμαινόμενης απόκλισης. Η SA ελέγχεται από την DOD για να περιορίσει την ακρίβεια για μη στρατιωτικούς και κυβερνητικούς χρήστες. Η πιθανή ακρίβεια του κώδικα C/A που είναι περίπου 30 m μειώνεται σε 100 m.

Η απόκλιση SA για κάθε δορυφορικό σήμα είναι διαφορετική, και έτσι η προκύπτουσα λύση θέσης είναι μια λειτουργία της συνδιασμένης SA απόκλισης από το κάθε SV που χρησιμοποιείται στη λύση ναυσιπλοΐας. Επειδή η SA είναι μια μεταβαλλόμενη απόκλιση με όρους χαμηλής συχνότητας παραπάνω από μερικές ώρες, οι λύσεις θέσης ή οι μεμονωμένες pseudoranges του SV δεν μπορούν να υπολογιστούν αποτελεσματικά κατά μέσο όρο κατά τη διάρκεια χρονικών περιόδων μικρότερων από μερικές ώρες. Οι διαφορικές διορθώσεις πρέπει να ενημερώνονται με ένα ρυθμό μικρότερο από το χρόνο συσχετισμού της SA (και άλλων λαθών απόκλισης).

Στο GLONASS δεν έχει εισαχθεί σφάλμα επιλεκτικής διαθεσιμότητας και γι' αυτό τον λόγο το σφάλμα εντοπισμού της θέσης ήταν καλύτερο από του GPS αφού είναι της τάξης των 20 m μόνο.

## 1.8 Πηγές μείωσης της ακρίβειας: Λύσεις

Η ακρίβεια εντοπισμού των 100m (SA On) αλλά ακόμα και εκείνη των 20m (SA Off) είναι αρκετή για πολλές από τις πολιτικές εφαρμογές. Σχεδόν με την εμφάνιση του GPS, άρχισαν να αναπτύσσονται διάφορες τεχνικές μείωσης των σφαλμάτων και βελτίωσης της παρεχόμενης ακρίβειας, ακόμη και υπό την παρουσία της επιλεκτικής διαθεσιμότητας (SA On) αλλά και της μη εξαπάτησης (AS).

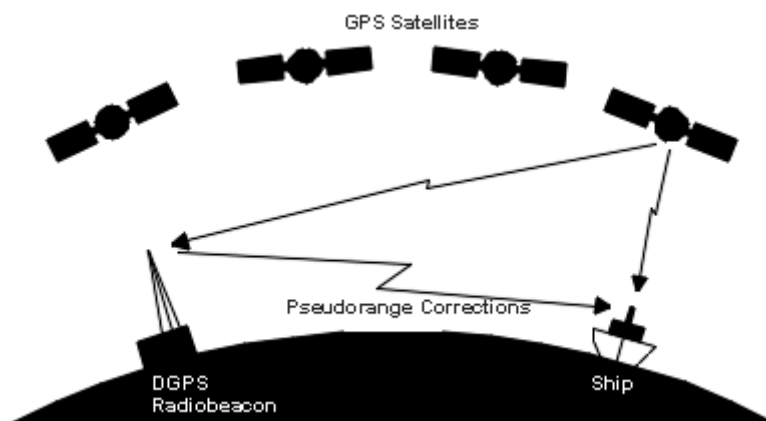
### 1.8.1 DGPS (Differential GPS)

Το διαφορικό GPS είναι μια μέθοδος παροχής διαφορικών διορθώσεων σε έναν δέκτη GPS, προκειμένου να βελτιωθεί η ακρίβεια της ναυσιπλοΐας. Οι διορθώσεις DGPS προέρχονται από έναν σταθμό αναφοράς σε μια γνωστή θέση. Οι δέκτες σε αυτούς τους σταθμούς αναφοράς μπορούν να υπολογίσουν τα λάθη του GPS επειδή, αντίθετα από το σύνολο των δεκτών GPS, έχουν μια ακριβή γνώση της θέσης τους. Ως αποτέλεσμα της εφαρμογής των διορθώσεων DGPS, η οριζόντια ακρίβεια του συστήματος μπορεί να βελτιωθεί από 100m (95% του χρόνου) σε απόσταση μικρότερη από 10m (95% του χρόνου).

Το πιο σημαντικό είναι ότι οι σταθμοί αναφοράς παρέχουν έλεγχο ακεραιότητας, προειδοποιώντας τους χρήστες να μην λάβουν υπόψη έναν δορυφόρο που λειτουργεί έξω από τις προδιαγραφές του συστήματος. Με το DGPS, αυτή η προειδοποίηση συμβαίνει μέσα σε μερικά δευτερόλεπτα από τη στιγμή που ο δορυφόρος αρχίζει να παρουσιάζει προβλήματα στη λειτουργία του, έναντι του GPS όπου χρειάζονται μερικές ώρες μέχρι να σταλεί το μήνυμα.

Η πιο κοινή μορφή του DGPS που χρησιμοποιείται διεθνώς για τη θαλάσσια ναυσιπλοΐα λειτουργεί στη MF Radiobeacon ζώνη (285-325 kHz) και προσαρμόζεται στα συνιστώμενα

RTCM πρότυπα για τη διαφορική πανstar υπηρεσία GPS για τη διαβίβαση στοιχείων. Αυτή η μορφή του DGPS χρησιμοποιεί τις pseudorange διορθώσεις και τις range-rate διορθώσεις από έναν ενιαίο σταθμό αναφοράς που έχει αρκετά κανάλια (χαρακτηριστικά 12) για να ακολουθήσουν όλους τους ορατούς δορυφόρους. Τα Pseudoranges (μετρήσεις απόστασης) μετριοούνται ταυτόχρονα σε όλους τους ορατούς δορυφόρους. Τα λάθη στα pseudoranges υπολογίζονται χρησιμοποιώντας τη γνωστή (ερευνημένη) θέση της κεραίας του δέκτη και τα θεσιακά στοιχεία (ημεροδεικτών) από κάθε δορυφόρο. Αυτά τα λάθη μετατρέπονται σε διορθώσεις και αναμεταδίδονται στους δέκτες χρηστών.

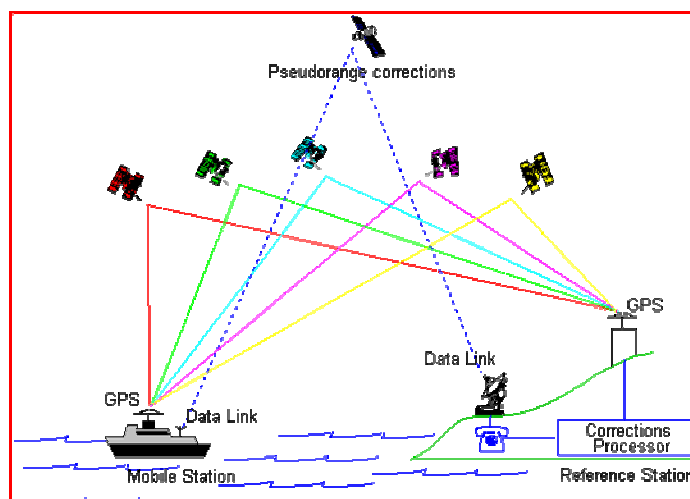


Ο δέκτης GPS των χρηστών εφαρμόζει τις διορθώσεις στα pseudoranges που μετριοούνται σε κάθε δορυφόρο που χρησιμοποιείται στον υπολογισμό θέσης του. Ο δέκτης GPS εφαρμόζει πάντα τις πιο πρόσφατες (δηλ. νεώτερες) λαμβανόμενες διορθώσεις.

Χρησιμοποιώντας αυτήν την μέθοδο, και ανάλογα με τον διαχωρισμό User-to-Reference Station και τον χρόνο εφαρμογής των διορθώσεων, είναι επιτεύξιμη η ακρίβεια κάτω από 10 μέτρα (95%).

### **1.8.2 Δομή DGPS**

Η υποδομή του DGPS αποτελείται από τρία κύρια συστατικά: το σταθμό αναφοράς, τον κινητό σταθμό και το data link.



Άλλα εφαρμόσιμα ζητήματα στο DGPS είναι η βοήθεια ύψους, ο έλεγχος ακεραιότητας και η χρήση πολλαπλάσιων σταθμών αναφοράς.

### 1.8.2.1 Σταθμός αναφοράς

Προϋπόθεση για τη λειτουργία του DGPS είναι να δημιουργηθεί ένας σταθμός σε μια γνωστή θέση με σκοπό να παραχθούν οι διορθώσεις που θα εφαρμοστούν αργότερα στους άγνωστους σταθμούς. Ο σταθμός αναφοράς αποτελείται από έναν δέκτη, μια κεραία GPS και ένα data link (διαμορφωτής και κεραία).

Οι διορθώσεις που παράγονται θα μπορούσαν να είναι δύο διαφορετικών τύπων:

- τρισδιάστατα θεσιακά λάθη ή
- μεμονωμένα pseudorange λάθη.

Και οι δύο προσεγγίσεις δίνουν τα ίδια αποτελέσματα εάν, και μόνο εάν, οι ίδιοι δορυφόροι παρατηρούνται στο σταθμό αναφοράς και τον άγνωστο κινητό σταθμό/σταθμούς. Υπάρχουν διάφοροι λόγοι για τους οποίους αυτό μπορεί να μην συμβαίνει πάντα:

1. Το κριτήριο δεκτών για την επιλογή των δορυφόρων μπορεί να είναι διαφορετικό (π.χ. δέκτες 5-καναλιών έναντι 12-καναλιών).
2. Η δορυφορική γεωμετρία στους δύο σταθμούς μπορεί να είναι διαφορετική λόγω της απόστασης μεταξύ τους, με αποτέλεσμα τη διαφορετική άνοδο και τους καθορισμένους χρόνους για τους μεμονωμένους δορυφόρους.
3. Σε κάθε σταθμό μπορούν να υπάρξουν εμπόδια επιφάνειας.
4. Οι δέκτες και στους δύο σταθμούς μπορούν να μην χρησιμοποιήσουν απαραίτητως όλους τους παρατηρηθέντες δορυφόρους για να καθορίσουν τη θέση τους.

Λόγω των παραπάνω, οι pseudorange διορθώσεις παράγονται στο σταθμό αναφοράς που υιοθετεί συνήθως μια all-in-view πολιτική. Με τη διαβίβαση μεμονωμένων διορθώσεων για όλους τους δορυφόρους, ο κινητός σταθμός χρησιμοποιεί τις διορθώσεις για τους δορυφόρους που παρατηρούνται σε εκείνο τον σταθμό ελαχιστοποιώντας έτσι (όσο το δυνατόν περισσότερο) οποιαδήποτε λάθη μπορούν να εισαχθούν. Όπως υπολογίζεται μια pseudorange διόρθωση (PRC-Pseudorange Correction) για κάθε δορυφόρο έτσι υπολογίζεται και το ποσοστό αλλαγής του (RRC-Rate Range Correction) και διαβιβάζεται στον κινητό σταθμό και χρησιμοποιείται για να διαμορφώσει τα χρονικά ποικίλα χαρακτηριστικά των διορθώσεων κατά τη διάρκεια της περιόδου, στην οποία οι διορθώσεις παράγονται στο σταθμό αναφοράς και εφαρμόζονται στον κινητό σταθμό (ηλικία της διόρθωσης).

Ένας κεντρικός επεξεργαστής (ένα «αφιερωμένο» PC που συνδέεται με το δέκτη GPS) χρησιμοποιείται συχνά για να παράγει τις διορθώσεις, αν και πολλοί από τους σημερινούς δέκτες μπορούν να παράγουν τις διορθώσεις στο "box". Ο επεξεργαστής μετατρέπει τις διορθώσεις σε ένα τυποποιημένο δυαδικό format ( RTCM SC- 104) το οποίο στέλνεται έπειτα

στο data link και διαμορφώνεται επάνω σε μια φέρουσα συχνότητα που διαβιβάζεται στη συνέχεια στον κινητό σταθμό.

### **1.8.2.2 Κινητός σταθμός**

Ο κινητός σταθμός αποτελείται από έναν δέκτη και μια κεραία GPS, έναν δέκτη και αποδιαμορφωτή data link, και συνήθως ένα PC ως κεντρικό επεξεργαστή. Οι pseudorange και οι range διορθώσεις ρυθμού (rate) παραλαμβάνονται μέσω του εξοπλισμού data link, αποδιαμορφώνονται, και το δυαδικό μήνυμα στέλνεται έπειτα στο PC. Οι διορθώσεις έπειτα μεταφράζονται και εφαρμόζονται στις μεμονωμένες pseudorange διορθώσεις, που παρατηρούνται από το δέκτη GPS του κινητού σταθμού που συνδέεται επίσης με το PC. Η τελική διόρθωση προστίθεται στην παρατηρηθείσες pseudoranges και παράγεται από τη σχέση:

$$PRC(T) = PRC(T_0) + RRC(T_1 - T_0),$$

όπου

$PRC(T)$  είναι η διόρθωση που εφαρμόζεται στο κατάλληλο κινητό pseudorange,

$PRC(T_0)$  είναι η διόρθωση που παράγεται στο σταθμό αναφοράς,

$RRC$  είναι η διόρθωση ποσοστού σειράς,

$T_0$  είναι ο χρόνος στον οποίο η διόρθωση παρήχθη στο σταθμό αναφοράς, και

$T_1$  είναι ο χρόνος στον οποίο το κινητό στοιχείο pseudorange παρατηρήθηκε.

Περιστασιακά μια περαιτέρω διόρθωση (δέλτα διόρθωση) πρέπει να εφαρμοστεί εάν ο σταθμός αναφοράς έχει χρησιμοποιήσει διαφορετικά στοιχεία ημεροδεικτών για να παράγει τις pseudorange διορθώσεις από αυτές που είναι διαθέσιμες στον κινητό σταθμό. Όλοι οι δορυφόροι που "έχουν διορθωθεί" χρησιμοποιούνται έπειτα μέσα σε έναν υπολογισμό θέσης στον οποίο παράγονται η θέση και οι κατάλληλες στατιστικές για τον κινητό σταθμό.

### **1.8.2.3 Data Link**

Το data link παρέχει τη σύνδεση μεταξύ του σταθμού αναφοράς και του κινητού σταθμού. Το μέσο που χρησιμοποιείται πρέπει να είναι τέτοιο που να μπορεί να διαβιβάσει πέρα από τον απαραίτητο διαχωρισμό αναφοράς-κινητός. Τα δυαδικά στοιχεία μπορούν να διαμορφωθούν αρκετά γρήγορα ώστε να παρέχουν ένα ορισμένο χρόνο διόρθωσης, και πρέπει να είναι αξιόπιστα από την άποψη της πιθανότητας της καλής υποδοχής. Οι επιλογές που είναι διαθέσιμες μπορούν να διαιρεθούν σε χειρσαίες και δορυφορικές συνδέσεις.

Τα επίγεια data links είναι κυρίως ραδιο-αναμεταδότες σημάτων που λειτουργούν σε διάφορες συχνότητες ανάλογα με την εφαρμογή. Οι συνδέσεις χαμηλής συχνότητας (Low frequency-LF) μπορούν να χρησιμοποιηθούν ώστε να παρέχουν μια ευρεία κάλυψη λόγω της καλής διάδοσης κυμάτων επιφάνειας. Εντούτοις, αυτά τα συστήματα απαιτούν καλοσχεδιασμένη κεραία και υψηλή ισχύ, και παρέχουν ένα σχετικά αργό χρόνο διόρθωσης που οφείλεται στα μακροχρόνια

μήκη κύματός τους. Η επιλογή υψηλότερων συχνοτήτων μειώνει γενικά την κατανάλωση ισχύος, απαιτεί απλούστερο υλικό, μειώνει το χρόνο διόρθωσης, αλλά οδηγεί και σε μείωση της απόστασης πέρα από την οποία το σήμα μπορεί να διαβιβαστεί. Οι εναλλακτικές λύσεις της επιλογής LF που είναι σε λειτουργία περιλαμβάνουν τις μέσες (MF), τις υψηλές (HF), και τις υπέρ/πολύ υψηλές (UHF/VHF) συχνότητες. Άλλες επιλογές για τα χερσαία data links χρησιμοποιούν τις υπάρχουσες ραδιο μεταδόσεις αποφεύγοντας την ανάγκη να εγκαταστήσουν μια αφιερωμένη σύνδεση και την ανάγκη να λάβουν άδεια κατανομής συχνότητας. Αυτό συμπεριλαμβάνει χρήση των υπάρχοντων συστημάτων ραδιοεντόπισης, των τοπικών ραδιοφωνικών μεταδόσεων FM, των κυψελοειδών τηλεφώνων, και των θαλάσσιων radiobeacons.

Η αμερικανική ακτοφυλακή (US Coast Guard-USCG) και η IALA (International Association of Lighthouse Authorities) υποστηρίζουν τη χρήση αυτού του μέσου, και η USCG είχε (1993) δεσμευτεί να παρέχει ένα radiobeacon DGPS δίκτυο για τα ηπειρωτικά αμερικανικά παράκτια ύδατα, τη νότια Αλάσκα, τη Χαβάη και το Πουέρτο Ρίκο. Το σύστημα είναι λειτουργικό από τα μέσα του 1996.

Διάφορες εμπορικές υπηρεσίες συνδρομής είναι διαθέσιμες σήμερα παγκοσμίως. Μια από τις πιο επιτυχημένες εμπορικές τεχνικές και υπηρεσίες είναι η χρήση των geostationary δορυφόρων επικοινωνίας για την αναμετάδοση της διαφορικής διόρθωσης RTCM-104 στην L-Band συχνότητα πέρα από μια ευρεία περιοχή. Τέτοιες υπηρεσίες συνδρομής έχουν αναπτύξει έναν αλγόριθμο κωδικοποίησης και έγκρισης για να επιτρέπει μόνο στους εξουσιοδοτημένους χρήστες να λάβουν τις διαφορικές διορθώσεις. Επίσης παρέχουν ένα σύνολο διορθώσεων μέσω εικονικών σταθμών βάσεων (Virtual Base Station-VBS) βασισμένων στη GPS θέση των χρηστών. Αυτές οι διορθώσεις καθορίζονται συνδυάζοντας πολλαπλές παρατηρήσεις σειρές δορυφόρων GPS από το δίκτυο των σταθμών βάσεων αναφοράς και αναπτύσσοντας "optimum" διορθώσεις για τους δορυφόρους GPS που είναι ορατοί στο χρήστη.

Το δίκτυο των σταθμών βάσεων αναφοράς ελέγχεται και επιτηρείται από ένα περιφερειακό Command and Control κέντρο. Ένα πλεονέκτημα αυτών των συστημάτων, είναι ότι με έναν κατάλληλα εξοπλισμένο δέκτη (που ενσωματώνεται συχνά μέσα σε μια εμπορική μονάδα GPS), η ίδια κεραία GPS που χρησιμοποιείται για να λάβει τα σήματα "φάσματος" GPS μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για να λάβει τα RTCM διαφορικά σήματα διορθώσεων της L-Band υπηρεσίας συνδρομής.

Μια τελική εκδοχή για τις χερσαίες μεταδόσεις είναι για τη χρήση pseudolites, που σχεδιάζονται για να διαβιβάσουν data στις συχνότητες GPS. Το πλεονέκτημα σε αυτή την περίπτωση είναι ότι η τυποποιημένη κεραία GPS μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να λάβει τις διορθώσεις, και ότι το σήμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πρόσθετη pseudorange μέτρηση. Εντούτοις, πέρα από το έδαφος, η εμβέλεια των σημάτων είναι φτωχή, κάτι που κάνει αυτή την εκδοχή σπάνια βιώσιμη.

Τα δορυφορικά data links παρέχουν σε μια κοντινή σφαιρική κάλυψη ένα γρήγορο χρόνο διόρθωσης (λιγότερο από 5 δευτερόλεπτα) και χρησιμοποιούν την INMARSAT Standard-A τηλεφωνική σύνδεση και τη σύνδεση telex. Ο INMARSAT είναι ένας διεθνώς κύριος συνεταιρισμός που συνίσταται για να ικανοποιήσει τις ανάγκες επικοινωνίας της παγκόσμιας ναυπηγικής βιομηχανίας και ενεργοποιεί τους γεωστατικούς δορυφόρους σε τέσσερις ωκεάνιες περιοχές: τη δύτικη περιοχή του Ατλαντικού Ωκεανού, την ανατολική περιοχή του Ατλαντικού Ωκεανού, την περιοχή του Ινδικού Ωκεανού και την περιοχή του Ειρηνικού Ωκεανού. Οι πληροφορίες φορτώνονται στους δορυφόρους από τους γήινους παράκτιους σταθμούς (Coast Earth Stations-CES) που χρησιμοποιούνται συνήθως από την τοπική υπεύθυνη υπηρεσία (π.χ στην Μεγάλη Βρετανία είναι η British Telecom). Ένας SES (Ship Earth Station) απαιτείται για να λάβει τα σήματα από τους γεωστατικούς δορυφόρους. Για τις διαδικασίες του DGPS, το μήνυμα διορθώσεων στέλνεται από το σταθμό αναφοράς στο CES μέσω των μισθωμένων γραμμών εδάφους, φορτώνεται στους δορυφόρους και διαβιβάζεται στη συνέχεια για τη χρήση του κινητού σταθμού.

#### **1.8.2.4 Format μηνυμάτων RTCM SC- 104**

Είναι απαραίτητο για τους χειριστές DGPS να τηρήσουν τα πρότυπα σχετικά με το σχήμα του μηνύματος διορθώσεων και την κατάστασή του σχετικά με την αναφορά και τις κινητές διαδικασίες σταθμών, και τη σύνδεση στοιχείων. Αυτά τα πρότυπα έχουν συσταθεί από τη Radio Technical Commission for Maritime Services Special Committee 104 (RTCM Sc- 104) που καθιερώθηκε αρχικά τον Νοέμβριο 1983 και δημοσιεύθηκε αρχικά το Νοέμβριο 1987.

Το data format έχει διαμορφωθεί σύμφωνα με το μήνυμα ναυσιπλοΐας GPS με το μέγεθος λέξης, το σχήμα λέξης και τους αλγορίθμους ισότητας. Στην έκδοση 2.0, υπάρχουν 64 πιθανοί διαφορετικοί τύποι μηνυμάτων από τους οποίους 21 έχουν καθοριστεί. Το Type 1 μήνυμα περιέχει τις διορθώσεις ποσοστού pseudorange και εμβέλειας, το ζήτημα του ημεροδείκτη στοιχείων (issue of data ephemeris -IODE), και το διαφορικό λάθος σειράς χρηστών (user differential range error -UDRE). Η παράμετρος IODE επιτρέπει στον κινητό σταθμό να προσδιορίσει τα δορυφορικά στοιχεία ναυσιπλοΐας που χρησιμοποιούνται από το σταθμό αναφοράς. Το UDRE είναι μια εκτίμηση της σταθερής απόκλισης του διαφορικού λάθους όπως καθορίζεται στο σταθμό αναφοράς και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να σταθμίσει τη λύση στον κινητό.

Τύπος μηνύματος (Type)	Τίτλος μηνύματος
1	Διορθώσεις DGPS
2	Δέλτα διορθώσεις DGPS
3	Παράμετροι σταθμών αναφοράς



4	Πληροφορία φέροντος
5	Υγεία αστερισμού(κατάσταση λειτουργίας)
6	Μηδενικό πλαίσιο
7	Θαλάσσια radiobeacon ημερολόγια
8	Ημερολόγια Pseudolite
9	Υψηλού ρυθμού διορθώσεις DGPS
10	P code διορθώσεις DGPS
11	C/A code L1/L2 Δέλτα διορθώσεις
12	Παράμετροι Pseudolite σταθμών
13	Παράμετροι επίγειων πομπών
14	Βοηθητικό μήνυμα
15	Ιονοσφαιρικό/τροποσφαιρικό μήνυμα
16	Ειδικό μήνυμα
17	Ημερολόγιο ημεροδεικτών
18-59	Απροσδιόριστος
60-63	Διαφορικά Logan C μηνύματα

Ο προϋπολογισμός pseudorange λάθους για ‘αυτόνομο DGPS’ με την απόσταση βασικών γραμμών μεταξύ των γνωστών και άγνωστων σταθμών να είναι 500 χλμ και με ένα χρόνο διόρθωσης 5 δευτερολέπτων φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Πηγή λάθους	Αυτόνομο (m)	Διαφορικό (m)
<b>Χρήστης ανεξάρτητος</b>		
Δορυφορικό ρολόι	15.0	0,1
Ημεροδείκτης	40.0	1.0
Τροχιά	5.0	0,13
Ιονόσφαιρα	12.0	1.0
Τροπόσφαιρα	3.0	0,5
<b>Χρήστης εξαρτώμενος</b>		
Multipath	2.0	2.8
Θόρυβος δεκτών	0,5	0,7
<b>Συνολικό ποσό τετραγωνικής ρίζας</b>	44.8	3.3

### **1.8.2.5 Έλεγχος ακεραιότητας GPS**

Ένας απλός ορισμός της ακεραιότητας έχει υιοθετηθεί από τη ραδιο τεχνική Επιτροπή για την αεροναυτική που δηλώνει:

*Ακεραιότητα ορίζεται η δυνατότητα ενός συστήματος να παρέχει έγκαιρες προειδοποιήσεις στους χρήστες όταν δεν πρέπει το σύστημα να χρησιμοποιηθεί για τη ναυσιπλοΐα.*

Επομένως, επιβλέποντας το σύστημα GPS και αξιολογώντας την ποιότητά του σε πραγματικό χρόνο πρέπει να ληφθούν κατάλληλα μέτρα. Οι «προβληματικοί» δορυφόροι, τα ανακριβή pseudoranges, οι φτωχές διορθώσεις DGPS, η υπερβολική ατμοσφαιρική παρέμβαση και τα προβλήματα στους σταθμούς αναφοράς πρέπει να ανιχνευθούν και οι κινητοί σταθμοί πρέπει να ενημερωθούν. Υπάρχουν τρεις κύριες προσεγγίσεις που χρησιμοποιούνται για να εκτελέσουν αυτούς τους στόχους:

1. Monitor stations
2. RAIM (Receiver autonomous integrity monitoring)
3. GIC (GPS integrity channel)

Ένας σταθμός επίβλεψης (Monitor station) ενεργεί ως κινητός σταθμός δεδομένου ότι λαμβάνει τις διορθώσεις DGPS από έναν σταθμό αναφοράς και υπολογίζει τη θέση του. Η διαφορά είναι ότι η επίβλεψη είναι για μια γνωστή θέση και μπορεί επομένως να αξιολογηθεί η ποιότητα της λύσης. Οποιαδήποτε «ανώμαλα» περιστατικά στέλνονται έπειτα πίσω στο σταθμό αναφοράς και διαβιβάζονται έπειτα στους κινητούς χρήστες μέσω του μηνύματος ASCII RTCM SC-104.

Η αυτόνομη επίβλεψη ακεραιότητας δεκτών (RAIM) είναι μια τεχνική με την οποία η απόδοση του συστήματος GPS καθορίζεται μέσα στον ίδιο το δέκτη. Τέσσερα pseudoranges απαιτούνται για να υπολογίσουν μια θέση σε οποιαδήποτε περίπτωση. Εάν πέντε είναι διαθέσιμα, τότε, πέντε διαφορετικές λύσεις θέσης μπορούν να υπολογιστούν με τη χρησιμοποίηση όλων των συνδυασμών τεσσάρων δορυφόρων. Με την εξέταση αυτών των πέντε λύσεων, αυτοί που χρησιμοποιούν ένα λανθασμένο pseudorange θα είναι παρόμοιοι, και διαφορετικοί από την υπόλοιπη λύση. Κατ' αυτό τον τρόπο οι φτωχές εμβέλειες μπορούν να απομονωθούν.

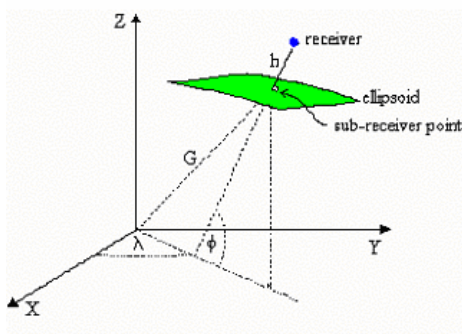
Το κανάλι ακεραιότητας του GPS (GIC) χρησιμοποιεί τους δορυφόρους για να διαβιβάσει τις προειδοποιήσεις που ανιχνεύονται από τους σταθμούς επίβλεψης. Οι γεωστατικοί δορυφόροι χρησιμοποιούνται για να διαβιβάσουν τα στοιχεία ακεραιότητας στους κινητούς. Δύο διαφορετικά σχήματα σημάτων έχουν εξεταστεί:

- Τα ευρείας ζώνης GIC διαβιβάζουν ένα σήμα πολύ παρόμοιο με τις μετρήσεις κώδικα C/A στην ίδια συχνότητα με την L1. Αυτό έχει ως πλεονεκτήματα ότι η κεραία GPS μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να λάβει το σήμα, τα στοιχεία μπορούν να αποδιαμορφωθούν μέσα στο δέκτη, και το σήμα από το γεωστατικό δορυφόρο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πρόσθετο pseudorange για να αυξήσει την κάλυψη GPS. Η επόμενη γενιά των δορυφόρων INMARSAT (INMARSAT 3), που προωθήθηκε στα τέλη του 1994, έχει αυτήν την ικανότητα.

- Το δεύτερο σχήμα σημάτων είναι το περιορισμένης ζώνης GIC που χρησιμοποιεί το τηλεφωνικό δίκτυο και το telex για να διαβιβάσει το μήνυμα. Αυτό απαιτεί χωριστή κεραία λήψης και είναι μόνο μια επέκταση των space-based υπηρεσιών διορθώσεων του DGPS.

### 1.8.2.6 Βοήθεια ύψους

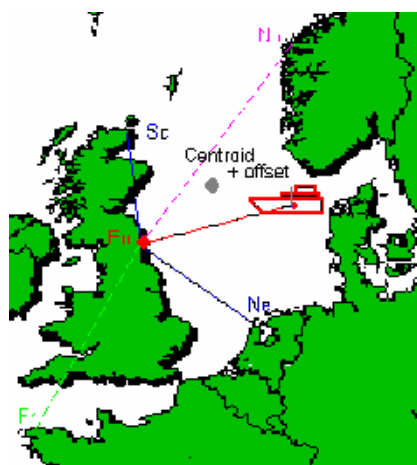
Η γνώση του ύψους του δέκτη επάνω από το ελλειψοειδές χρησιμοποιείται συχνά ως πρόσθετη εξίσωση μέσα στη λύση προσδιορισμού θέσης. Αρχικά αυτό πραγματοποιήθηκε για να μειώσει τον αριθμό των pseudorange παρατηρήσεων που απαιτούνται για να ληφθεί μια αποτύπωση, αλλά έπειτα θεωρήθηκε απαραίτητο δεδομένου ότι προσθέτει πλεονασμό στη λύση, ειδικά σε «φτωχές» γεωμετρικές διαμορφώσεις.



### 1.8.2.7 Πολλαπλάσιοι σταθμοί αναφοράς

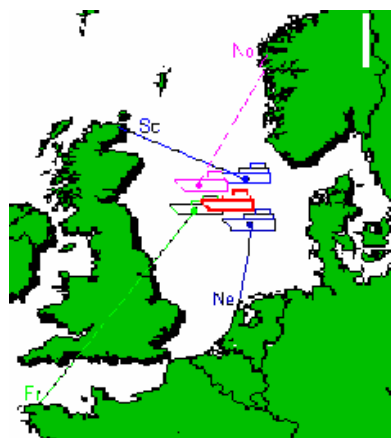
Λόγω του εκτενούς δικτύου των σταθμών αναφοράς του DGPS, είναι δυνατό να ληφθούν έγκυρες διορθώσεις από διάφορους σταθμούς. Εάν αυτό συμβεί, ο χειριστής θα επιλέξει συνήθως το σταθμό αναφοράς για να λάβει τις διορθώσεις και αυτός είναι συνήθως ο πιο κοντινός σε αυτόν. Μέσα σε μια πολλαπλάσια λύση σταθμών αναφοράς όλες οι pseudorange διορθώσεις που παραλαμβάνονται από τους επιλεγμένους εκ των προτέρων σταθμούς αναφοράς χρησιμοποιούνται για να τοποθετήσουν τον κινητό σταθμό. Υπάρχουν διάφορες διαφορετικές προσεγγίσεις για να παρέχουν μια τέτοια λύση:

- Η κεντροειδής (centroid) προσέγγιση: Οι pseudorange διορθώσεις από όλους τους σταθμούς αναφοράς συνδυάζονται για να διαμορφώσουν μια διόρθωση για κάθε ορατό δορυφόρο. Με βάση αυτές τις διορθώσεις πρέπει έπειτα να εγκατασταθεί το 'κέντρο' της περιοχής, που καθορίζεται από τους σταθμούς αναφοράς που χρησιμοποιούνται. Οι πρόσθετες κατευθυντικές διορθώσεις μπορούν επίσης να αναπτυχθούν με συσχέτιση των σύνθετων κεντροειδών διορθώσεων και εκείνων στους σταθμούς αναφοράς. Οι pseudorange διορθώσεις για

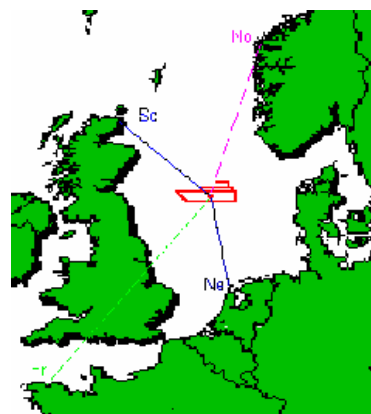


κεντροειδείς προσεγγίσεις μπορούν να παραχθούν είτε σε μια επίγεια κομβικό σημείο είτε στον ίδιο τον κινητό σταθμό. Το πλεονέκτημα των πρώτων είναι ότι ο κινητός σταθμός πρέπει μόνο να λάβει ένα σύνολο pseudorange διορθώσεων.

- Η All-in-view προσέγγιση: Όλες οι pseudorange διορθώσεις που παραλαμβάνονται από τους σταθμούς αναφοράς ενσωματώνονται σε μια λύση προσδιορισμού θέσης χωρίς προεπεξεργασία (εκτός από τους ελέγχους ισχύος). Παραδείγματος χάριν, η διόρθωση για το δορυφορικό PRN 12 μπορεί να παραληφθεί από 4 διαφορετικούς σταθμούς αναφοράς και να χρησιμοποιηθεί χωριστά για να διορθώσει το pseudorange που παρατηρείται στον κινητό σταθμό από το PRN 12 - προσθέτοντας έτσι 4 παρατηρήσεις στο σύστημα.



- Η Position domain προσέγγιση: Αυτή είναι η απλούστερη προσέγγιση που υπολογίζει μια ανεξάρτητη θέση χρησιμοποιώντας κάθε σταθμό αναφοράς από τον οποίο παραλαμβάνονται οι διορθώσεις. Οι επακόλουθες θέσεις συνδυάζονται αργότερα με τη λήψη ενός σταθμισμένου μέσου όρου.



- Το ευρείας περιοχής DGPS (Wide area DGPS-WADGPS): Αυτή είναι μια διαφορετική προσέγγιση που δεν χρησιμοποιεί πλέον την έννοια των pseudorange διορθώσεων και μπορεί να παρέχει ακρίβεια προσδιορισμού θέσης κάτω από 5m (95%) σε τεράστιες περιοχές πολλών χιλιάδων χιλιομέτρων. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιεί ένα δίκτυο σταθμών αναφοράς που διαβιβάζουν τις GPS παρατηρήσεις τους σε μια κομβική περιοχή επεξεργασίας. Το κομβικό σημείο έχει ως στόχο να διασπά τα pseudorange λάθη στα διαφορετικά συστατικά μέρη τους, τα οποία διαμορφώνονται σε πραγματικό χρόνο. Οι τροχιακές και ατμοσφαιρικές διορθώσεις για κάθε δορυφόρο διαβιβάζονται, έπειτα, περιοδικά στον κινητό σταθμό, δεδομένου ότι αυτές δεν αλλάζουν συχνά με το χρόνο (το 'Εψιλον' συστατικό του SA μπορεί μόνο να αλλάξει μία φορά ανά ώρα δεδομένου ότι αυτό αποτελεί τη συχνότητα που ενημερώνονται τα μηνύματα ημεροδεικτών για κάθε δορυφόρο).

### **1.8.3 Επίδραση του διαχωρισμού User-to-Reference Station στην ακρίβεια πλοήγησης**

Δεδομένου ότι ο διαχωρισμός User-to-Reference Station αυξάνεται, το σήμα από το δορυφόρο στο χρήστη παίρνει μια διαφορετική πορεία μέσω της ατμόσφαιρας έναντι του σήματος από το

δορυφόρο στο σταθμό αναφοράς. Λόγω των παραλλαγών στην ατμόσφαιρα, υπάρχει μια διαφορετική καθυστέρηση σημάτων στο δέκτη χρηστών έναντι της καθυστέρησης στο σταθμό αναφοράς.

Όσο μεγαλύτερος ο διαχωρισμός User-to-Reference Station, τόσο λιγότερο διορθώνονται δορυφορικά λάθη ημεροδεικτών. Αυτό συμβαίνει επειδή τα διαφορετικά διανύσματα οπτικής επαφής στο δορυφόρο από το σταθμό αναφοράς και από το χρήστη παράγουν διαφορετικά αντιληπτά λάθη ημεροδεικτών.

#### **1.8.4 Διαφορικός Εντοπισμός (Differential Mode)**

Ας υποθέσουμε ότι έχουμε δύο δέκτες όχι πολύ απομακρυσμένους μεταξύ τους. Τα σφάλματα των δορυφορικών χρονομέτρων, των δορυφορικών τροχιών, της ιονόσφαιρας, της τροπόσφαιρας και της επιλεκτικής διαθεσιμότητας, επηρεάζουν και τους δύο δέκτες κατά τον ίδιο τρόπο και βαθμό. Εάν γνωρίζαμε την ακριβή θέση ενός από τους δύο δέκτες θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε αυτή την πληροφορία ώστε να υπολογίσουμε τα σφάλματα στις μετρήσεις. Στη συνέχεια μεταφέροντας αυτά τα σφάλματα (ή καλύτερα διορθώσεις) στον άλλο δέκτη, επιτυγχάνουμε την απαλοιφή τους. Αυτή η τεχνική ονομάζεται διαφορικός εντοπισμός.

Ο δέκτης που βρίσκεται σε θέση γνωστών συντεταγμένων ονομάζεται διεθνώς “base”, ενώ ο άλλος που είναι σε άγνωστη θέση ονομάζεται “rover”. Ο base δέκτης υπολογίζει τη στιγμιαία απόστασή του προς κάθε δορυφόρο, βασιζόμενος στη γνωστή του θέση και τη στιγμιαία θέση κάθε δορυφόρου. Η διαφορά της υπολογισμένης με τη μετρημένη απόσταση είναι η τιμή της διόρθωσης για κάθε ένα δορυφόρο. Μεταδιδόμενες οι διορθώσεις αυτές στον rover, επιτρέπουν στον τελευταίο να ανάγει τις δικές του μετρημένες αποστάσεις προς όλους τους δορυφόρους, υπολογίζοντας τελικά τη θέση του με πολύ καλύτερη ακρίβεια.

Εξαιτίας της διαρκούς κίνησης των δορυφόρων αλλά και των ολισθήσεων των χρονομέτρων τους, οι παραγόμενες διορθώσεις αλλάζουν ραγδαία σε συνάρτηση με το χρόνο. Επομένως ο base δέκτης πρέπει να παράγει τις διορθώσεις και να τις μεταδίδει στο rover το συντομότερο δυνατό.

Αυτονόητο είναι ότι η ορθότητα των συντεταγμένων του base επηρεάζει άμεσα τις συντεταγμένες του rover. Εάν εισαχθεί η θέση του base λανθασμένα προς κάποια συγκεκριμένη κατεύθυνση, τότε όλες οι διορθώσεις που θα υπολογίσει ο base και θα μεταδώσει στο rover θα είναι κατά τέτοιο τρόπο λανθασμένες ώστε να προσδίνουν στο rover εντοπισμό θέσης που θα έχει το ίδιο λάθος σε μέγεθος και διεύθυνση όπως ο base.

Το διάνυσμα μεταξύ του base και του rover ονομάζεται βάση (baseline). Όταν η βάση είναι μικρή, τότε τα σφάλματα απόστασης των δύο δεκτών προς τους δορυφόρους είναι σχεδόν ίδια, επιτρέποντας τη χρήση των παραγόμενων διορθώσεων από το base για τον προσδιορισμό της θέσης του rover. Όσο αυξάνεται το μήκος της βάσης, τόσο ελαττώνεται η συνοχή των

σφαλμάτων απόστασης. Με άλλα λόγια θα προκύπτουν υπολοίποντα σφάλματα στον προσδιορισμό της θέσης του rover τα οποία αυξάνονται με την αύξηση του μήκους της βάσης. Σαν γενικός κανόνας, θα πρέπει να προστίθεται επιπλέον ασάφεια ενός χιλιοστού για κάθε χιλιόμετρο αύξησης στο μήκος της βάσης, δηλαδή 1ppm. Στη περίπτωση δεκτών μίας συχνότητας, το σφάλμα αυτό αυξάνει στα 2ppm.

Ο διαφορικός εντοπισμός εξαλείφει σχεδόν όλα τα σφάλματα εκτός από αυτά του “multipath” και των σφαλμάτων των δεκτών. Αυτό τα σφάλματα υπεισέρχονται για κάθε δέκτη χωριστά και δεν μπορούν να εξαλειφθούν με τον διαφορικό εντοπισμό.

Το σφάλμα του δέκτη (εσωτερικός θόρυβος) είναι όπως προαναφέρθηκε περίπου 10cm για τον κώδικα του φέροντος κύματος και περίπου 1mm για την φάση. Σε δέκτες υψηλής ακρίβειας και ποιότητας αυτά τα σφάλματα είναι αρκετές φορές μικρότερα. Το σφάλμα που υπεισέρχεται από το “multipath” όμως μπορεί να είναι αρκετά μέτρα για τον κώδικα και αρκετά εκατοστά για την φάση του φέροντος κύματος. Ως εκ’ τούτου, αν με κάποιο τρόπο αντιμετωπίσουμε το “multipath” θα μπορούμε να επιτύχουμε ακρίβεια χιλιοστού για μετρήσεις φάσης και ακρίβεια εκατοστού για μετρήσεις κώδικα.

Ο διαφορικός εντοπισμός με χρήση του κώδικα του φέροντος κύματος ονομάζεται DGPS, με χρήση της φάσης του φέροντος κύματος ονομάζεται CPD (Carrier Phase Differential), ενώ με χρήση φάσης σε πραγματικό χρόνο ονομάζεται RTK (Real-Time kinematic).

Στο διαφορικό εντοπισμό με χρήση φάσης φέροντος κύματος (CPD), οι υπολογισμοί είναι αρκετά πιο πολύπλοκοι επειδή προστίθενται άγνωστοι που αφορούν τον αριθμό των αρχικών ακεραίων κύκλων (ασάφεια φάσης). Είναι πιθανό να χρειαστούν αρκετά λεπτά για να επιλυθεί η ασάφεια φάσης και να προσδιοριστεί ο αριθμός των ακεραίων κύκλων. Από τη στιγμή που θα επιλυθεί η αρχική ασάφεια φάσης, τότε κάθε συμπληρωματικός υπολογισμός θέσης είναι άμεσος. Όταν όμως ο αριθμός των ορατών από το δέκτη δορυφόρων πέσει κάτω από 4, τότε πρέπει να επαναυπολογιστεί η ασάφεια φάσης μόλις ο αριθμός των διαθέσιμων δορυφόρων το επιτρέψει, δηλαδή μόλις ο δέκτης αποκτήσει πάλι τουλάχιστον 4 ορατούς δορυφόρους (5 για αξιοπιστία). Η διαδικασία αυτή μπορεί να διαρκέσει αρκετά λεπτά. Μια DGPS λύση όμως, είναι άμεση, δεν πάσχει από ασάφεια, αλλά ταυτόχρονα είναι λιγότερο ακριβής.

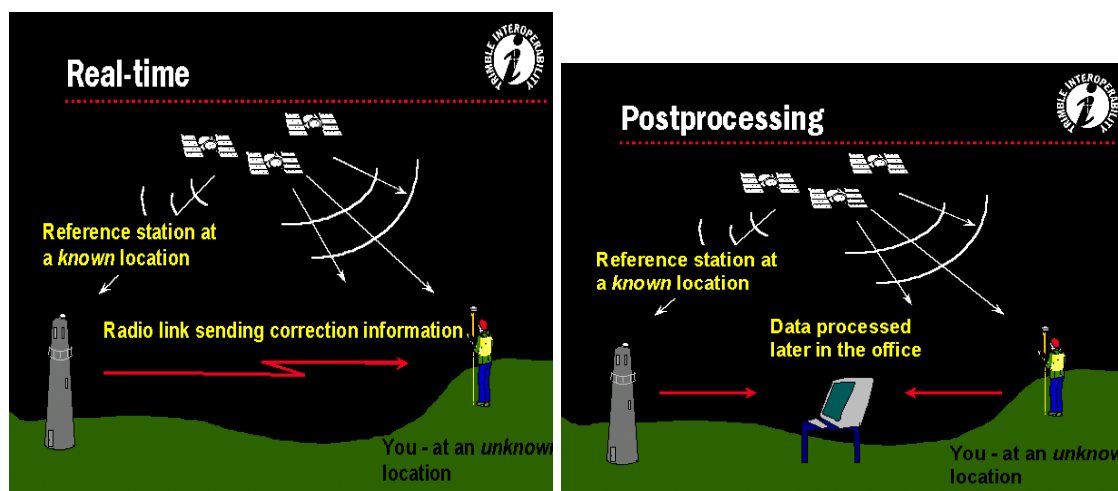
### **1.8.5 Τεχνικές DGPS**

Η ιδέα πίσω από το διαφορικό GPS είναι να διορθωθούν τα λάθη απόκλισης σε μια θέση με τα μετρημένα λάθη απόκλισης σε μια γνωστή θέση. Ένας δέκτης αναφοράς, ή σταθμός βάσης, υπολογίζει τις διορθώσεις για κάθε δορυφορικό σήμα.

Επειδή οι μεμονωμένες pseudoranges πρέπει να διορθωθούν πριν από το σχηματισμό μιας λύσης ναυσιπλοΐας, οι εφαρμογές DGPS απαιτούν λογισμικό στο δέκτη αναφοράς που να

μπορεί να ανιχνεύει όλα τα ορατά SVs και να διαμορφώνει μεμονωμένες διορθώσεις pseudoranges για κάθε SV. Αυτές οι διορθώσεις περνούν στον απομακρυσμένο δέκτη, που πρέπει να μπορεί να τις εφαρμόζει σε κάθε SV που χρησιμοποιείται στη λύση ναυσιπλοΐας.

Στις DGPS εφαρμογές αν οι διορθώσεις εκπέμπονται από τον “base” δέκτη στον “rover” σε πραγματικό χρόνο (μέσω ενός radio-link), τότε η μέθοδος εντοπισμού ονομάζεται real-time DGPS κατά την οποία μπορούμε να πάρουμε ακριβή αποτελέσματα σε πραγματικό χρόνο. Αυτή η μέθοδος απαιτείται για εφαρμογές χάραξης ή για κάθε είδους εφαρμογή που απαιτούνται συντεταγμένες ακριβείας σε πραγματικό χρόνο. Η μέθοδος real-time είναι πολύτιμη για τη ναυσιπλοΐα.



Αν δεν απαιτούνται αποτελέσματα σε πραγματικό χρόνο (αποτυώσεις) τότε μπορούν να γίνουν ταυτόχρονες παρατηρήσεις και να καταγραφούν τα δεδομένα στους δέκτες (base και rover) και να μεταφερθούν τα δεδομένα σε υπολογιστή ώστε να υπολογιστούν οι ακριβείς συντεταγμένες εκ’ των υστέρων. Αυτή η μεθοδολογία ονομάζεται post-processed DGPS. Η Postprocessing είναι ακριβέστερη από την real-time μέθοδο.

Η DGPS μεθοδολογία βασίζεται στις μετρήσεις των αποστάσεων προς τους δορυφόρους με χρήση του κώδικα του φέροντος κύματος. Οι μετρήσεις με χρήση του κώδικα είναι σαν μια μετροταινία με διαβαθμίσεις μέτρου και μόνο. Οι διαβαθμίσεις εμφανίζονται αυτόματα όταν εγκλωβίσουμε το σήμα των δορυφόρων με τον δέκτη μας, επομένως μπορούμε να υπολογίσουμε τις αποστάσεις ως προς τους δορυφόρους άμεσα αλλά όχι με μεγάλη ακρίβεια.

### 1.8.6 Differential Code GPS (Navigation)

Οι διαφορικές διορθώσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πραγματικό χρόνο με την χρήση τεχνικών μετα-επεξεργασίας.

Οι διορθώσεις σε πραγματικό χρόνο μπορούν να μεταδοθούν μέσω ραδιοσύνδεσης. Η αμερικανική ακτοφυλακή διατηρεί ένα δίκτυο διαφορικών οργάνων ελέγχου και διαβιβάζει τις διορθώσεις DGPS μέσω radiobeacons που καλύπτουν ένα μεγάλο μέρος των αμερικανικών

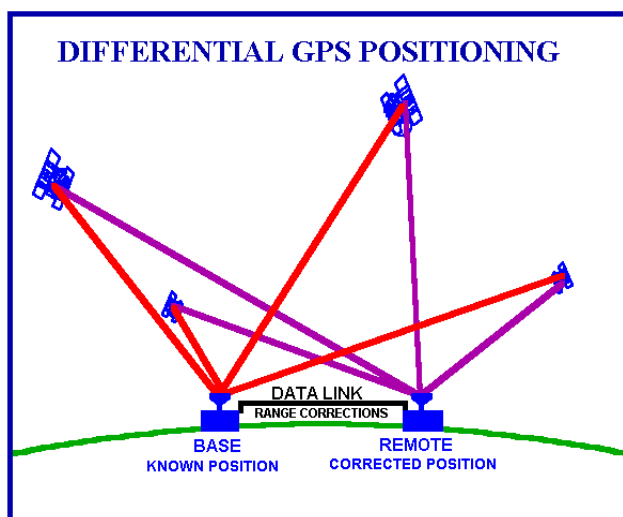
ακτών. Οι διορθώσεις DGPS μεταδίδονται συχνά σε ένα τυποποιημένο format που είναι καθορισμένο από την RTCM (Radio Technical Commission Marine).

Οι διορθώσεις μπορούν να καταγραφούν για μετεπεξεργασία. Πολλές δημόσιες και ιδιωτικές αντιπροσωπείες καταγράφουν τις διορθώσεις DGPS για τη διανομή μέσω ηλεκτρονικών μέσων. Η ιδιωτική χρήση υπηρεσιών DGPS μισθώνει ραδιοφωνικές μεταδόσεις FM, δορυφορικές συνδέσεις, ή ιδιωτικά radiobeacons για εφαρμογές σε πραγματικό χρόνο.

Οι διαφορετικές διορθώσεις για να αφαιρέσουν την εκλεκτική διαθεσιμότητα (και άλλα λάθη απόκλισης), πρέπει να υπολογιστούν στο σταθμό αναφοράς και να εφαρμοστούν στον απομακρυσμένο δέκτη με ένα ρυθμό ενημέρωσης μικρότερο από το χρόνο συσχετισμού της SA.

Ο προτεινόμενος ρυθμός ενημέρωσης του DGPS είναι συνήθως μικρότερος από 20 sec.

Το DGPS αφαιρεί τα κοινού τύπου λάθη, δηλαδή εκείνα που είναι κοινά και για τους δέκτες αναφοράς και για τους απομακρυσμένους δέκτες. Τα λάθη είναι συχνότερα όταν οι δέκτες βρίσκονται σε κοντινές μεταξύ τους αποστάσεις (λιγότερο από 100 km). Διαφορική ακρίβεια θέσης 1-10 m είναι δυνατή με την χρήση DGPS βασισμένο σε σήματα SPS C/A κώδικα.



### GPS ERROR SOURCES

ERROR SOURCE	TYPICAL RANGE ERROR	DGPS (CODE) RANGE ERROR <100 KM REF-REMOTE
SV CLOCK	1 M	
SV EPHEMERIS	1 M	
SELECTIVE AVAILABILITY	10 M	
TROPOSPHERE	1 M	
IONOSPHERE	10 M	
PSEUDO-RANGE NOISE	1 M	1 M
RECEIVER NOISE	1 M	1 M
MULTIPATH	0.5 M	0.5 M
RMS ERROR	15 M	1.6 M
ERROR * PDOP=4	60 M	6 M

PDOP=Position Dilution of Precision (3-D) 4.0 is typical

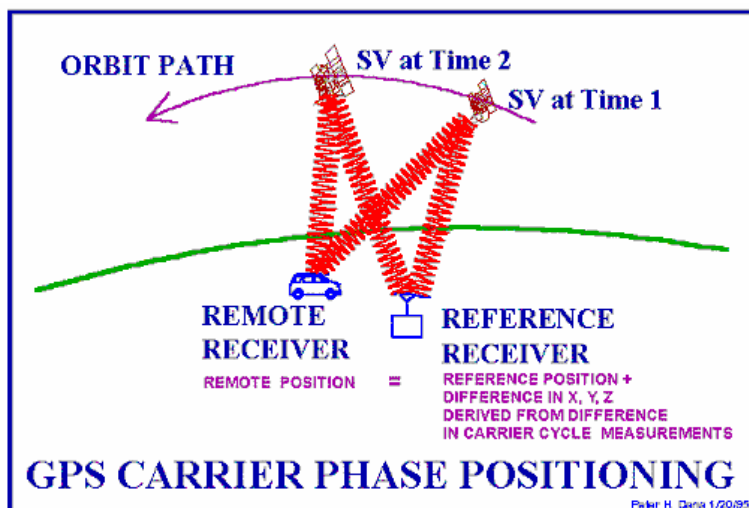


### **1.8.7 Differential Carrier GPS (Survey)**

Όλη η ανίχνευση της φάσης του φέροντος είναι διαφορική, απαιτώντας και δέκτης αναφορά και απομακρυσμένο δέκτη συγχρόνως.

Προκειμένου να υπολογιστεί σωστά ο αριθμός μηκών κύματος των φέροντων στους δέκτες αναφοράς και στους απομακρυσμένους δέκτες, αυτοί πρέπει να είναι αρκετά κοντά μεταξύ τους έτσι ώστε να εξασφαλιστεί ότι η διαφορά ιονοσφαιρική καθυστέρησης είναι μικρότερη από το μήκος κύματος ενός φέροντος. Αυτό συνήθως σημαίνει ότι οι μετρήσεις φάσης φέροντος GPS πρέπει να ληφθούν από έναν απομακρυσμένο και ένα σταθμό αναφοράς που βρίσκονται, μεταξύ τους, σε απόσταση περίπου 30 χιλιομέτρα.

Ειδικό λογισμικό (software) απαιτείται για να επεξεργαστεί τις διαφορικές μετρήσεις φάσεις φέροντος. Οι νεώτερες τεχνικές όπως η επεξεργασία RTK (Real Time Kinematic) επιτρέπουν το σχετικό προσδιορισμό θέσης με ακρίβεια εκατοστόμετρου με έναν κινούμενο απομακρυσμένο δέκτη.



### **1.8.8 RTK (Real-Time Kinematik)**

Το RTK όπως προαναφέρθηκε είναι ο διαφορικός εντοπισμός με χρήση της φάσης του φέροντος κύματος σε πραγματικό χρόνο. Οι μετρήσεις με χρήση της φάσης του φέροντος κύματος είναι σαν μια μετροταινία με διαβαθμίσεις χιλιοστού. Σε αυτή την μετροταινία οι διαβαθμίσεις των μέτρων δεν φαίνονται άμεσα όταν λαμβάνουμε το σήμα των δορυφόρων με τον δέκτη μας. Πρέπει να περιμένουμε κάποιο χρονικό διάστημα για να εμφανιστούν οι διαβαθμίσεις των μέτρων και να ολοκληρώσουμε τις μετρήσεις (όπως μια φωτογραφία στιγμής Polaroid). Αυτός είναι ο χρόνος που απαιτείται για να επιλυθεί η ασάφεια φάσης. Όσο περισσότερο χρόνο περιμένουμε τόσο και πιο καθαρές γίνονται οι διαβαθμίσεις των μέτρων (όπως στις φωτογραφίες Polaroid). Όταν οι διαβαθμίσεις των μέτρων εμφανιστούν, παραμένουν ξεκάθαρες και μπορούμε να κάνουμε άμεσες μετρήσεις ασταμάτητα όσο ο δέκτης μας λαμβάνει σήματα από τους δορυφόρους. Όταν χαθεί η επαφή με τους δορυφόρους οι διαβαθμίσεις των

μέτρων εξαφανίζονται και χρειάζεται να περιμένουμε πάλι για να επιλυθεί η ασάφεια φάσης και να εμφανιστούν οι διαβαθμίσεις των μέτρων.

Σε περίπτωση που η επαφή με τους δορυφόρους διακόπτεται για μικρό χρονικό διάστημα, ο δέκτης μπορεί να βασιστεί στον υπολογισμό των ακεραίων κύκλων από τις προηγούμενες μετρήσεις.

Σε περίπτωση που ο υπολογισμός των ακεραίων κύκλων είναι ανακριβής ή έχουμε cycle slip, είναι σαν να έχουμε διαβάσει λάθος διαβάθμιση μέτρου στην μετροταινία που προαναφέραμε. Δηλαδή είναι σαν να έχουμε υπολογίσει μια απόσταση 4.784 μέτρων σαν απόσταση 3.784 μέτρων. Ενώ διαβάσαμε σωστά την διαβάθμιση των χιλιοστών κάναμε λάθος στην ανάγνωση των μέτρων.

Όταν ένας δέκτης έχει επιλύσει την ασάφεια φάσης, η ακρίβεια στον υπολογισμό της θέσης είναι μεταξύ 0.5cm και 2cm οριζοντιογραφικά και μεταξύ 1cm με 5cm υψομετρικά (εξαρτώμενη από την ικανότητα της κεραίας να εξαλείφει το “multipath”) συν 1 ppm για δέκτες δύο συχνοτήτων και 2 ppm για δέκτες μίας συχνότητας.

Το κλειδί, λοιπόν, στις μετρήσεις RTK είναι η επίλυση της ασάφειας φάσης. Το μεγάλο ερώτημα είναι πόσο χρόνο χρειάζεται για να επιλυθεί η ασάφεια φάσης αξιόπιστα από την στιγμή που ο δέκτης λαμβάνει σήματα από τους δορυφόρους (minimum 4 δορυφόρους). Σε περίπτωση που δεν επιλυθεί σωστά η ασάφεια φάσης τότε είναι σαν να έχουμε διαβάσει λάθος της διαβαθμίσεις των μέτρων και να συγκεντρωνόμαστε στην ανάγνωση των χιλιοστών όπως προαναφέραμε.

Για μικρές βάσεις (<10Km) ο χρόνος ο οποίος απαιτείται για την επίλυση της ασάφειας φάσης εξαρτάται από τις επόμενες παραμέτρους:

- Το επίπεδο εμπιστοσύνης που έχει τεθεί για τον υπολογισμό του αριθμού των ακεραίων κύκλων
- Τον αριθμό των δορυφόρων
- Το είδος των δεκτών (μιας ή δύο συχνοτήτων)
- Την επίδραση του σφάλματος πολλαπλών διαδρομών “multipath” (συντελεστής ανακλασιμότητας του εδάφους)
- Την ικανότητα εξάλειψης του “multipath” από την κεραία

Ο χρόνος που απαιτείται για να επιλυθεί η ασάφεια φάσης περιγράφεται στην συνέχεια για κάθε παράμετρο ξεχωριστά για να κατανοηθεί η σημασία της κάθε παραμέτρου:

- Αν για όλες τις άλλες παραμέτρους ισχύουν τα ίδια, είναι πιθανό να χρειάζονται 10sec για την επίλυση της ασάφειας φάσης με επίπεδο εμπιστοσύνης 99% και 100sec για επίπεδο εμπιστοσύνης 99.9%.
- Αν για όλες τις άλλες παραμέτρους ισχύουν τα ίδια, είναι πιθανό να χρειάζεται 1sec για να επιλυθεί η ασάφεια φάσης με 15 δορυφόρους αλλά να χρειάζεται 100sec με 8 δορυφόρους. Στην ίδια περίπτωση μπορεί να χρειάζεται 10min για να επιλυθεί με 6 δορυφόρους.

- Αν για όλες τις άλλες παραμέτρους ισχύουν τα ίδια, είναι πιθανό να χρειάζονται 10sec χρησιμοποιώντας δέκτες δύο συχνοτήτων και 2min χρησιμοποιώντας δέκτες μιας συχνότητας. Χρησιμοποιώντας δέκτες δύο συχνοτήτων για μικρές βάσεις είναι σαν να χρησιμοποιούμε 50% περισσότερους δορυφόρους από ότι αν ήταν μιας συχνότητας. Δηλαδή 6 δορυφόροι με δέκτες δύο συχνοτήτων είναι σαν 9 με δέκτες μιας συχνότητας.
- Αν για όλες τις άλλες παραμέτρους ισχύουν τα ίδια, είναι πιθανό να χρειάζονται 10sec για μετρήσεις σε στεγνό έδαφος και 20sec σε βρεγμένο έδαφος. Στο βρεγμένο έδαφος οι αντανακλάσεις είναι τόσο ισχυρές όσο και το απευθείας σήμα.
- Αν για όλες τις άλλες παραμέτρους ισχύουν τα ίδια, είναι πιθανό να χρειάζονται 10sec για την επίλυση της ασάφειας φάσης με μια κεραία που εξαλείφει αρκετά το “multipath” (-35 db down/up ratio) και 200sec με μια συνηθισμένη κεραία (-15 db down/up ratio). Το “multipath” είναι κύριος λόγος της κακής εκτίμησης του ακριβούς αριθμού των ακεραίων κύκλων.

Ο αριθμός των χρησιμοποιούμενων δορυφόρων είναι η κυριότερη παράμετρος για την αξιόπιστη και γρήγορη επίλυση της ασάφειας φάσης. Σαν κανόνα μπορούμε να πούμε ότι χρειάζονται τουλάχιστον 8 δορυφόροι για μικρές βάσεις. Σε αυτές τις βάσεις οι δύο συχνότητες παίζουν ρόλο πολλαπλασιαστή των δορυφόρων επί 1.5.

Για μεγάλες βάσεις απαιτούνται τουλάχιστον 8 δορυφόροι από δύο συχνότητες.

Μόνο του το GPS παρέχει το 32% της ημέρας 8 δορυφόρους και μόνο το 5% της ημέρας 9 δορυφόρους.

Μόνο του το GPS παρέχει 6 δορυφόρους για το 96% της ημέρας. Αυτό σημαίνει ότι ο αριθμός των δορυφόρων είναι ικανοποιητικός για RTK μικρών βάσεων αφού αντιστοιχεί με δέκτη μιας συχνότητας που λαμβάνει 9 δορυφόρους.

Το GPS+GLONASS παρέχει το 99% της ημέρας τουλάχιστον 9 δορυφόρους και περισσότερους από 11 το 10.96% της ημέρας.

RTK με δέκτες μιας συχνότητας που λαμβάνουν μόνο GPS δορυφόρους μπορεί να γίνει σπάνια για μικρές βάσεις (5% της ημέρας) και ποτέ για μεγάλες.

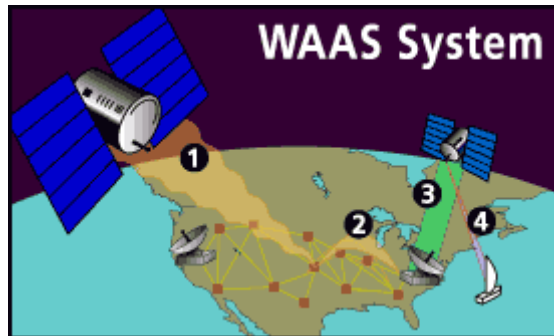
RTK με δέκτες που λαμβάνουν GPS+GLONASS μιας συχνότητας μπορεί να γίνει ικανοποιητικά για το 99% της ημέρας για μικρές βάσεις αλλά ποτέ για μεγάλες.

RTK με δέκτες δύο συχνοτήτων που λαμβάνουν μόνο GPS μπορεί να γίνει ικανοποιητικά για το 96% της ημέρας για μικρές βάσεις αλλά σπάνια για μεγάλες.

Το μόνο σύστημα το οποίο μπορεί να δουλέψει πάντα ικανοποιητικά RTK για μικρές και μεγάλες βάσεις είναι το GPS+GLONASS δύο συχνοτήτων.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### *WAAS (Wide Area Augmentation System)*



### Εισαγωγή

Το WAAS είναι ένα σύστημα ναυσιπλοΐας, βασισμένο στο GPS, που παρέχει οδηγίες ακρίβειας στα αεροσκάφη σε χιλιάδες αερολιμένες και διαδρόμους προσγείωσης όπου δεν υπάρχει δυνατότητα ακρίβειας στην προσγείωση. Τα συστήματα όπως το WAAS είναι γνωστά ως δορυφορικά συστήματα αύξησης (SBAS). Το WAAS έχει ως σκοπό να βελτιώσει την ακρίβεια και να εξασφαλίσει την ακεραιότητα των πληροφοριών που προέρχονται από τους δορυφόρους GPS. Η FAA χρησιμοποιεί το WAAS για να παρέχει δυνατότητα πλευρικής/κάθετης ναυσιπλοΐας (Lateral Navigation/Vertical Navigation-LNAV/VNAV). Ταυτόχρονα, η FAA θα προσπαθήσει, στα επόμενα έτη, να επιτύχει το GNSS Σύστημα Προσγείωσης (GNSS Landing System-GLS). Το WAAS επιβεβαίωσε, μετά από τεστ το Σεπτέμβριο του 2002, απόδοση ακρίβειας 1-2 μέτρα οριζόντια και 2-3 μέτρα κατακόρυφα στην πλειοψηφία των ηπειρωτικών ΗΠΑ και ορισμένου μέρους της Αλάσκας.

### 2.1 Πώς λειτουργεί το WAAS

Αντίθετα από τις παραδοσιακές επίγειες ενισχύσεις ναυσιπλοΐας, το WAAS θα καλύψει σχεδόν όλο το εθνικό (αμερικανικό) σύστημα εναέριου χώρου (National Airspace System-NAS). Το WAAS παρέχει τις πληροφορίες αύξησης στους δέκτες GPS για να ενισχύσει την ακρίβεια και την αξιοπιστία των εκτιμήσεων θέσης.

Τα σήματα από τους δορυφόρους GPS παραλαμβάνονται πέρα από το NAS σε πολλούς ευρέως-χωρισμένους σταθμούς WRS (Wide Area Reference Stations). Οι WRS θέσεις χαρτογράφονται ακριβώς, έτσι ώστε οποιαδήποτε λάθη στα λαμβανόμενα σήματα GPS να μπορούν να ανιχνευθούν.

Οι πληροφορίες GPS που συλλέγονται από τις WRS περιοχές διαβιβάζονται στον κύριο σταθμό του WAAS (WAAS Master Station-WMS) μέσω ενός επίγειου δικτύου επικοινωνιών. Στο

WMS, παράγονται τα μηνύματα αύξησης του WAAS. Αυτά τα μηνύματα περιέχουν πληροφορίες που επιτρέπουν στους δέκτες GPS να αφαιρέσουν τα λάθη στο σήμα GPS, με αποτέλεσμα μια σημαντική αύξηση στην ακρίβεια και την αξιοπιστία θέσης.

Τα μηνύματα αύξησης στέλνονται από το WMS uplink στους σταθμούς για να διαβιβαστούν στα ωφέλιμα φορτία ναυσιπλοΐας στους γεωστατικούς δορυφόρους επικοινωνιών.

Τα ωφέλιμα φορτία ναυσιπλοΐας αναμεταδίδουν τα μηνύματα αύξησης σε ένα σήμα παρόμοιο με του GPS. Ο δέκτης GPS /WAAS επεξεργάζεται το μήνυμα αύξησης του WAAS ως τμήμα του υπολογισμού θέσης. Το παρόμοιο με του GPS σήμα ,από τον αναμεταδότη ναυσιπλοΐας, μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί από το δέκτη ως πρόσθετη πηγή για τον υπολογισμό της θέσης του χρήστη.

Το WAAS παρέχει επίσης τις ενδείξεις στους δέκτες GPS/WAAS όταν το σύστημα GPS είναι ακατάλληλο προς χρήση λόγω λαθών του συστήματος ή άλλων επιδράσεων. Επιπλέον, το σύστημα WAAS σχεδιάστηκε με βάση τα ακριβέστερα πρότυπα ασφάλειας (οι χρήστες ειδοποιούνται μέσα σε έξι δευτερόλεπτα για οποιαδήποτε εκπομπή παραπλανητικών πληροφοριών που θα μπορούσαν να προκαλέσουν ένα λάθος στην εκτίμηση θέσης του GPS).

## 2.2 Δομή του προγράμματος WAAS

Για να αναπτυχθεί και να τοποθετηθεί ένα σύστημα τόσο σύνθετο όπως το WAAS, υπάρχει ένα πλήθος από ενισχυτικές δραστηριότητες πίσω από αυτό.

Το πρόγραμμα WAAS αποτελείται από διάφορες λειτουργικές περιοχές:

- **Έρευνα και ανάπτυξη του WAAS** - Εστιάζει στα ιονοσφαιρικά ζητήματα, στην ανάπτυξη κεραιών για να μετριάσει τα multi-path, στην επεκτασιμότητα στη Αλάσκα, και στην υποστήριξη της επιτροπής ακεραιότητας και απόδοσης του WAAS (WAAS Integrity and Performance Panel-WIPP). Το εθνικό δορυφορικό πεδίο δοκιμής (National Satellite Test Bed NSTB) επιτρέπει ένα μεγαλύτερο μέρος της εργασίας R&D.
- **Εφαρμοσμένη μηχανική του WAAS** - Παρέχει την επίβλεψη της εργασίας του κύριου αναδόχου του WAAS για να εξασφαλιστεί ότι όλες οι πτυχές της εφαρμοσμένης μηχανικής συστημάτων συνεργάζονται.
- **Αρχιτεκτονική του WAAS** - Αναθεωρεί και ελέγχει τη γενική έννοια του WAAS για να εξασφαλιστεί ότι το WAAS εφαρμόζεται κατάλληλα.
- **Τεχνολογία λογισμικού του WAAS** - Αναθεωρεί τα CDRLs και τα προϊόντα τα σχετικά με λογισμικό που παραλαμβάνονται από τον κύριο ανάδοχο (Raytheon) για να εξασφαλιστεί ότι ακολουθούνται κατάλληλες διαδικασίες ανάπτυξης S/W περιλαμβανομένης της RTCA- 178b.
- **Υποστήριξη της WIPP του WAAS** - Οδηγεί την ανάπτυξη των ελέγχων ακεραιότητας S/W για το WAAS. Προεδρεύεται από κοινού από τη FAA και το πανεπιστήμιο του Stanford.

- **Δοκιμή και αξιολόγηση του WAAS** - Εξασφαλίζει ότι η δοκιμή του WAAS είναι επαρκής και πλήρης.
- **Ασφάλεια του WAAS** - Εξασφαλίζει ότι οι οντότητες χωρίς κατάλληλη έγκριση δεν μπορούν να χρησιμοποιήσουν ή να συμβιβάσουν το WAAS.
- **Υποστήριξη μετάβασης και τομέων του WAAS** - Εξασφαλίζει ότι όλες οι ενισχυτικές προσπάθειες ολοκληρώνονται για να μετακινήσουν το WAAS από την R&D, μέσω της απόκτησης, σε ένα λειτουργικό σύστημα.
- **GEO SAT απόκτηση του WAAS** - Εξασφαλίζει τον επαρκή αριθμό γεωστατικών δορυφόρων για να παρέχει την απαραίτητες κάλυψη και διαθεσιμότητα.
- **Επεξεργασία βελτίωσης/ενσωμάτωσης του πρότυπου ωριμότητας ικανότητας του WAAS** - Ενισχύει τις διαδικασίες και τη συνεχή βελτίωση αυτών των διαδικασιών των σχετικών με το πρόγραμμα WAAS.
- **Διαχείριση κινδύνου του WAAS** - Προσδιορίζει, αναλύει ταξινομεί, μετριάζει, και ανιχνεύει τους σχετικούς με το WAAS κινδύνους.
- **Διαχείριση εξακρίβωσης του WAAS** - Εξασφαλίζει ότι όλα τα συστατικά του WAAS, και το hardware και το software, διαχειρίζονται και διατηρούνται με τον κατάλληλο τρόπο και σύμφωνα με τις απαιτήσεις της FAA.
- **Συμβάσεις/χρηματοδοτήσεις του WAAS** - Διαχειρίζεται το κόστος, το πρόγραμμα, και την απόδοση του κύριου αναδόχου και αναθεωρεί όλα τα προϊόντα.
- **Διοίκηση Επιχειρήσεων του WAAS** - Υποστηρίζει και διαχειρίζεται τη διαδικασία προϋπολογισμών του WAAS.
- **Προγραμματισμός σχεδίασης/τεκμηρίωσης του WAAS** - Αναπτύσει και διατηρεί τα έγγραφα στρατηγικού προγραμματισμού και τα έγγραφα συστημάτων διαχείρισης αποκτήσεων (Acquisition Management System-AMS) που απαιτούνται από τη διαδικασία AMS.

## 2.3 Απόδοση WAAS

### 2.3.1 Χαρακτηριστικά απόδοσης

Καθώς οι δορυφόροι GPS αλλάζουν θέση και οι ιονοσφαιρικοί όροι κυμαίνονται, παρουσιάζονται μικρές διακυμάνσεις στην κάλυψη και στην απόδοση του WAAS. Το WAAS έχει ως σκοπό να αποδώσει μέσα σε ένα αυστηρό σύνολο απαιτήσεων. Εάν η απόδοση του πέφτει κάτω από αυτές τις απαιτήσεις, πρέπει να παρέχει μια ανακοίνωση στο δέκτη WAAS ,μέσα σε δευτερόλεπτα,για τις όποιες ανωμαλίες. Πολύ συχνά, η πραγματική απόδοση του WAAS υπερβαίνει τις προδιαγραφές. Αν και είναι σχεδιασμένο να λειτουργήσει μέσα σε μια ακρίβεια 7,6 m κάθετα και οριζόντια, δίνει με συνέπεια ακρίβεια μέσα σε 1 - 2 m οριζόντια και 2 - 3 m κατακόρυφα στην πλειοψηφία των ηπειρωτικών ΗΠΑ και των μερίδων της Αλάσκας.

### **2.3.2 Περιοχή κάλυψης απόδοσης**

Το WAAS εφαρμόζεται αυτήν την περίοδο στις Ηνωμένες Πολιτείες. Αν και το σήμα WAAS μπορεί να παραληφθεί έξω από τις ΗΠΑ, το σήμα είναι αληθινά πολύτιμο μόνο στις περιοχές κάλυψης κοντά στους σταθμούς αναφοράς WAAS (wrs), οι οποίοι αυτήν την περίοδο βρίσκονται μόνο στις ΗΠΑ. Μερικά έθνη εξετάζουν την προσθήκη των σταθμών αναφοράς WAAS στο έδαφός τους, το οποίο θα συνδέεται πίσω στο αμερικανικό σύστημα. Άλλα έθνη εξετάζουν την ανάπτυξη ενός δορυφορικού συστήμα αύξησης (Satellite-Based Augmentation System-SBAS) παρόμοιου με το WAAS που να είναι διαλειτουργικό με το WAAS (EGNOS). Για λόγους διαλειτουργικότητας, το σύστημα πρέπει να σχεδιαστεί σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα οργάνωσης πολιτικής αεροπορίας (International Civil Aviation Organization-ICAO) και τις συνιστώμενες πρακτικές (SARPS).

## **2.4 Τα οφέλη του WAAS**

Η FAA έχει αναπτύξει το WAAS για να ικανοποιήσει τις ανάγκες της αεροπορίας. Αντίθετα από τις παραδοσιακές επίγειες ενισχύσεις στην πλοήγηση, που παρέχουν μόνο υπηρεσίες εντοπισμού, το WAAS καλύπτει την πλειοψηφία των ηπειρωτικών ΗΠΑ, συμπεριλαμβανομένης της Χαβάης, και μια σημαντική μερίδα της Αλάσκας. Είναι ένα εξαιρετικά ακριβές σύστημα πλοήγησης που χρησιμοποιείται κυρίως από την πολιτική αεροπορία.

Το WAAS βελτιώνεται επάνω στην υπηρεσία που παρέχεται αυτήν την περίοδο από το GPS. Παρέχει οδηγίες που μπορούν να καθοδηγήσουν τα αεροσκάφη από την απογείωση κατευθείαν σε κατάσταση «en route» με προσέγγιση ακρίβειας 250 πόδια επάνω από το touchdown. Αντίθετα από τις συμβατικές επίγειες ενισχύσεις ναυσιπλοΐας, το WAAS παρέχει κάθετες οδηγίες (vertical guidance) σε όλες τις φάσεις της πτήσης. Αυτό επιτρέπει στο σύστημα να παρέχει ένα επίπεδο ασφάλειας που ήταν μη διαθέσιμο. Το WAAS παρέχει συχνά ακρίβεια 2 - 3 μέτρα horizontal, και 1 -2 μέτρα vertical. Κατά συνέπεια, είναι ένα κρίσιμο συστατικό του στρατηγικού στόχου της FAA για ένα «άνευ ραφής» δορυφορικό σύστημα ναυσιπλοΐας για την πολιτική αεροπορία με στόχο να μειωθούν οι λειτουργικές δαπάνες και να βελτιωθεί η χωρητικότητα και η ασφάλεια του εναέριου χώρου.

Η υπηρεσία ναυσιπλοΐας που προσφέρει το WAAS έχει οφέλη για ποικίλες ομάδες, όπως:

- Η γενική αεροπορία
- Οι αερογραμμές
- Η ομοσπονδιακή διοίκηση αεροπορίας
- Οι μη-αεροπορικές εφαρμογές

### **2.4.1 Οφέλη στην αεροπορία**

Το WAAS παρέχει σημαντικά οφέλη στην αεροπορία. Αυτά τα οφέλη περιλαμβάνουν την αύξηση της ασφάλειας, την βελτίωση της αποδοτικότητας, και τη μείωση κόστους. Τα παραδείγματα των οφελών του WAAS στη αεροπορία περιλαμβάνουν τα εξής:

**Το WAAS εξαλείφει τις επιδράσεις του γήινου περιβάλλοντος.**

Δεδομένου ότι στο WAAS, όπως και στο GPS, η μετάδοση γίνεται από δορυφόρους και όχι από το έδαφος μέσω μιας ραδιοφωνικής μετάδοσης οπτικής επαφής, οι πιλότοι δεν πρέπει να ανησυχούν για την απώλεια του σήματος πίσω από μια ορεινή έκταση (όπως παραδείγματος χάριν στις περιοχές της Αριζόνα όπου τα βουνά εμποδίζουν συχνά την λήψη των σημάτων VOR) ή από άλλα εμπόδια. Αυτό το χαρακτηριστικό γνώρισμα καθιστά το WAAS πολύτιμο κατά τις πτήσεις σε περιοχές όπου επικρατούν τέτοια εμπόδια. Το WAAS προσθέτει επίσης την απαραίτητη ακρίβεια και ακεραιότητα για να υποστηρίξει πτήσης μέσω οργάνων (instrument flight).

**Το WAAS παρέχει σήματα ναυσιπλοΐας σε εθνικό επίπεδο.**

Το σήμα WAAS καλύπτει τις Ηνωμένες Πολιτείες, παρέχοντας αποτελεσματικά την δυνατότητα ναυσιπλοΐας σχεδόν σε όλες τις περιοχές των ΗΠΑ, έτσι οι πιλότοι κατά το σχεδιασμό των διαδρομών πτήσης τους δεν περιορίζονται από τις θέσεις των επίγειων navaids. Επιπλέον, λόγω των υψηλών επιπέδων αξιοπιστίας και διαθεσιμότητας που υπάρχουν στο WAAS, οι πιλότοι μπορούν να αισθανθούν μια μεγαλύτερη αίσθηση εμπιστοσύνης λόγω του ότι το σήμα ναυσιπλοΐας θα είναι εκεί όταν το χρειάζονται μέσα στην εκτενή περιοχή κάλυψης του WAAS. Το ένα μέρος του εξοπλισμού (WAAS TSO δέκτης) μπορεί να παρέχει στον αεροπόρο αξιόπιστη ναυσιπλοΐα οπουδήποτε μέσα στην περιοχή κάλυψης του WAAS.

**Το WAAS παρέχει ένα υψηλής ποιότητας σήμα τοποθέτησης (positioning signal).**

Η διαθεσιμότητα ενός τέτοιου υψηλής ποιότητας σήματος WAAS έχει, όπως προαναφέραμε, ακρίβεια 2 -3 μέτρων κάθετα και 1-2 μέτρων οριζόντια. Επιπλέον, το WAAS λειτουργεί κάτω από πολύ αυστηρές απαιτήσεις ακεραιότητας και διαθεσιμότητας.

**Το WAAS επιτρέπει την ασφαλή ναυσιπλοΐα στα χαμηλά ύψη.**

Ο αρκετά ακριβής προσδιορισμός θέσης και η εύρωστη ακεραιότητα του WAAS επιτρέπουν τις χαμηλού ύψους διαδρομές. Τέτοιες διαδρομές παρέχουν προστασία από παγοποίηση μερών του αεροσκάφους και πρακτικές οδηγίες σε εκτάσεις με πολλά εμπόδια. Το Capstone, ένα αεροπορικό πρόγραμμα που χρησιμοποιείται στην Αλάσκα, χρησιμοποιεί το GPS και το WAAS για να υποστηρίξει τέτοιες χαμηλού ύψους διαδρομές. Ο ειδικός ομοσπονδιακός κανονισμός της αεροπορίας (Special Federal Aviation Regulation-SFAR 97) επιτρέπει στους εκπαιδευμένους πιλότους που εξοπλίζονται με WAAS/GPS TSO C145/146 δέκτη να πετάνε σε χαμηλότερο από το συνηθισμένο ύψος. Η αρχική εφαρμογή του SFAR έχει διαπλάτνει σε 41000 πόδια το χρησιμοποιούμενο εναέριο χώρο, ο οποίος απλώνεται σε 1.521 ναυτικά μίλια στις υπάρχουσες διαδρομές στη νοτιοανατολική Αλάσκα. Αν και αυτή η εφαρμογή του WAAS είναι σε αρχικό στάδιο, τα οφέλη είναι σημαντικά.



**Το WAAS παρέχει σημαντικές δυνατότητες σε σχετικά χαμηλό κόστος.**

Από τη στιγμή λειτουργίας του WAAS, οι πρώτοι δέκτες άρχισαν να κάνουν την εμφανισή τους στην αγορά. Αυτές οι μονάδες κυμαίνονταν περίπου από 7.000 δολάρια έως 12000 δολάρια εντούτοις, παρέχουν επίσης, εκτός από την ναυσιπλοΐα WAAS, κινούμενους χάρτες και συστήματα προειδοποίησης-ενημέρωσης εκτάσεων. Αν και αυτές οι μονάδες μπορεί να μην είναι ακόμα σε προσιτές τιμές, οι πιο πρόσφατες μονάδες είναι σημαντικά λιγότερο δαπανηρές από τον εξοπλισμό ναυσιπλοΐας που χρησιμοποιείται στα επιβατηγά αεροσκάφη. Επιπλέον, ένα WAAS Box απαιτεί πολύ λιγότερες κτιριακές εγκαταστάσεις από τα μέχρι τώρα συστήματα που χρησιμοποιούνται από τις αερογραμμές. Με το WAAS, ένα box μπορεί να παρέχει καθ'οδόν την δυνατότητα IFR (Instrument Flight Rules) και να επιτρέπει επίσης την δυνατότητα προσέγγισης ακριβείας οπουδήποτε στις ΗΠΑ.

**Το WAAS αυξάνει την διαθεσιμότητα των αεροδιαδρόμων( με ενδυνάμωση των μικρότερων αεροδιαδρόμων) .**

Το WAAS δεν επιτρέπει τα ίδια ελάχιστα με το ILS, αλλά έρχεται πολύ κοντά. Παρέχει μια πιο ακριβή και αξιόπιστη κάθετη θέση ναυσιπλοΐας που δεν παρέχεται από το GPS. Αυτή η κάθετη ακρίβεια, σε συνδυασμό με την αξιοπιστία και την εκτενή περιοχή κάλυψης του WAAS , προσφέρουν μια μοναδική ευκαιρία να επιτραπούν προσεγγίσεις σε χαμηλότερους αεροδιαδρόμους(το WAAS υποστηρίζει LNAV/VNAV και LPV προσεγγίσεις) . Οι πιλότοι που το χρησιμοποιούν μπορούν να πετάξουν σε πολύ χαμηλές προσέγγισης, σε πολλές περιπτώσεις κάτω των 250 ποδιών(ft), χωρίς να χρειάζεται πρόσθετη αύξηση στα αεροσκάφη ή στο έδαφος προκειμένου να πετύχουν ασφαλέστερη κάθετη καθοδήγηση σχετικά με την προσγείωση.Το WAAS δίνει, στους χρήστες της αεροπορίας, τη δυνατότητα να κάνουν κάθετη καθοδήγηση προσέγγισης σε μικρούς αερολιμένες με ή χωρίς πύργους ελέγχου εναέριας κυκλοφορίας, αλλά και όπου ο επίγειος εξοπλισμός ναυσιπλοΐας μπορεί να μην υπάρχει για να παρέχει τις κάθετα-καθοδηγημένες προσεγγίσεις.

Τα υπάρχοντα οφέλη ασφάλειας των κάθετα-καθοδηγημένων προσεγγίσεων, που οδηγούν στους χαμηλούς αεροδιαδρόμους, είναι σημαντικά και καλά τεκμηριωμένα. Για να εκμεταλλευθεί αυτά τα οφέλη ασφάλειας, η FAA έχει ήδη αναπτύξει πάνω από 500 LNAV/VNAV διαδικασίες(από τον Μάρτιο του 2003) για να συμπληρώσει τις ικανότητες του WAAS, και σχεδιάζει να δημοσιεύσει 300 νέες διαδικασίες LNAV/VNAV ετησίως.

**Το WAAS παρέχει μια δομική μονάδα (Building Block) για άλλες εφαρμογές υψηλής τεχνολογίας.**

Εκτός από την παροχή ενός σήματος για τη ναυσιπλοΐα, το WAAS επιτρέπει επίσης πίο προηγμένες τεχνολογίες επιτήρησης. Το WAAS προσφέρει βελτίωση σε σήματα ναυσιπλοΐας που χρησιμοποιούνται σε παλιότερες εφαρμογές. Ένα παράδειγμα για το πώς χρησιμοποιείται ως ενισχυτική τεχνολογία στη φάση II του προγράμματος Capstone στην Αλάσκα είναι ότι το τμήμα ναυσιπλοΐας της φάσης II Capstone έχει ως εισαγωγή (input) ένα TSO C145 δέκτη

WAAS. Το WAAS μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ως εισαγωγή (input) σε τεχνολογίες επιτήρησης ADS (Automatic Dependent Surveillance), ADS-Broadcast (B) και σε άλλες εφαρμογές αποφυγής σύγκρουσης. Η χρήση των ακριβών πληροφοριών θέσης του WAAS που στέλνονται στο ADS-B στο CDTI (Cockpit Displays of Traffic Information), και στις οθόνες με τους μεταβλητούς χάρτες, θα καταστήσουν τους πιλότους πιο ενήμερους για την παρουσία και τη θέση χαρακτηριστικών γνωρισμάτων, δομών, και άλλων οχημάτων στην επιφάνεια κάτω απ' όλες τις καιρικές συνθήκες. Η χρήση του WAAS σε αυτούς τους τύπους των εφαρμογών καταδεικνύει μερικά από τα εκτεταμένα οφέλη του WAAS πέρα από την ακριβή ναυσιπλοΐα.

#### **2.4.2 Οφέλη αερογραμμών**

Το GPS έχει υιοθετηθεί από αρκετές αερογραμμές, και έχει ενσωματωθεί ως μέσο ναυσιπλοΐας στον ήδη σύνθετο εξοπλισμό που χρησιμοποιούν οι αερογραμμές, αποκομίζοντας έτσι πολλά οφέλη. Με την διαθεσιμότητα του WAAS αυτά τα οφέλη έχουν αυξηθεί σημαντικά. Το WAAS βοηθάει έτσι ώστε το GPS να προσφέρει υψηλότερη αξιοπιστία διαθεσιμότητα και ακρίβεια.

Λόγω του τρέχοντος, σύνθετου εξοπλισμού ναυσιπλοΐας, το WAAS προσφέρει αρχικά στις αερογραμμές μόνο επαυξητικές δυνατότητες. Εντούτοις, όταν οι αερογραμμές εξοπλιστούν πλήρως, θα δουν σημαντικές βελτιώσεις στην ακρίβεια, διαθεσιμότητα και αξιοπιστία.

Οι τομείς που θα ωφεληθούν είναι οι εξής:

- Βελτιωμένη διαθεσιμότητα της λειτουργίας Satellite-Based navigation.
- Βελτιστοποιημένες πορείες προσέγγισης και αναχώρησης.
- Περιττή χρήση της ικανότητας προσέγγισης ακρίβειας στους αερολιμένες που είναι εξοπλισμένοι με ILS.
- Προσέγγιση ακρίβειας στους αερολιμένες που δεν έχουν ILS.
- Gate-to-Gate δορυφορική ναυσιπλοΐα.

#### **Βελτιωμένη διαθεσιμότητα της λειτουργίας Satellite-Based navigation**

Οι αερογραμμές χρησιμοποιούσαν το GPS ως μέσο ναυσιπλοΐας σε πολλές εφαρμογές καθώς και ως κύριο συντελεστή στο RNP (Required Navigation Performance). Το RNP είναι ένας τρόπος της πλοήγησης που δεν στηρίζεται σε μια συγκεκριμένη ενίσχυση σημάτων ναυσιπλοΐας, αλλά βασίζεται στην απόδοση ενός συνδυασμού inputs. Το GPS είναι ένα από τα inputs που χρησιμοποιούνται για το RNP. Εντούτοις, το GPS μπορεί μερικές φορές να παρέχει λανθασμένες πληροφορίες θέσης, ή μπορεί να μην παρέχει αρκετούς δορυφόρους προκειμένου να δώσει έναν έγκυρο προσδιορισμό θέσης, με αυτές τις αδυναμίες, το GPS μπορεί να χρησιμοποιηθεί μέχρι ένα ορισμένο βαθμό σε τέτοιου είδους εφαρμογές όπως το RNP. Το WAAS παρέχει ειδοποιήσεις και διορθώσεις για τις πτυχές απόδοσης του GPS, και κατά συνέπεια, παρέχει πιο υψηλά επίπεδα διαθεσιμότητας και αξιοπιστίας ως εισαγωγή (input) στο RNP, απ' ότι το GPS μόνο του.

### **Βελτιστοποιημένες πορείες προσέγγισης και αναχώρησης**

Ο εναέριος χώρος γύρω από ένα αεροδρόμιο είναι συχνά κορεσμένος με τα αεροσκάφη που προσγειώνονται και απογειώνονται. Λόγω των εμποδίων και των περιορισμών που προέρχονται από τα παραδοσιακά συστήματα ενίσχυσης ναυσιπλοΐας, ο αριθμός των εναέριων μονοπατιών μέσα και έξω από μια περιοχή αερολιμένα μπορεί να περιοριστεί. Αυτοί οι περιορισμοί μπορούν να προκαλέσουν καθυστερήσεις πτήσεων κατά τη διάρκεια των περιόδων υψηλής κυκλοφορίας ή κακοκαιρίας. Η δορυφορική ναυσιπλοΐα προσφέρει ένα τεράστιο πλεονέκτημα σε σχέση με τις παραδοσιακές ενισχύσεις ναυσιπλοΐας στο σχεδιασμό των πορειών άφιξης και αναχώρησης. Η δορυφορική ναυσιπλοΐα προσφέρει την ευκαιρία να αναπτυχθούν οι ιδιαίτερα ακριβείς κυρτές πορείες και η δυναμική δρομολόγηση γύρω από τα εμπόδια και τα συγκρουόμενα σχέδια κυκλοφορίας. Το WAAS παρέχει ακριβή προσδιορισμό θέσης μέσα σε 1–2 μέτρα οριζόντια, και 2 -3 μέτρα κάθετα, και υψηλά επίπεδα διαθεσιμότητας και αξιοπιστίας. Αυτός ο συνδυασμός το καθιστά πολύ συμφέρον για χρήση μέσα και έξω από μια περιοχή αερολιμένων.

### **Περιττή χρήση της ικανότητας προσέγγισης ακρίβειας στους αερολιμένες που είναι εξοπλισμένοι με ILS**

Πολλοί αερολιμένες έχουν μόνο ένα ενιαίο ILS ακρίβειας που παρέχει την υπηρεσία σε μόνο έναν διάδρομο. Το WAAS ανοίγει νέους δρόμους στην προσέγγιση ακρίβειας, αφού μπορεί να ενεργήσει ως υποστήριξη σε περίπτωση προβλήματος με το ILS, ή σε περίπτωση προβλήματος με το διάδρομο που χρησιμοποιείται από το ILS. Ένας αερολιμένας με πρόσβαση ακρίβειας μόνο σε έναν διάδρομο, μπορεί με το WAAS να κερδίσει πρόσβαση ακρίβειας σε όλους τους εναλλασόμενους διαδρόμους. Κατά συνέπεια, το WAAS μπορεί να παρέχει έναν σημαντικό ρόλο στη διατήρηση της ικανότητας λειτουργίας ενός αερολιμένα και στη μείωση των καθυστερήσεων.

### **Προσέγγιση ακρίβειας στους αερολιμένες που δεν έχουν ILS**

Αν και τα αεροσκάφη είναι εξοπλισμένα για να κάνουν προσέγγιση ακρίβειας χρησιμοποιώντας το ILS, η περίπλοκη αεροναυτική ηλεκτρονική επί του σκάφους έχει μικρή χρησιμότητα, εάν δεν υπάρχει ο κατάλληλος εξοπλισμός στον αερολιμένα. Για τους αερολιμένες χωρίς επίγεια βοήθεια προσγειώσης ακρίβειας, τα WAAS-εξοπλισμένα αεροσκάφη θα έχουν την ικανότητα να κάνουν προσγειώσης ακρίβειας ακόμα και με κακές καιρικές συνθήκες. Λόγω της ευρέους διαδεδομένης φύσης του σήματος WAAS, η υπηρεσία WAAS είναι διαθέσιμη σε όλους τους αερολιμένες μέσα στην περιοχή κάλυψης του WAAS όπου οι απαραίτητες παρεχόμενες διαδικασίες προσέγγισης είναι σε ισχύ. Υπό αυτήν τη μορφή, οι αερογραμμές τροφοδοσίας που χρησιμοποιούν μικρότερους αερολιμένες μη-ILS με την βοήθεια του WAAS θα είναι πιο εύκολο να ξεπεράσουν τις καθυστερήσεις. Το WAAS θα βοηθήσει να προωθηθούν οι έγκαιρες αφίξεις και αναχωρήσεις στους μικρότερους αερολιμένες συμβάλλοντας στην καλύτερη απόδοση του προγράμματος συνολικά.

### **Gate-to-Gate δορυφορική ναυσιπλοΐα**

Η αεροπορική βιομηχανία κινείται από την επίγεια στην δορυφορική ναυσιπλοΐα. Το WAAS είναι ένα κρίσιμο κομμάτι αυτής της μετάβασης στις ΗΠΑ. Το WAAS έχει αναπτυχθεί για να υποστηρίξει κατα προτεραιότητα την προσέγγιση ακριβείας. Τα συμπληρωματικά δορυφορικά συστήματα ναυσιπλοΐας αναπτύσσονται από την FAA για να καθοδηγούν το αεροσκάφος απο το σημείο που βρίσκεται στον αερολιμένα. Όταν οι υπηρεσίες που παρέχονται από αυτά τα συμπληρωματικά συστήματα συνδυάζονται, το αποτέλεσμα είναι δορυφορική υπηρεσία ναυσιπλοΐας Gate-to-Gate. Για το μέλλον, αυτό θα μπορούσε να οδηγήσει σε ένα πλαίσιο αεροναυτικής ηλεκτρονικής που θα εξυπηρετεί όλες τις φάσεις πτήσης οργάνων. Το WAAS είναι ένα μεγάλο μέρος της κίνησης της FAA από τον παραδοσιακό επίγειο εξοπλισμό ναυσιπλοΐας στις εφαρμογές δορυφορικής ναυσιπλοΐας .

#### **2.4.3 Οφέλη FAA**

Το WAAS παρέχει πολλά οφέλη στην FAA. Αυτά τα οφέλη είναι τα εξής:

- Αύξηση ασφάλειας
- Βελτίωση αποδοτικότητας
- Μείωση κόστους

#### **Αύξηση ασφάλειας**

Το WAAS αυξάνει την σφάλεια με την παροχή μιας ακριβούς και αξιόπιστης υπηρεσίας ναυσιπλοΐας για το μεγαλύτερο μέρος των ΗΠΑ.

#### **Κάθετη καθοδήγηση για τις προσεγγίσεις**

Η κάθετη καθοδήγηση είναι το κλειδί σε πολλά από τα οφέλη ασφάλειας του WAAS. Ο ρόλος της κάθετης καθοδήγησης στην πρόληψη ατυχημάτων είναι πολύ σημαντικός. Μια ανάλυση ενός ιδρύματος ασφάλειας πτήσης απέδειξε μια μείωση σχεδόν 8-fold στα ποσοστά ατυχημάτων προσέγγισης για τις προσεγγίσεις με κάθετη καθοδήγηση. Το WAAS παρέχει αυτή την υπηρεσία ναυσιπλοΐας σε όλους τους αερολιμένες μέσα στην περιοχή κάλυψης του WAAS. Οι αερολιμένες που έχουν κατάλληλη υποδομή κερδίζουν την δυνατότητα προσέγγισης οργάνων.

#### **Increased Situational Awareness (Αυξανόμενη περιστασιακή συνειδητοποίηση)**

Εκτός από τα οφέλη ασφάλειας της κάθετης καθοδήγησης για τις προσεγγίσεις, το WAAS παρέχει επίσης υψηλής ποιότητας «Situational Awareness». Η αξιόπιστη «Situational Awareness» είναι σημαντική συνεισφορά στη μείωση της CFIT (controlled flight into terrain). Τα αεροσκάφη είναι σε θέση να πετάξουν με βεβαιότητα σε χαμηλότερα επίπεδα και να αποφύγουν συνθήκες παγοποιήσεις που μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα. Ως αποτέλεσμα αυτών των οφελών, το WAAS έχει εγκριθεί ως βασικό συστατικό της φάσης II του προγράμματος Capstone. Το Capstone είναι μια πρωτοβουλία προκειμένου να βελτιωθεί η

ασφάλεια και η αποδοτικότητα της εναέριας κυκλοφορίας στην Αλάσκα μέσω της χρήσης των νέων τεχνολογιών.

Δεδομένου ότι το WAAS κερδίζει έδαφος στην αεροπορία, αναμένεται ότι θα υιοθετηθεί ως συμβατή τεχνολογία για τις πρόσθετες πρωτοβουλίες ασφάλειας. Οι βελτιώσεις ασφάλειας που παρέχονται από το WAAS είναι σημαντικές.

### **Βελτίωση αποδοτικότητας**

Το WAAS προσφέρει ιδιαίτερα οφέλη στην αποδοτικότητα.

- Απευθείας δρομολόγηση (Direct Routing): Το WAAS επιτρέπει την απευθείας δρομολόγηση σε όλες τις καιρικές συνθήκες. Αν και το GPS επιτρέπει επίσης τις απευθείας πορείες πτήσης, το GPS στερείται της ακεραιότητας σε όλες τις καιρικές συνθήκες. Το WAAS ενισχύει τις δυνατότητες των απευθείας διαδρομών, σε αντιδιαστολή με τις διαδρομές «ζικζακ» που απαιτούνται από τα παραδοσιακά επίγεια συστήματα ναυσιπλοΐας.
- Δυνατότητα πρόσβασης αεροδιαδρόμων (Runway Accessibility): Το WAAS ενισχύει επίσης την αποδοτικότητα με την υποστήριξη της δυνατότητας πρόσβασης σε αεροδιαδρόμους υπο δυσμενείς καιρικές συνθήκες - ειδικά σε αερολιμένες όπου δεν υπάρχει καμία επίγεια ενίσχυση ναυσιπλοΐας. Το WAAS έχει αυξήσει τον αριθμό «προσεγγίσεων μέσω οργάνων» και έχει επεκτείνει την παντός καιρού αυτή υπηρεσία σε ένα μεγάλο αριθμό αερολιμένων και διαδρόμων προσγείωσης. Η FAA έχει αναπτύξει ήδη πάνω από 500 «διαδικασίες» που χρησιμοποιούν τις κάθετες οδηγίες που παρέχονται από το WAAS. Αυτές οι «διαδικασίες» (αναφέρονται ως LNAV/VNAV) κάνουν χρήση του WAAS για να παρέχουν στους πιλότους οδηγίες και μεγαλύτερες δυνατότητες κατά την προσγείωση. Η FAA προγραμματίζει να δημοσιεύσει 300 νέες «διαδικασίες» LNAV/VNAV ετησίως.
- Μεγαλύτερη ευελιξία σε σχέση με τα υπάρχοντα βοηθήματα ναυσιπλοΐας: Ένα άλλο όφελος από το WAAS είναι η ευελιξία του σε σχέση με τα υπάρχοντα βοηθήματα ναυσιπλοΐας. Το WAAS προσφέρει καθορισμένα πλεονεκτήματα όταν υπάρχουν εμπόδια. Σε περιοχές όπου το σύστημα ILS (Instrument Landing System) κολλάει λόγω εμποδίων, οι προσεγγίσεις με το WAAS μπορούν να σχεδιαστούν γύρω από τα εμπόδια προκειμένου να στηρίξουν την πλήρη χρησιμοποίηση της ικανότητας ενός αεροδιαδρόμου.
- Προηγμένη τεχνολογία στο καλύτερο εργατικό δυναμικό υποστήριξης FAA: Το WAAS προσφέρει μια λύση ναυσιπλοΐας υψηλής τεχνολογίας που μπορεί να βελτιώσει τις συνθήκες εργασίας των υπαλλήλων της FAA. Χρησιμοποιώντας την πιο πρόσφατη τεχνολογία, το WAAS προσφέρει αποδοτικότερες λειτουργίες και διαδικασίες συντήρησης από εκείνες που συνδέονται με τα παραδοσιακά συστήματα ναυσιπλοΐας. Οι χειριστές WAAS χρησιμοποιούν οθόνες και δίκτυα υψηλής τεχνολογίας προκειμένου να ελέγχουν το σύστημα 24 ώρες την ημέρα και 7 ημέρες την εβδομάδα. Ο εξοπλισμός του WAAS βρίσκεται στις υπάρχουσες εγκαταστάσεις της FAA, έτσι εάν ανακλυφθεί ένα πρόβλημα με

μια συνιστώσα του συστήματος είναι εύκολο για τους συντηρητές(οι οποίοι έχουν λάβει λεπτομερή κατάρτιση στην τεχνολογία) να έχουν πρόσβαση έτσι ώστε να λυθεί το πρόβλημα.Επιπλέον, οι ελεγκτές εναέριας κυκλοφορίας θα ωφεληθούν από το WAAS αφού παρέχει αυξανόμενες δυνατότητες πλοήγησης δίνοντας έτσι πολλαπλές επιλογές στους ελεγκτες εναέριας κυκλοφορίας κατά τη διαχείριση της κυκλοφορίας. Αναμένεται ότι τα οφέλη που απορρέουν από το WAAS θα βοηθήσουν τους ελεγκτές στο χειρισμό της αυξανόμενης κυκλοφορίας.

### **Μείωση κόστους**

Το WAAS θα επιτρέψει τον αποπλισμό του παλιού και ακριβού ως προς την συντήρηση εξοπλισμού ναυσιπλοΐας. Οι λειτουργικές δαπάνες για ένα μεγάλο μέρος αυτού του εξοπλισμού θα εξαλειφθούν, και οι δαπάνες αντικατάστασης για τον επίγειο εξοπλισμό θα αποφευχθούν. Σύμφωνα με τη στρατηγική της FAA για την ναυσιπλοΐα και την μετάβαση προσγείωσης (Αύγουστος 2002), περίπου 500 απο τα 1.000 VORS θα αποπλιστούν από το 2010 έως το 2014. Επιπλέον, οι προσεγγίσεις WAAS LPV αναμένονται να επιτρέψουν την εξάλειψη ενός αριθμού CAT I ILSs (περίπου 600) απο το 2010. Επιπλέον, χωρίς δαπάνες για νέο εξοπλισμό ή σχετικές διαδικασίες και χωρίς δαπάνες συντήρησης, το WAAS προσθέτει την υπηρεσία ναυσιπλοΐας σε περιοχές που δεν εξυπηρετούνταν προηγουμένως από τα παραδοσιακά συστήματα ναυσιπλοΐας.Το WAAS είναι ένα βασικό συστατικό της μετάβασης της FAA από την επίγεια ναυσιπλοΐα στην space-based ναυσιπλοΐα.

#### **2.4.4 Μη-αεροπορικά οφέλη**

Το σύστημα WAAS σχεδιάστηκε για τους χρήστες της αεροπορίας μέσα στις ηπειρωτικές Ηνωμένες Πολιτείες (Continental United States-CONUS), τη Χαβάη, και μερίδα της Αλάσκας. Εντούτοις, το WAAS μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για μια ευρεία ποικιλία χρήσεων που δεν έχουν να κάνουν με την αεροπορίας. Έτσι λοιπόν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε τομείς όπως η γεωργία, η έρευνα και η αναψυχή.

Το σήμα του WAAS είναι διαθέσιμο για εφαρμογές non safety-of-life από τις 24 Αυγούστου του 2000 και πολυάριθμοι κατασκευαστές έχουν αναπτύξει δέκτες WAAS - GPS για την καταναλωτική αγορά. Σήμερα, υπάρχουν εκατοντάδες χιλιάδες δέκτες WAAS - GPS για μη-αεροπορική χρήση, σε χρήση.

#### **Γεωργία**

Το WAAS έχει γίνει ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο στις γεωργικές εφαρμογές όπως είναι η ακρίβεια στην καλλιέργεια (αυξανόμενες παραγωγές συγκομιδών ελαχιστοποιώντας την εφαρμογή των φυτοφαρμάκων και άλλων χημικών ουσιών). Χωρίς ετήσιες αμοιβές και με αυξανόμενη ακρίβεια, το WAAS έχει ευρεία αποδοχή σε αυτήν την ομάδα χρηστών.

#### **Έρευνα**

Το σήμα του WAAS χρησιμοποιείται για την έρευνα εφαρμογών όπως είναι οι παραδοσιακές έρευνες εδάφους, τα επίγεια καλώδια τηλεπικοινωνιών, τα υποθαλάσσια ripelining, και η τοποθέτηση τρυπανιών πετρελαίου και υποστηλώσεων σταθμών.

### **Αναφυχή**

Το WAAS έχει γίνει πολύ δημοφιλές στους ιδιώτες για χρήση σε ψυχαγωγικές δραστηριότητες, όπως είναι η πεζοπορία, η ορειβασία, η ποδηλασία, το ψάρεμα, το κυνήγι, και η κατασκήνωση. Αυτές οι ομάδες χρηστών απολαμβάνουν την αυξανόμενη ακρίβεια που παίρνουν με έναν δέκτη WAAS - GPS. Αυτοί οι χρήστες πρέπει να ξέρουν ότι το WAAS, όπως το GPS, είναι τρωτό στην κάλυψη εκτάσεων και έχει αδύνατο σήμα κάτω από πυκνή βλάστηση. Το σήμα είναι διαθέσιμο, αλλά οι χρήστες μπορούν να έχουν υπηρεσίες μόνο GPS όπου το WAAS GEO είναι καλυμμένο. Αυτό μπορεί να εμφανιστεί σε κοιλάδες και κάτω από το πυκνό δάσος. Επίσης, οι χρήστες πρέπει να γνωρίζουν ότι ένας δέκτης WAAS - GPS δεν έχει καλό σήμα αν βρίσκεται μέσα σε τσέπη ή σακίδιο πλάτης.

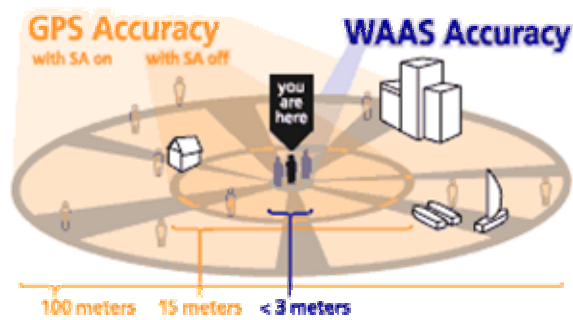
## **2.5 Μελλοντική ανάπτυξη του WAAS**

Συνεχείς βελτιώσεις προγραμματίζονται για το WAAS ώστε να επεκταθούν περαιτέρω τα οφέλη που παρέχει. Το πρώτο σύνολο βελτιώσεων θα εστιάσει στην επέκταση του WAAS. Τα σχέδια είναι να προστεθούν 10 πρόσθετοι σταθμοί αναφοράς WAAS και 3 πρόσθετες συνδέσεις δορυφορικών επικοινωνιών. Αυτή η συνεχής ανάπτυξη θα αυξήσει τη διαθεσιμότητα του σήματος WAAS στους πιλότους, και θα επεκτείνει την περιοχή κάλυψης ώστε να περιλάβει το 100% των ηπειρωτικών ΗΠΑ και το μεγαλύτερο μέρος της Αλάσκας. Άλλες βελτιώσεις θα γίνουν για να ενσωματώσουν τις αλλαγές που συνδέονται με τον εκσυγχρονισμό του GPS. Ταυτόχρονα με τη μελλοντική ανάπτυξη των συστημάτων, η FAA θα συνεχίσει να παράγει και να πολλαπλασιάζει διαδικασίες προσέγγισης για χρήση του WAAS σε όλες τις ΗΠΑ.

Μερικά από τα υψηλού επιπέδου κύρια σημεία για την ανάπτυξη WAAS περιλαμβάνουν:

- Πλήρης λειτουργική ικανότητα WAAS - 2006
  - Το 100% της ηπειρωτικής έκτασης των ΗΠΑ
  - Το μεγαλύτερο μέρος της Αλάσκας
  - 250' Minimum
- GPS L5 ~ 2013
  - WAAS 200' Minimum
  - Ελαχιστοποίηση της παρέμβασης (Interference Mitigation)

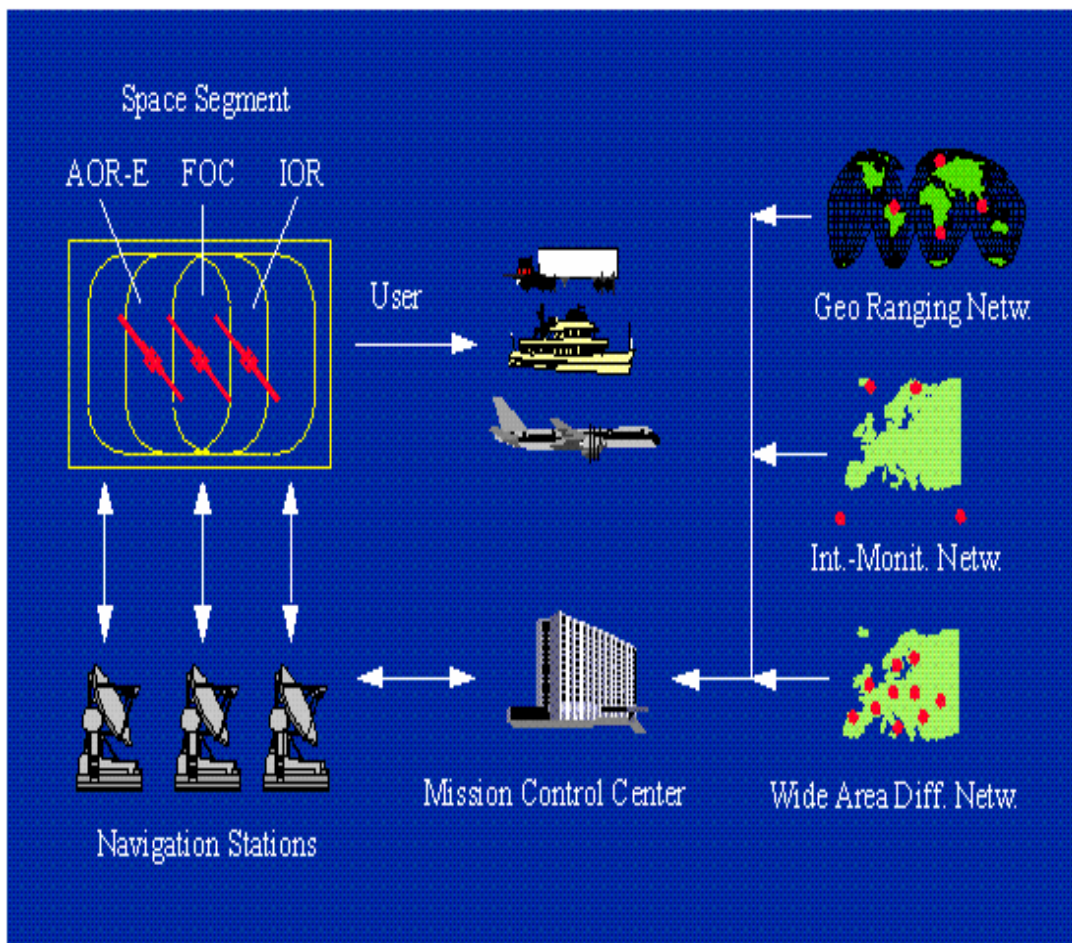
## 2.6 Διαφορές GPS-DGPS-WAAS



- 100 meters : Ακρίβεια του συστήματος GPS, το οποίο υπόκειται στην υποβάθμιση ακρίβειας στο πλαίσιο του κυβερνητικού (US) προγράμματος εκλεκτικής διαθεσιμότητας (SA).
- 15 meters: Ακρίβεια του GPS χωρίς SA.
- 3-5 meters: Ακρίβεια του DGPS.
- < 3 meters: Ακρίβεια του WAAS.



### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3



## **ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Οι εφαρμογές των δορυφόρων για εμπορική χρήση στους τομείς της ναυσιπλοΐας, της επικοινωνίας και της γεω-πληροφόρησης παρουσιάζουν σημαντική ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια. Προς αυτή την κατεύθυνση και με στόχο την πλήρη αξιοποίηση των δυνατοτήτων ενός δορυφορικού συστήματος παγκόσμιας ναυσιπλοΐας, η Ευρώπη αναπτύσσει το σύστημα Galileo, την πρώτη φάση του οποίου αποτελεί το σύστημα EGNOS.

### **Δημιουργία του EOIG: EGNOS Operator & Infrastructure Group**

Αρχικά, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή επρόκειτο να δημιουργήσει μια ευρωπαϊκή αντιπροσωπεία για τη ναυσιπλοΐα. Αυτή η αντιπροσωπεία επρόκειτο να είναι αρμόδια για τη λειτουργία του EGNOS και, προ πάντων, για την αναζήτηση χρηματοδοτήσεων. Είχε ως σκοπό να εξουσιοδοτήσει τη λειτουργία σε ορισμένους οργανισμούς, συμπεριλαμβανομένου αυτών του EOIG, σύμφωνα με τις διμερείς συμφωνίες που υπογράφηκαν με την ευρωπαϊκή διαστημική αντιπροσωπεία (ESA).

Το EOIG γεννήθηκε από την ομαδοποίηση των αρχών πολιτικής αεροπορίας που συμμετέχουν στο πρόγραμμα EGNOS. Λαμβάνοντας υπόψη την απουσία της ευρωπαϊκής αντιπροσωπείας, έπρεπε να δημιουργήσουν μια επαρκή δομή για να πάρουν τη δαπάνη αυτής της επιχείρησης. Αποφασίστηκε να δημιουργηθεί ένα ευρωπαϊκό γκρουπ οικονομικού συμφέροντος (EEIG-European Economic Interest Group), μέσα στο 2000.

### **Δημιουργία της ETG: European Tripartite Group**

Η ευρωπαϊκή τριμερής ομάδα (European Tripartite Group-ETG), (ESA – EC – EUROCONTROL) εφαρμόζει, μέσω του προγράμματος EGNOS, την Ευρωπαϊκή συμβολή στο παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα ναυσιπλοΐας (GNSS-1) που θα παράσχει και θα εγγυηθεί τα σήματα ναυσιπλοΐας για αεροναυτικές, θαλάσσιες και δικτύων εδάφους εφαρμογές.

Η ευρωπαϊκή διαστημική αντιπροσωπεία (ESA) είναι αρμόδια για το σχέδιο συστημάτων, την ανάπτυξη και την τεχνική επικύρωση της Προηγμένης Λειτουργικής Ικανότητας (Advanced Operational Capability-AOC) του συστήματος EGNOS. Έχει κάνει μια σύμβαση με μια κοινοπραξία της οποίας ηγείται η Alcatel Space of France, για να αναπτύξει το σύστημα. Όταν το EGNOS θα είναι σε λειτουργία, ένας χειριστής (operator) θα επιλεγεί για να πάρει την ευθύνη για τις καθημερινές διαδικασίες.

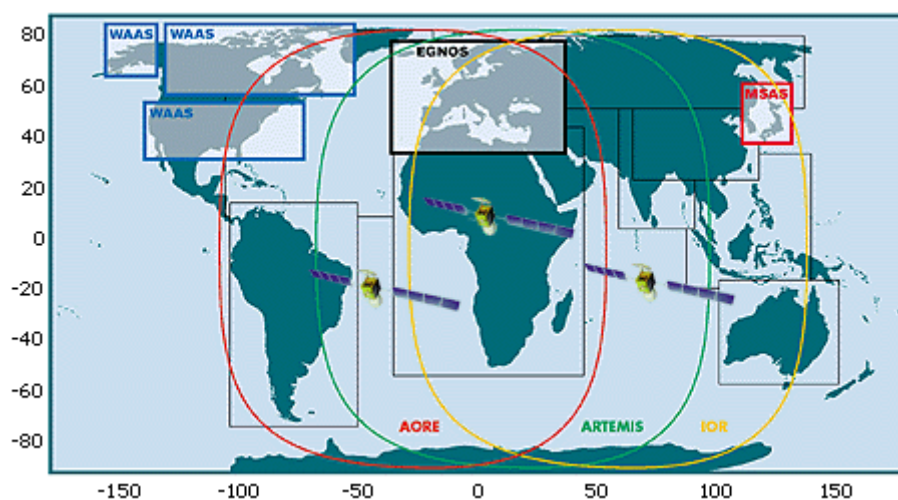
Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή είναι αρμόδια για τη διεθνή συνεργασία και το συντονισμό.

Η Eurocontrol καθορίζει τις ανάγκες της πολιτικής αεροπορίας και διαδραματίζει έναν σημαντικό ρόλο στη δοκιμή του συστήματος. Επιπλέον, διάφοροι εθνικοί χειριστές πολιτικής αεροπορίας και άλλες οργανώσεις υποστηρίζουν την ανάπτυξη EGNOS, τη δοκιμή και την εφαρμογή.

Το EGNOS θα παρέχει πληροφορίες που απαιτούνται για να χρησιμοποιήσουν τα σήματα ναυσιπλοΐας από τους δορυφόρους GPS και GLONASS για κρίσιμες εφαρμογές ασφάλειας. Θα βελτιώσει την ακρίβεια των θέσεων από περίπου 20m σε 5m, θα ενημερώνει τους χρήστες για

λάθη στις μετρήσεις θέσης και θα προειδοποιεί για τη διάσπαση ενός δορυφορικού σήματος μέσα σε έξι δευτερόλεπτα.

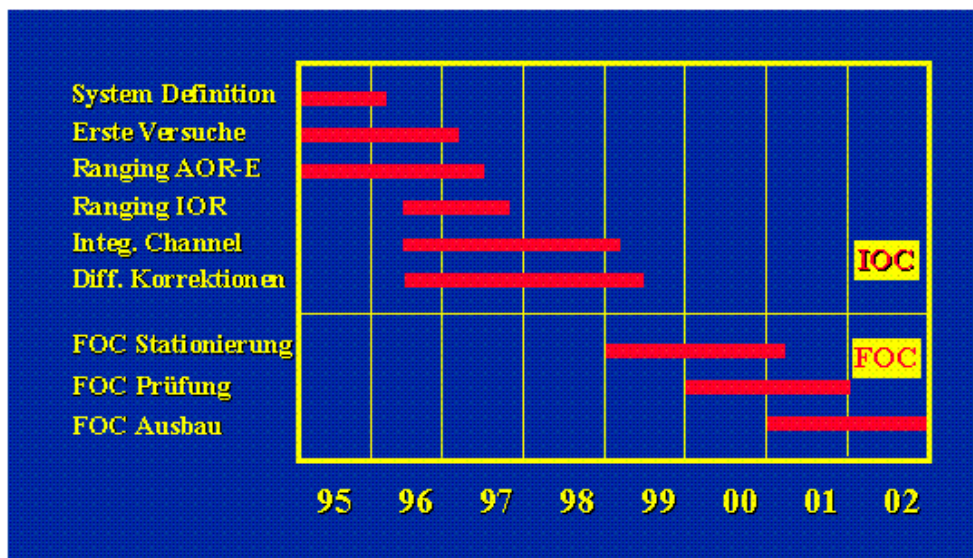
Τρεις γεωστατικοί δορυφόροι και ένα σύνθετο δίκτυο επίγειων σταθμών θα εκτελούν αυτές τις λειτουργίες. Οι τρεις δορυφόροι θα στέλνουν ένα κυμαινόμενο σήμα παρόμοιο με εκείνο που διαβιβάζεται από τους δορυφόρους GPS και GLONASS. Εντούτοις, τα σήματα θα είναι περισσότερα έτσι ώστε οι χρήστες να καθορίζουν την θέση τους με ακρίβεια. Θα παρέχουν επίσης πληροφορίες για την ακρίβεια των μετρήσεων θέσης που παραδίδονται από το GPS και το GLONASS έτσι ώστε ένας οδηγός τραινών, παραδείγματος χάριν, να είναι σε θέση να αξιολογήσει εάν η θέση είναι αρκετά ακριβής έτσι ώστε να μπορεί να βασιστεί σε αυτή. Αυτές οι πληροφορίες, ή τα δεδομένα ακεραιότητας (integrity data), θα διαμορφωθούν επάνω στο κυμαινόμενο σήμα, και τα οποία θα περιλαμβάνουν εξακριβωμένες πληροφορίες για τη θέση κάθε δορυφόρου GPS και GLONASS, την ακρίβεια των ατομικών ρολογιών στους δορυφόρους καθώς και πληροφορίες για διαταραχές μέσα στην ιονόσφαιρα οι οποίες μπορούν να έχουν επιπτώσεις στην ακρίβεια των μετρήσεων προσδιορισμού θέσης. Ο δέκτης EGNOS, που είναι πολύπλοκότερος από έναν τυποποιημένο δορυφορικό δέκτη ναυσιπλοΐας, θα αποκωδικοποιεί το σήμα για να δώσει μια ακριβέστερη θέση σε σχέση με το GPS ή το GLONASS μόνο, καθώς και μια ακριβή εκτίμηση λαθών. Το σήμα EGNOS θα μεταδίδεται από δύο δορυφόρους Inmarsat III, ο ένας βρίσκεται πέρα από το ανατολικό μέρος του Ατλαντικού και ο άλλος πέρα από τον Ινδικό Ωκεανό, και από το δορυφόρο ESA Artemis που είναι στη γεωστατική τροχιά επάνω από την Αφρική. Αντίθετα από τους δορυφόρους GPS και GLONASS, αυτά τα τρία δεν θα έχουν τις γεννήτριες σημάτων 'εν πλώ'. Λειτουργεί στη συχνότητα GPS L1, και έτσι είναι συμβατό με το standard GPS front-ends.



Το EGNOS είναι μια από τρεις δορυφορικές υπηρεσίες αύξησης (Satellite-Based Augmentation Services -SBAS), οι δύο άλλες είναι το αμερικανικό WAAS και το ιαπωνικό MSAS. Η κάλυψη του EGNOS είναι αρχικά η περιοχή ECAC (European Civil Aviation Conference), και αργότερα θα επεκταθεί για να περιλάβει άλλες περιοχές όπως η Αφρική, οι ανατολικές χώρες,

και η Ρωσία. Το EGNOS θα καλύψει, σε συνδυασμό με το GPS και το GLONASS, πολλές απαιτήσεις ταχύτητας και συγχρονισμού των επίγειων, θαλάσσιων και αεροναυτικών τρόπων μεταφοράς, στην περιοχή της ευρώπης.

Το EGNOS εφαρμόστηκε σε δύο βήματα. Η πρώτη φάση οδήγησε σε Αρχική Λειτουργική Ικανότητα (Initial Operational Capability-IOC) στα μέσα του 1999 και η δεύτερη φάση επέφερε την πλήρη λειτουργική ικανότητα του το 2004.



Σχέδιο της διαδικασίας για την ανάπτυξη και το elaboration EGNOS

Το EGNOS αποτελεί ένα συμπλήρωμα των συστημάτων GPS και GLONASS υπό τη μορφή γεωστατικών δορυφόρων που καλύπτουν την περιοχή της Ευρώπης. Με τη χρησιμοποίηση των καθορισμένων αναμεταδοτών ναυσιπλοΐας στους δορυφόρους INMARSAT III και μέσω της συνεχούς αξιολόγησης των παρατηρήσεων ενός δικτύου επίγειων σταθμών ελέγχου, το EGNOS παρέχει μετρήσεις απόστασης, στοιχεία ακεραιότητας και διαφορικές διορθώσεις. Το σύστημα, που είναι ένας συνδυασμός του GPS, του GLONASS και του EGNOS, θα είναι διαθέσιμο σε όλες τις ομάδες χρηστών μέσα στην περιοχή υποδοχής EGNOS.

Το EGNOS είναι το πρώτο βήμα της ευρωπαϊκής δορυφορικής στρατηγικής ναυσιπλοΐας και ένα σημαντικό βήμα προς το Galileo, το μελλοντικό Ευρωπαϊκό δορυφορικό αστερισμό ναυσιπλοΐας.

### **3.1 Το Πρόγραμμα EGNOS**

Το πρόγραμμα EGNOS συντελέστηκε σε δύο διαφορετικές φάσεις: την αρχική φάση και την φάση εφαρμογής AOC.

Η αρχική φάση ολοκληρώθηκε επιτυχώς τον Νοέμβριο του 1998 με την προκαταρκτική αναθεώρηση του σχεδίου του συστήματος (Preliminary Design Review-PDR), και επέτρεψε την αποτελεσματική έναρξη της φάσης εφαρμογής στο τέλος του 1998. Η βιομηχανική ομάδα, η

υπεύθυνη για την ανάπτυξη του EGNOS AOC, οδηγείται από τις διαστημικές βιομηχανίες της Alcatel (Γαλλία) με τη συμμετοχή επιχειρήσεων από όλα τα συμμετέχοντα κράτη, όπως διευκρινίζεται στο επόμενο σχήμα.

### EGNOS INDUSTRIAL CONSORTIUM

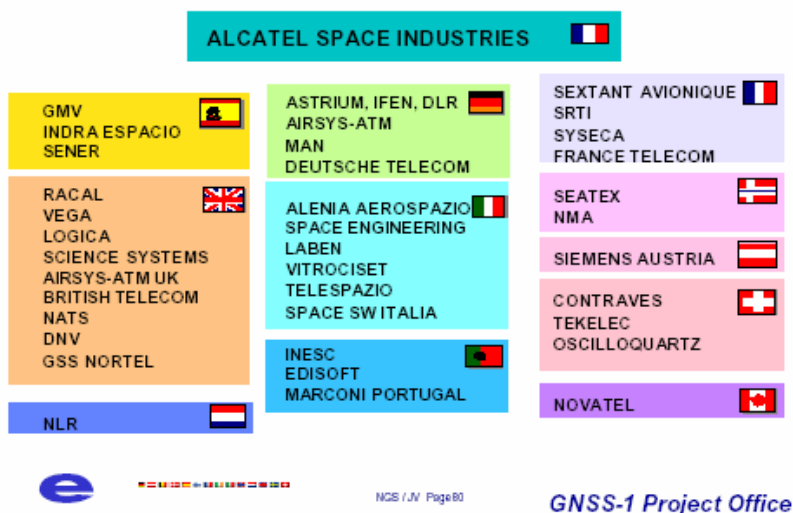


Figure 10: The industrial team in charge of EGNOS AOC

Η πρωταρχική σύμβαση υπογράφηκε με την Alcatel στις 16 Ιουνίου 1999. Τον Δεκέμβριο του 1999, μια σημαντική αλλαγή εφαρμόστηκε για να απεικονίσει τις πιό πρόσφατες εκδόσεις των διεθνών προτύπων. Αυτή η αλλαγή είχε φέρει την κύρια σύμβαση ανάπτυξης σε ένα ποσό της τάξης των 214 εκατομμυρίων €. Το πρόγραμμα της φάσης υλοποίησης του EGNOS AOC παρουσιάζεται στο επόμενο σχήμα.

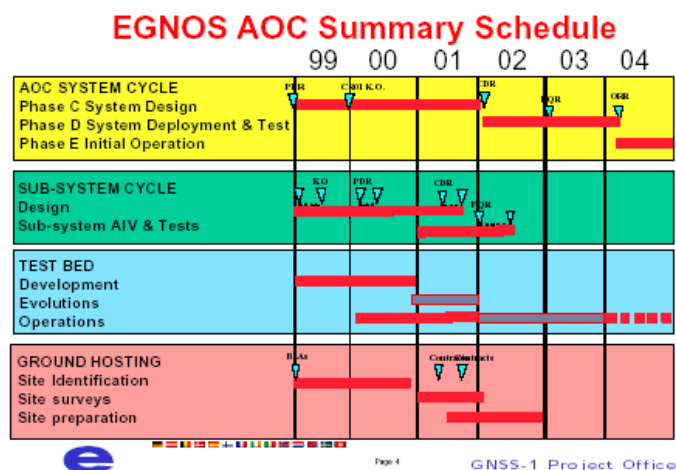


Figure 11: EGNOS AOC Planning

Τα κύρια σημεία του προγράμματος ήταν οι κρίσιμες αναθεωρήσεις του σχεδίου υποσυστημάτων, στο πρώτο εξάμηνο του 2001, και το κρίσιμο σχέδιο συστημάτων αναθεώρησης (Critical Design Review-CDR),στις αρχές του 2002. Η αναθεώρηση των

πιστοποιήσεων των εργοστασιακών συστημάτων (Factory Qualification Review-FQR) πραγματοποιήθηκε στις αρχές του 2003, και η αναθεώρηση της λειτουργικής ετοιμότητας του EGNOS AOC (Operational Readiness Review-ORR), που ολοκλήρωσε την τεχνική φάση επικύρωσης, τον Φεβρουάριο του 2004.

Το πρόγραμμα EGNOS περιέλαβε σημαντικές χρηματοδοτήσεις από τη γαλλική διαστημική αντιπροσωπεία (CNES), την νορβηγική αρχή χαρτογράφηση (NMA), και κύριους ευρωπαϊκούς διοικητικούς φορείς παροχής υπηρεσιών εναέριας κυκλοφορίας όπως οι: AENA (E), NAV-EP (P), DFS (D), ENAV (I), DGAC (F), NATS (UK) και Skyguide (CH). Αυτοί οι συνεργάτες ειδικότερα παρείχαν στην ESA ,εκτός των άλλων,και την υποδομή για να φιλοξενήσει διάφορους απαραίτητους επίγειους σταθμούς EGNOS.



### 3.2 Στόχοι του EGNOS

Ο στόχος του EGNOS είναι να παρέχει συμπληρωματικές πληροφορίες στα σήματα GPS, έτσι ώστε αυτά να μπορούν να χρησιμοποιηθούν σύμφωνα με τις απαιτήσεις των συστημάτων ναυσιπλοΐας της πολιτικής αεροπορίας (ακρίβεια, ακεραιότητα, διαθεσιμότητα και συνοχή). Τα πλεονεκτήματα του EGNOS είναι τα ακόλουθα:

- αντισταθμίζει την έλλειψη μιας επίγειας υποδομής που επιτρέπει στην υπηρεσία να παραδοθεί σε περιοχές που δεν καλύπτονται προς το παρόν από τα παραδοσιακά συστήματα ναυσιπλοΐας (πχ ωκεανοί),
- παρέχει ένα συστήματος ναυσιπλοΐας που προσαρμόζεται στη ναυσιπλοΐα επιφάνειας (RNAV) καλύπτοντας τις φάσεις εν πλώ και προσέγγισης,
- χρησιμοποιεί τα ίδια σήματα με εκείνα ενός δορυφόρου GPS, επιτρέποντας να χρησιμοποιηθεί το ίδιο hardware για να ληφθεί το σήμα με τους τρέχοντες δέκτες GPS, και χωρίς τροποποίηση της αερομεταφερόμενης αεροναυτικής ηλεκτρονικής αρχιτεκτονικής.

### 3.3 Λειτουργίες του EGNOS

Οι λειτουργίες που παρέχονται από το EGNOS είναι οι ακόλουθες:

- Μέτρηση απόστασης : για να παρέχει ένα πρόσθετο σήμα ψευδο-απόστασης από έναν γεωστατικό δορυφόρο.
- Ακεραιότητα: διάχυση των πληροφοριών για τη θέση των δορυφόρων που παρατηρούνται από το επίγειο τμήμα.
- Βασικές διαφορικές διορθώσεις: διάχυση διορθώσεων σχετικά με τα ημερολόγια και τα ρολόγια των δορυφόρων που παρατηρούνται από το επίγειο τμήμα καθώς επίσης, διάχυση διορθώσεων για να εφαρμοστούν στις ψευδο-αποστάσεις που προέρχονται από τους δορυφόρους που παρατηρούνται από το επίγειο τμήμα.
- Ακριβείς διαφορικές διορθώσεις: διάχυση ιονοσφαιρικών διορθώσεων σχετικά με τους δορυφόρους που παρατηρούνται από το επίγειο τμήμα καθώς επίσης ,διάχυση ιονοσφαιρικών διορθώσεων για να εφαρμοστούν στις ψευδο - αποστάσεις που προέρχονται από τους δορυφόρους που παρατηρούνται από το επίγειο τμήμα.

### 3.4 Περιγραφή των απαιτήσεων του συστήματος EGNOS

Οι τρέχουσες ικανότητες του GPS και του GLONASS, αν και είναι πολύ επαρκείς για μερικές κοινότητες χρηστών, παρουσιάζουν μερικά μειονεκτήματα. Κατ' αρχάς, η έλλειψη διεθνούς αστικού ελέγχου παρουσιάζει ένα σοβαρό πρόβλημα από θεσμική άποψη.

Δεύτερον, το GPS ή το GLONASS δεν μπορεί να καλύψει όλες τις απαιτήσεις της πολιτικής αεροπορίας για τις φάσεις προσέγγισης ακρίβειας και μη-ακρίβειας των πτήσεων. Το ναυτικό και οι χρήστες εδάφους θα απαιτήσουν επίσης κάποιο είδος αύξησης για τη βελτίωση των αποδόσεων του GPS /GLONASS.

Το δορυφορικό σύστημα ναυσιπλοΐας πρώτης γενειάς GNSS-1, όπως καθορίζεται από τους εμπειρογνώμονες της επιτροπής ICAO/GNSS, σχεδιάζεται να προσφέρει μερικές αυξήσεις σε συστήματα, εκτός από τους βασικούς αστερισμούς GPS και GLONASS, για να επιτύχει ένα επίπεδο απόδοσης κατάλληλο για εφαρμογές πολιτικής αεροπορίας.

Ο σκοπός του προγράμματος EGNOS είναι να εφαρμοστεί ένα τέτοιο σύστημα, το οποίο να ικανοποιεί μια σειρά απαιτήσεων υπηρεσιών χρηστών υπο την έννοια μιας αύξησης στο GPS και στο GLONASS, βασισμένο στη αναμετάδοση μέσω των δορυφόρων GEO με σήματα ναυσιπλοΐας παρόμοια με του GPS που περιέχουν την ακεραιότητα και τις διαφορικές πληροφορίες διορθώσεων. Το EGNOS θα καλύψει τις ανάγκες όλων των μέσων μεταφοράς, συμπεριλαμβανομένης της πολιτικής αεροπορίας, της θαλάσσιας ναυσιπλοΐας και των επίγειων χρηστών.

### 3.4.1 Αεροναυτικές εφαρμογές

Ο παγκόσμιος στόλος των εμπορικών αερογραμμών αναμένεται να διπλασιαστεί στα επόμενα 20 έτη. Αυτό θα οδηγήσει σε πολυπληθείς διαδρομές που θα έχουν σαν συνέπεια απώλεια καυσίμων και καθυστερήσεις που θα μπορούσαν να κοστίσουν εκατομμύρια ευρώ ετησίως.



Το EGNOS έχει ως σκοπό να βοηθήσει την ναυσιπλοΐα και κατά τη διάρκεια της πτήσης και κατά τη διάρκεια της προσγείωσης. Τα πιθανά οφέλη είναι ότι θα βοηθηθεί ο έλεγχος της εναέριας κυκλοφορίας ώστε να αντιμετωπιστεί η αυξανόμενη κυκλοφορία καθώς επίσης και να βελτιωθεί η ασφάλεια και να μειωθεί η απαιτούμενη υποδομή στο έδαφος.

Η απόδοση για τις αεροναυτικές εφαρμογές χαρακτηρίζεται συνήθως από τέσσερις κύριες παραμέτρους:

1. την ακρίβεια,
2. την ακεραιότητα,
3. την διαθεσιμότητα και
4. την συνοχή της υπηρεσίας.

Οι τιμές για αυτές τις παραμέτρους εξαρτώνται ιδιαίτερα από τις φάσεις της πτήσης.

Για τις τυπικές φάσεις πτήσης, οι απαιτήσεις είναι αυτές που περιλαμβάνονται στον πίνακα:

Typical operation(s)	Accuracy lateral /vertical 95%	Alert limit lateral /vertical	Integrity	Time to alert	Continuity	Availability	Associated RNP type(s)
En-route	2.0 NM / N/A	4 NM / N/A	$10^{-7}/h$	5 min.	$1-10^{-4}/h$ to $1-10^{-8}/h$	0.99 to 0.99999	20 to 10
En-route	0.4 NM / N/A	2 NM / N/A		15 s		0.999 to 0.99999	5 to 2
En-route, Terminal	0.4 NM / N/A	1 NM / N/A		10 s		1	
Initial approach, NPA, Departure	220 m / N/A	0.3 NM / N/A		$2 \times 10^{-7}$ per approach	6 s	$1-8 \times 10^{-6}$ in any 15 s	0.99 to 0.99999
APV-I	220 m / 20 m	0.3 NM / 50 m	0.3/125				
APV-II	16 m / 8 m	40 m / 20 m	0.03/50				
Category I	16.0 m / 4-6 m	40 m / 10-15 m	0.02/40				

Ούτε το GPS ούτε το GLONASS δεν μπορεί να πετύχει μεγαλύτερη ακεραιότητα, διαθεσιμότητα και συνοχή των στόχων των υπηρεσιών χωρίς μια αύξηση συστημάτων, αν και η απόδοσή τους από την άποψη της ακρίβειας μόνο θα μπορούσε να καλύψει τις απαιτήσεις εν πλώ, της τελικής περιοχής ναυσιπλοΐας και των προσεγγίσεων μη-ακρίβειας.

Αυτές οι απαιτήσεις έχουν οριστικοποιηθεί πρόσφατα από το διεθνή οργανισμό πολιτικής αεροπορίας (ICAO) υπό τη μορφή SARPS (Standards and Recommended Practices), ως μέρος



της τροποποίησης 76 στο παράρτημα 10 της Συνθήκης του Σικάγου. Τα SARPS δημοσιεύθηκαν στα τέλη του 2001 και εφαρμόστηκαν την 1η Νοεμβρίου 2001.

### 3.4.2 Θαλάσσιες εφαρμογές

Ένα ευρωπαϊκό φόρουμ (Maritime Radionavigation Forum) έχει οργανωθεί για να προσδιοριστούν οι πιθανές εφαρμογές για ένα ευρωπαϊκό δορυφορικό σύστημα ναυσιπλοΐας, σε: πλοήγηση, επιχειρήσεις, διαχείριση κυκλοφορίας, επιχειρήσεις θαλάσσιων λιμένων, παράκτια εξερεύνηση και εκμετάλλευση, αλιεία. Το EGNOS θα



είναι σε θέση να καλύψει τις περισσότερες από αυτές τις απαιτήσεις και θα συμπληρώσει τις υπηρεσίες που παρέχονται ήδη από τα θαλάσσια ραδιο αναγνωριστικά σήματα.

Τα αντικείμενα απόδοσης για τις θαλάσσιες εφαρμογές χωρίζονται γενικά σε ωκεάνια, παράκτια, κλειστά ύδατα και λιμενική ναυσιπλοΐα. Οι ελάχιστες προδιαγραφές απόδοσης για αυτές τις τέσσερις γενικές περιπτώσεις έχουν ποσολογηθεί από το Ευρωπαϊό Ναυτιλιακό Φόρουμ Ραδιοπλοήγησης (Maritime Radionavigation Forum) (βλ. ακόλουθο Πίνακα):

Table 2: Maritime GNSS typical performances

	GNSS System level parameters			
	<i>Accuracy Horizontal</i>	<i>Integrity Alert limit</i>	<i>Integrity Time to alarm</i>	<i>Integrity risk (per 3 hours)</i>
<i>Ocean</i>	<i>10 m</i>	<i>25 m</i>	<i>10 sec</i>	<i>10<sup>-5</sup></i>
<i>Coastal</i>	<i>10 m</i>	<i>25 m</i>	<i>10 sec</i>	<i>10<sup>-5</sup></i>
<i>Port approach and restricted waters</i>	<i>10 m</i>	<i>25 m</i>	<i>10 sec</i>	<i>10<sup>-5</sup></i>
<i>Port</i>	<i>1 m</i>	<i>2.5 m</i>	<i>10 sec</i>	<i>10<sup>-5</sup></i>
<i>Inland waterways</i>	<i>10 m</i>	<i>25 m</i>	<i>10 sec</i>	<i>10<sup>-5</sup></i>

### 3.4.3 Εφαρμογές εδάφους

Το EGNOS είναι ένα από τα κλειδιά στη διαχείριση της χερσαίας μεταφοράς στην Ευρώπη. Θα αυξήσει και την ικανότητα και την ασφάλεια της χερσαίας μεταφοράς. Υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός εφαρμογών παγκοσμίως υπό ανάπτυξη, σχετικά με τη χρήση δορυφορικής ναυσιπλοΐας και επίγειων κινητών εφαρμογών. Γενικά αυτές περιλαμβάνουν:



- προσδιορισμός θέσης οχημάτων,

- διαχείριση στόλου,
- ανίχνευση θέσης,
- υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης,
- προστασία κλοπής,
- πληροφορίες επιβατών,
- έλεγχος οδικών αρτηριών.

Ειδικότερα, όχι μόνο οι αερογραμμές αλλά και οι επιχειρήσεις που προσφέρουν υπηρεσίες μεταφορών πρέπει να ξέρουν ανά πάσα στιγμή που είναι τα οχήματά τους, όπως επίσης και η αστυνομία, οι υπηρεσίες υγείας (ασθενοφόρα) και οι εταιρίες ταξί.

Το EGNOS θα ενισχύσει τη διαχείριση των επιχειρήσεων μεταφορών. Οι διευθυντές θα είναι σε θέση να ξέρουν ακριβώς πότε μια αποστολή έχει καθυστερήσει και την ακριβή θέση της. Αυτό θα βελτιώσει επίσης τις υπηρεσίες πελατών δεδομένου ότι οι πελάτες θα μπορούν να ειδοποιηθούν για τις καθυστερήσεις και το για λόγο για τον οποίον έγιναν.

Αρκετά συχνά γίνεται αναγκαία η χρήση διαφορικών διορθώσεων λόγω της ακρίβειας που απαιτείται για διάφορες σειρές συστημάτων και κυμαίνεται από εκαντοντάδες μέτρα έως μερικά μέτρα ανάλογα με την εφαρμογή. Για μερικές από αυτές τις εφαρμογές απαιτείται επίσης η ακεραιότητα.

Το EGNOS έχει πολλές άλλες πιθανές χρήσεις. Μπορεί να βοηθήσει τους αγρότες στον εναέριο ψεκασμό των χωραφιών τους και τους ψαράδες για να εντοπίζουν τα δίκτυα τους. Το EGNOS μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για δραστηριότητες ελεύθερου χρόνου όπως η πεζοπορία, η ναυσιπλοΐα και η αναρρίχηση.

#### **3.4.4 Χρονικά πρότυπα**

Ένα άλλο σημαντικό όφελος της δορυφορικής ναυσιπλοΐας είναι η παροχή σφαιρικής χρονικής αναφοράς. Τα δίκτυα υπολογιστών και τηλεπικοινωνιών σε όλο τον κόσμο χρειάζονται μια εξαιρετικά ακριβή αναφορά ρολογιών, ένα είδος "ρολογιού παγκόσμιας ομιλίας". Το EGNOS θα είναι σε θέση να αναμεταδώσει αξιόπιστα χρονικά πρότυπα με πρωτοφανή ακρίβεια. Θα παράσχει μια σταθερή χρονική αναφορά μέσα σε λίγα ns από τον διεθνή χρόνο UTC.

Σχετικές εφαρμογές περιλαμβάνουν:

- ο χρονικός συγχρονισμός κυψελωτών τηλεφωνικών δικτύων,
- ο συγχρονισμός VSAT,
- τα δίκτυα συγχρονισμού ηλεκτρικής ενέργειας,
- ο συγχρονισμός κόμβων Διαδικτύου, κ.λπ.

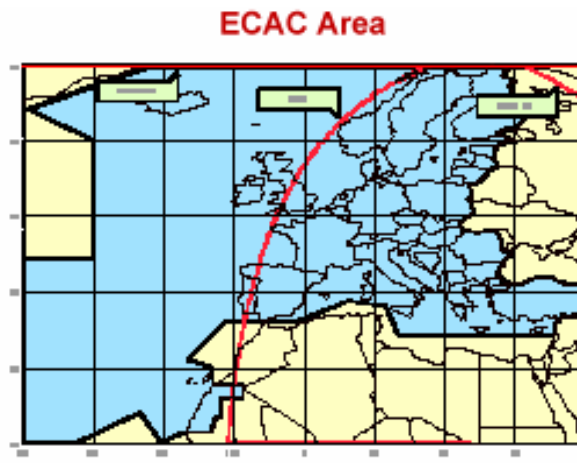


Επιπλέον, ο συνδυασμός δορυφορικής ναυσιπλοΐας και κινητών υπηρεσιών θα παράσχει έναν ευρύ φάσμα από νέες υπηρεσίες.

### 3.4.5 Απαιτήσεις υπηρεσιών

Από τις τρεις κοινότητες χρηστών, οι απαιτήσεις πολιτικής αεροπορίας είναι οι πιο αυστηρές (από την άποψη της ακεραιότητας και της συνοχής) και ως εκ τούτου τα αντικείμενα απόδοσης του EGNOS οδηγούνται συνήθως από τις ανάγκες της πολιτικής αεροπορίας, που καλύπτουν έπειτα, οι επίγειες ανάγκες και οι θαλάσσιες κοινότητες χρηστών.

Η περιοχή κάλυψης που συντηρείται από το EGNOS είναι η ECAC και συμπεριλαμβανομένου του FIR (Flight Instrument Regions) κάτω από την ευθύνη των κρατών μελών του ECAC (που είναι οι περισσότερες από τις ευρωπαϊκές χώρες, η Τουρκία, η Βόρεια Θάλασσα και το ανατολικό μέρος του Ατλαντικού Ωκεανού). Το ECAC καθορίζεται στο επόμενο σχήμα:



Σκοπός των αντικειμένων απόδοσης του EGNOS AOC είναι να παρασχεθεί μια αρχική υπηρεσία μέσω της ναυσιπλοΐας για όλες τις φάσεις πτήσης μέσω της προσέγγισης ακρίβειας μέσα σε αυτήν την περιοχή του ECAC.

Επιπλέον, το EGNOS έχει την ικανότητα να επεκτείνει τις υπηρεσίες πέρα από την περιοχή του ECAC, μέσα στη γεωστατική περιοχή αναμετάδοσης, προς μια πλήρη άνευ ραφής υπηρεσία για τις ευρύτερες περιοχές.

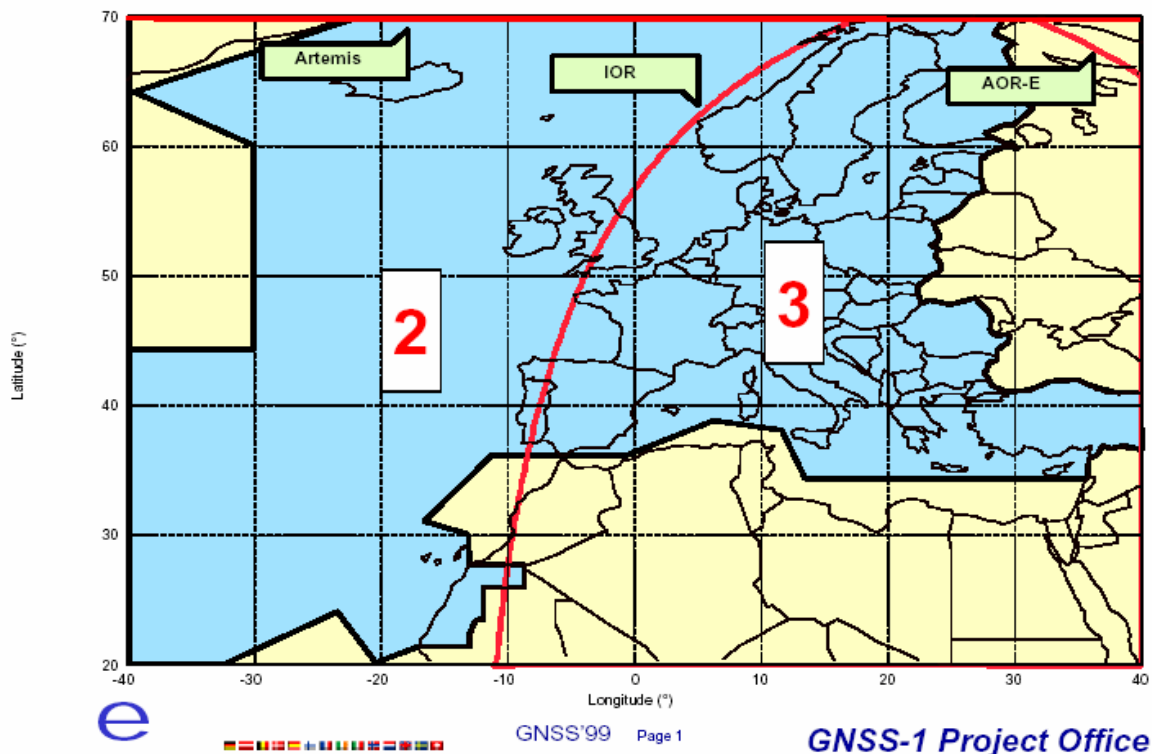
Το σύστημα EGNOS παρέχει τις ακόλουθες υπηρεσίες:

**GEO Ranging (R-GEO):** Μετάδοση των σημάτων των παρόμοιων με του GPS από 3 δορυφόρους GEO (ο INMARSAT-3 AOR-E, ο INMARSAT-3 IOR και ο δορυφόρος ARTEMIS της ESA για τη φάση AOC). Αυτό θα αυξήσει τον αριθμό των διαθέσιμων δορυφόρων ναυσιπλοΐας για τους χρήστες.

**GNSS Integrity Channel (GIC):** Αναμετάδοση των πληροφοριών ακεραιότητας. Αυτό θα αυξήσει τη διαθεσιμότητα της ασφαλούς GPS/ GLONASS/ EGNOS υπηρεσίας ναυσιπλοΐας μέχρι το επίπεδο που απαιτείται για την 'μη-ακρίβεια' της πολιτικής αεροπορίας.

**Wide Area Differential (WAD):** Αναμετάδοση των διαφορικών διορθώσεων. Αυτό θα αυξήσει την απόδοση της υπηρεσίας ναυσιπλοΐας GPS/GLONASS/ EGNOS, κυρίως την ακρίβειά του, μέχρι το επίπεδο που απαιτείται για τις προσεγγίσεις ακρίβειας.

## EGNOS AOC GBAs and ECAC Area



### 3.5 EGNOS Performance

Ο πρώτος στόχος του EGNOS ήταν να παρέχει μια υπηρεσία ναυσιπλοΐας που θα επέτρεπε στις διαδικασίες της κατηγορίας 1 (CAT1) να εξασφαλιστούν πέρα από την περιοχή του ECAC.

Ένα από τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα της δορυφορικής ναυσιπλοΐας είναι να υπάρξει σταθερή ακρίβεια για μια περιοχή προσέγγισης, ενώ το ILS παρέχει γωνιακή ακρίβεια κατά τη διάρκεια της προσέγγισης. Ένας τρόπος να καθιερωθεί η ισοδυναμία μεταξύ των διαφορετικών συστημάτων ναυσιπλοΐας επομένως έπρεπε να βρεθεί.

Το ICAO καθόρισε την απαραίτητη έννοια απόδοσης ναυσιπλοΐας, RNP (Required Navigation Performance). Οι τύποι των RNP καθορίζουν το επίπεδο ακρίβειας, ακεραιότητας, συνοχής και διαθεσιμότητας για τη ναυσιπλοΐα και για τις διαδικασίες προσέγγισης, προσγειώσης και αναχώρησης. Πρότυπα RNP προσδιορίζονται από μια συνολική ακρίβεια (συνολικό λάθος συστημάτων 95% σε έναν οριζόντιο άξονα, και ενδεχομένως σε έναν κάθετο άξονα, λαμβάνοντας υπόψη το λάθος ναυσιπλοΐας συστημάτων και το τεχνικό λάθος πτήσης). Μια

διανομή της αξιολόγησης του λάθους πρέπει έπειτα να καθιερωθεί ώστε να συναχθεί μια απαίτηση απόδοσης ακρίβειας 95% του σήματος GNSS.

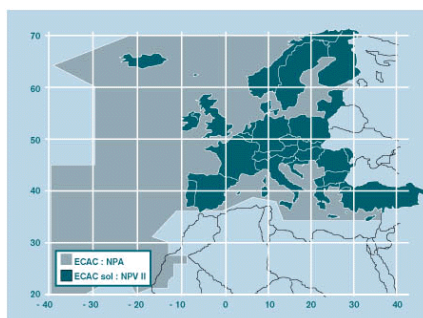
Τα συστήματα SBAS αναπτύχθηκαν με στόχο την παροχή μιας ισοδύναμης με την CAT I υπηρεσίας για όλες τις προσεγγίσεις που βρέθηκαν στην περιοχή κάλυψής τους. Με την εμπειρία του σχεδίου και της ανάπτυξης των SBAS συστημάτων, EGNOS και WAAS, φάνηκε ότι θα ήταν δύσκολο να επιτευχθεί αυτός ο στόχος με λογικό κόστος. Η έννοια της προσέγγισης μη ακρίβειας με κάθετη καθοδήγηση (Non Precision approach with Vertical guidance-NPV) εισήχθη για να χρησιμοποιήσει τις ικανότητες αυτών των συστημάτων. Η NPV λειτουργία είναι τοποθετημένη μεταξύ της προσέγγισης μη-ακρίβειας και της CAT I προσέγγισης.

Δύο τύποι NPV 4 έχουν καθοριστεί:

- NPV I: το οποίο είναι μια προσέγγιση μη ακρίβειας (Non Precision Approach-NPA) με κάθετη καθοδήγηση.
- NPV II: το οποίο είναι μια CAT I προσέγγιση με μια λιγότερο ακριβή κάθετη καθοδήγηση, κατά συνέπεια με υψηλότερα λειτουργικά ελάχιστα.

Οι στόχοι του EGNOS είναι να παρέχει:

- Μια υπηρεσία NPA επιπέδου για ολόκληρη την περιοχή του ECAC.
- Μια υπηρεσία NPV II επιπέδου πέρα από ολόκληρη την επίγεια περιοχή του ECAC.



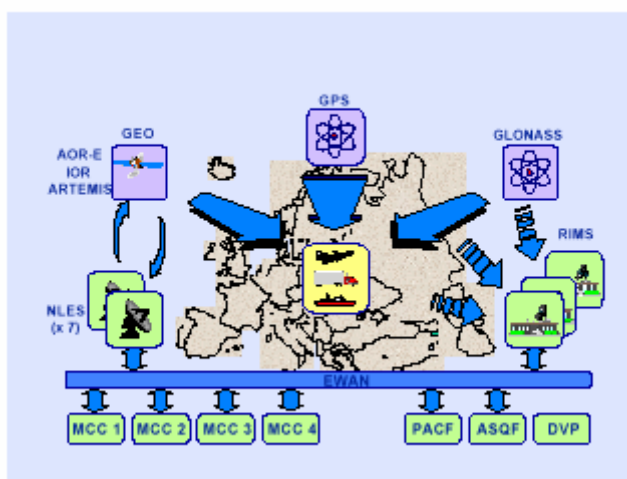
EGNOS requirements and performances			
	Horizontal accuracy	Vertical accuracy	Aviability
	95%	95%	
NPA	220 m	N/A	0.99 to 0.99999
NPV I	220 m	20 m	0.99 to 0.99999
NPV II	16 m	7,7 m	0.99 to 0.99999
CAT I	16 m	4 à 6 m	0.99 to 0.99999
EGNOS AOC	16 m	8 m	0.95

Οι αποδόσεις του EGNOS εξαρτώνται από τη θέση του χρήστη σε σχέση με τα RIMS. Το επίπεδο απόδοσης CAT I θα επιτευχθεί πέρα από ορισμένες περιοχές του ECAC. Δεδομένου ότι το EGNOS βρίσκεται σε πρώτη φάση λειτουργίας, είναι δυνατό να επεκταθεί η περιοχή υπηρεσιών του με την ανάπτυξη των νέων σταθμών RIMS σε περιοχές που πρόκειται να καλυφθούν, και που βρίσκονται στην κάλυψη ενός γεωστατικού δορυφόρου που είναι μέρος του EGNOS.

### 3.6 Αρχιτεκτονική του EGNOS και περιγραφή του συστήματος

Η αρχιτεκτονική αναφοράς του EGNOS παρουσιάζεται στο επόμενο σχέδιο:

Figure 2: EGNOS AOC Architecture



Αποτελείται από τέσσερα τμήματα:

1. το επίγειο τμήμα,
2. το διάστημα τμήμα,
3. το τμήμα χρηστών και
4. τις εγκαταστάσεις υποστήριξης.

#### 3.6.1 Επίγειο τμήμα

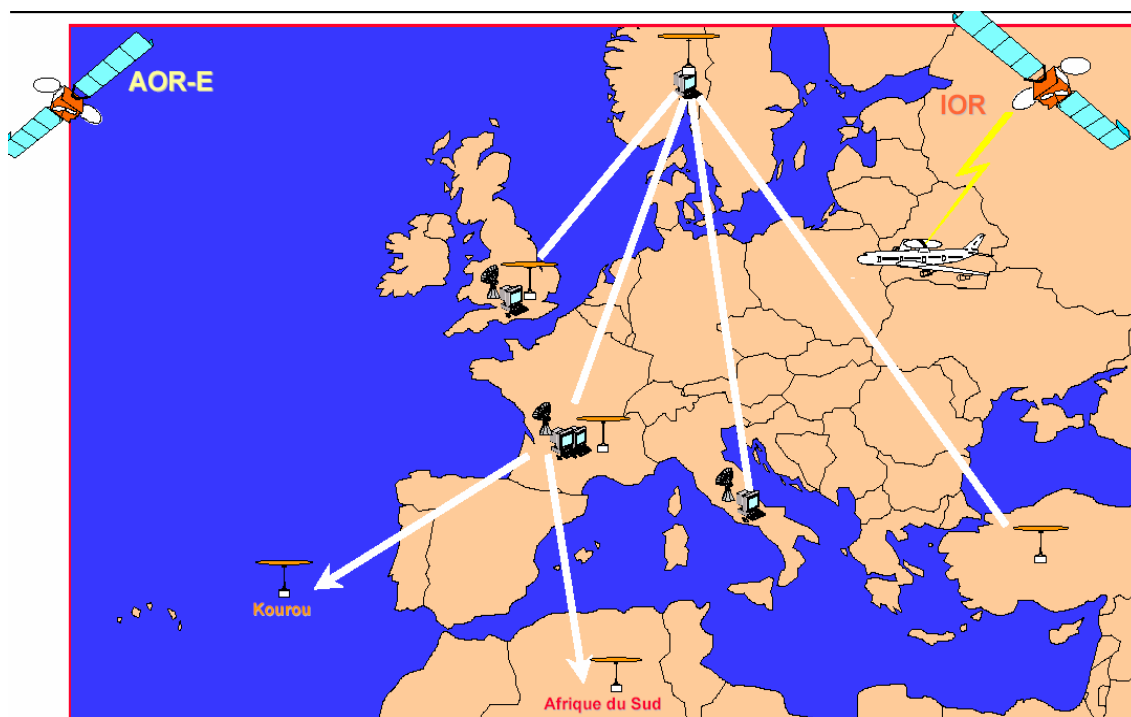
Το επίγειο τμήμα του EGNOS αποτελείται από:

- τα κύρια κέντρα ελέγχου (Master Control Centres-MCC)
- τους σταθμούς εμβέλειας και ελέγχου ακεραιότητας (Ranging and Integrity Monitoring Stations-RIMS)
- τους επίγειους σταθμούς ναυσιπλοΐας (Navigation Land Earth Stations-NLES)
- το δίκτυο ευρείας περιοχής EGNOS (Wide Area Network-WAN)
- και τις εγκαταστάσεις υποστήριξης.

### 3.6.1.1 RIMS (Μακρινός Σταθμός Ακεραιότητας και Ελέγχου)



Τα RIMS είναι σταθμοί συλλογής δεδομένων που είναι εξαπλωμένοι στην περιοχή υπηρεσιών του EGNOS. Μερικοί από τους είναι έξω από αυτήν την περιοχή ώστε να 'ξεφορτωθούν' ορισμένες πληροφορίες από την αναμονή. Προγραμματίζεται να επεκταθούν 34 RIMS. Για λόγους ασφάλειας, κάθε ένα RIMS αποτελείται από δύο ανεξάρτητα, ανόμοια κανάλια υποδοχής, το RIMS A και RIMS B. Με στόχο την φώραση ορισμένης δορυφορικής δυσλειτουργίας του GPS, "κακών κυματομορφών", μερικοί σταθμοί θα εξοπλιστούν με ένα τρίτο κανάλι συλλογής, RIMS C. Στη Γαλλία, υπάρχει ένα RIM στο Παρίσι, στο Aussagueil και στο Kourou.



### Κύριες λειτουργίες

- να εκτελεί τις pseudorange μετρήσεις κώδικα/φάσης ως προς SVIs (GPS L1 και L2 + GEO/GLO L1)
- να αποδιαμορφώνει τα μηνύματα SIS
- να μετριάζει το τοπικό multipath και την παρέμβαση (interference)
- να υποστηρίζει την ανίχνευση των ανωμαλιών στα σήματα από το διάστημα (π.χ. EWF GPS/GEO)
- να «πακετάρει» και διαβιβάζει τα data στο MCCs μέσω του FEE/EWAN
- να παρέχει BITE και M&C ικανότητες
- να παρέχει time offset UTC(k)/ENT (UTC RIMS)

#### 3.6.1.2 MCC (Κύριο Κέντρο Ελέγχου)

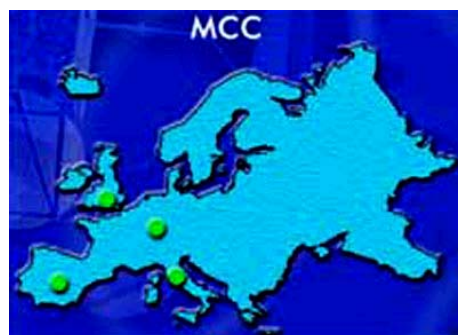
Τα MCC αποτελούνται από δύο μέρη:

1. Το CPF (Central Process Facility) υπεύθυνο για τον υπολογισμό, την επικύρωση και τη διανομή των μηνυμάτων που διαβιβάζονται. Η επεξεργασία γίνεται μέσω ενός real-time software συστήματος που αναπτύσσεται με βάση υψηλά πρότυπα software προκειμένου:

- να παρέχει τις διορθώσεις EGNOS WAD
- να εξασφαλίζει την ακεραιότητα του συστήματος EGNOS για τους χρήστες
- να χρησιμοποιεί τα ανεξάρτητα RIMS κανάλια για να ελέγξει τις διορθώσεις.

2. Το CCF (Central Control Facility). Αυτό λαμβάνει όλα τα data από τα διάφορα στοιχεία του EGNOS και το δίκτυο, και είναι υπεύθυνο για τη διαχείριση όλων των διεπαφών μεταξύ αυτών των στοιχείων και για τη διαμόρφωση του EGNOS σύμφωνα με την κατάσταση αυτών των στοιχείων. Προετοιμάζει τα στοιχεία που θα αρχειοθετηθούν προκειμένου να μελετηθούν οι αποδόσεις του EGNOS off-line.

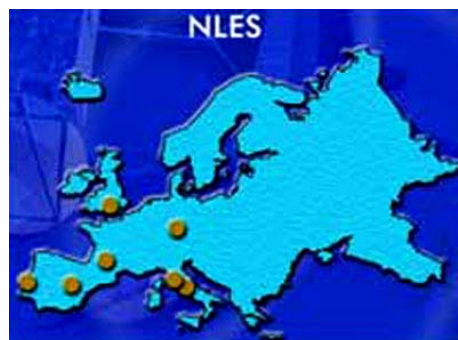
Το EGNOS αποτελείται από 4 MCCs που βρίσκονται στο Gatwick (UK), στο Langen (Γερμανία), στο Torrejon (Ισπανία) και στο Fucino (Ιταλία). Αυτός ο αριθμός εξασφαλίζει ότι το EGNOS είναι πάντα διαθέσιμο. Οποιαδήποτε στιγμή, τα τέσσερα CPFs είναι σε συνεχή λειτουργία. Αφ' ετέρου, ένα ενιαίο CPF, το κύριο CPF, εποπτεύει το EGNOS. Αυτό το κύριο CPF ελέγχεται από τα δεύτερα CP, το 'hot backup', το οποίο μπορεί να αναλάβει στιγμιαία από το κύριο CPF σε περίπτωση αποτυχίας. Ένα τρίτο CPF, το 'cold backup', παίρνει έπειτα το ρόλο του 'hot backup'. Το τέταρτο CPF δεν είναι σε λειτουργία. Χρησιμοποιείται για την επικύρωση των νέων εκδόσεων και για τις δοκιμές. Μια περιστροφή των ρόλων CPF μεταξύ των περιοχών θα οργανωθεί, προκειμένου να διατηρηθεί η επάρκεια κάθε περιοχής και η λειτουργική ικανότητάς της.





**3.6.1.3 NLES (Επίγειος Σταθμός Ναυσιπλοΐας)**

Το πρώτο στάδιο της αρχιτεκτονικής της AOC (Advanced Operational Capability) του EGNOS προβλέπει επτά επίγειους σταθμούς ναυσιπλοΐας (NLES). Οι πέντε από αυτούς θα κάνουν uplink τα μηνύματα του EGNOS στους δορυφόρους του Inmarsat III AOR-E και IOR, ενώ οι υπόλοιποι δύο θα κάνουν uplink τα μηνύματα του EGNOS στο δορυφόρο Artemis. Για κάθε δορυφόρο, υπάρχουν δύο NLES, που χωρίζονται γεωγραφικά.

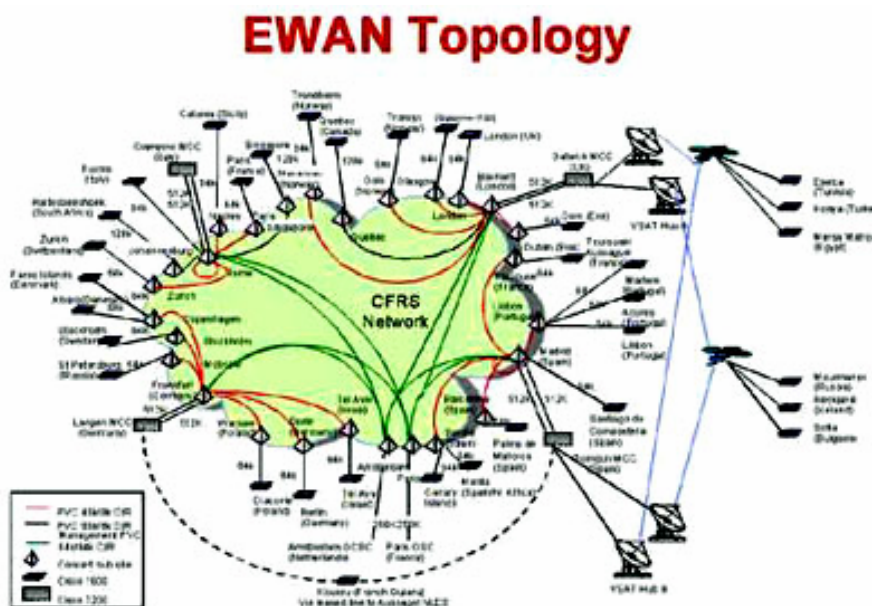


Οι κύριες λειτουργίες του NLES είναι:

- να παράγει ένα σήμα «τύπου» GPS και να το διαβιβάσει σε έναν αναμεταδότη GEO
- να συγχρονίσει αυτό το σήμα με το χρόνο του EGNOS (ENT) στην έξοδο της κεραίας GEO (L1-band)
- να ελέγξει τη συνοχή του κώδικα/φέροντος
- να διαβιβάσει τα μηνύματα GIC και WAD στους δορυφόρους στη γεωστατική τροχιά.

Τα NLES ελέγχονται από τα MCC. Οι περιοχές που βρίσκονται τα NLES είναι οι: Aussaguel (Γαλλία), Fucino (Ιταλία), Sintra (Πορτογαλία), Goonhilly (UK), Torrejon (Ισπανία) και Raisting (Γερμανία).

**3.6.1.4 EWAN (Egnos Wide Area Network)**



Το δίκτυο ευρείας περιοχής EGNOS (EWAN) συνδέει όλα τα στοιχεία του EGNOS και είναι υπεύθυνο για τις επικοινωνίες μεταξύ τους.

Αυτό το δίκτυο αποτελείται κυρίως από:

- χαμηλοτάχιστα links που συνδέουν τους σταθμούς RIMS με ένα MCC κέντρο
- υψηλοτάχιστα links που συνδέουν τα MCC κέντρα μεταξύ τους και με τους σταθμούς NLES.

### **3.6.1.5 PACF (Performance Assessment and Check out Facility)**

Το PACF παρέχει την τεχνική υποστήριξη για το EGNOS στους τομείς της λειτουργικής χρήσης και της συντήρησης. Το PACF είναι μια πλατφόρμα που λειτουργεί off-line και δεν περιλαμβάνεται στο σε πραγματικό χρόνο βρόχο του λειτουργικού συστήματος.

Οι στόχοι PACF είναι οι ακόλουθοι:

- ανάλυση της απόδοσης του EGNOS και προσομοίωση
- ανάλυση των λαθών και αποτυχιών
- προδιαγραφή των εξελίξεων στο σύστημα
- καθορισμός και επικύρωση των λειτουργικών διαδικασιών
- κατάρτιση προσωπικού
- υποστήριξη συντήρησης
- έλεγχος της διαμόρφωσης του συστήματος
- αρχειοθέτηση των data του συστήματος.

Το PACF είναι βασισμένο σε ένα σύνολο τερματικών σταθμών που συνδέονται με ένα τοπικό δίκτυο, γύρω από τους κεντρικούς υπολογιστές στοιχείων (data servers). Λαμβάνει όλα τα data του συστήματος off-line και, για λόγους ανάλυσης και δοκιμών, λαμβάνει σε πραγματικό χρόνο data από τους σταθμούς του δικτύου του EGNOS.

Το PACF έχει επίσης έναν data server, που χρησιμοποιείται για την λήψη πληροφοριών από τα διασκορπισμένα data διάφορων παγκόσμιων σταθμών που είναι συνδεδεμένοι με δορυφόρους των αστερισμών GPS, GLONASS και INMARSAT, και απο το περιβάλλον.

Το PACF βρίσκεται στην Τουλούζ και χρησιμοποιείται από το STNA και το CNES.

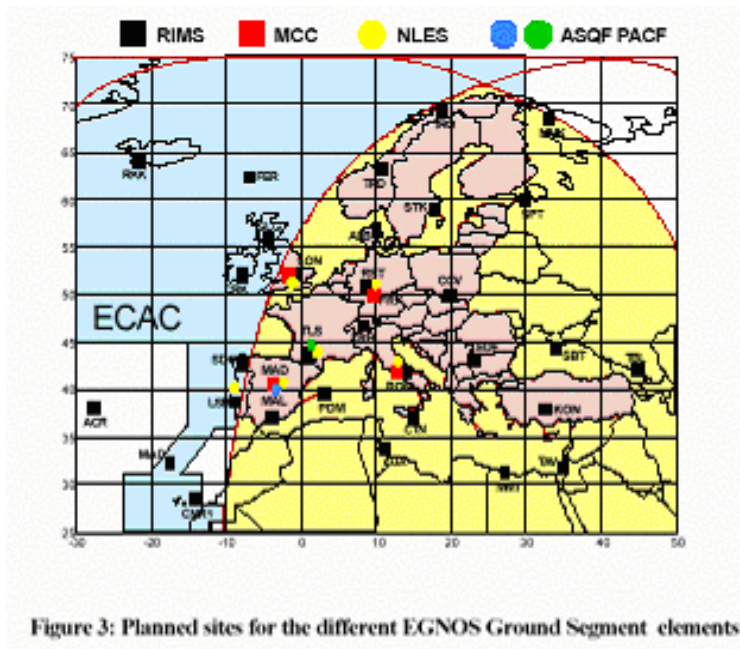
### **3.6.1.6 ASQF (Application Specific Qualification Facility)**

Το ASQF παρέχει τα τεχνικά μέσα που απαιτούνται για την επικύρωση και πιστοποίηση των εφαρμογών του EGNOS. Ειδικότερα, για την πολιτική αεροπορία, το ASQF είναι υπεύθυνο για την επικύρωση των αποδόσεων του EGNOS σχετικά με τις αποδόσεις ναυσιπλοΐας ή RNP, και της ανάλυσης των τρόπων αποτυχίας για την πιστοποίηση του EGNOS.

Το ASQF χρησιμοποιείται από την EUROCONTROL για την έγκριση της χρήσης και της επικύρωσης των λειτουργικών διαδικασιών του. Το ASQF βρίσκεται στην Torrejon (Ισπανία) και χρησιμοποιείται από την AENA.

### Συμπερασματικά

Το επίγειο τμήμα του EGNOS αποτελείται από τα GNSS RIMS (Ranging and Integrity monitoring Stations) που συνδέονται με ένα σύνολο εγκαταστάσεων ελέγχου και επεξεργασίας αποκαλούμενο ως κέντρο ελέγχου αποστολής (Mission Control Centre-MCC). Οι προγραμματισμένες περιοχές για τα διαφορετικά στοιχεία EGNOS G/S είναι:



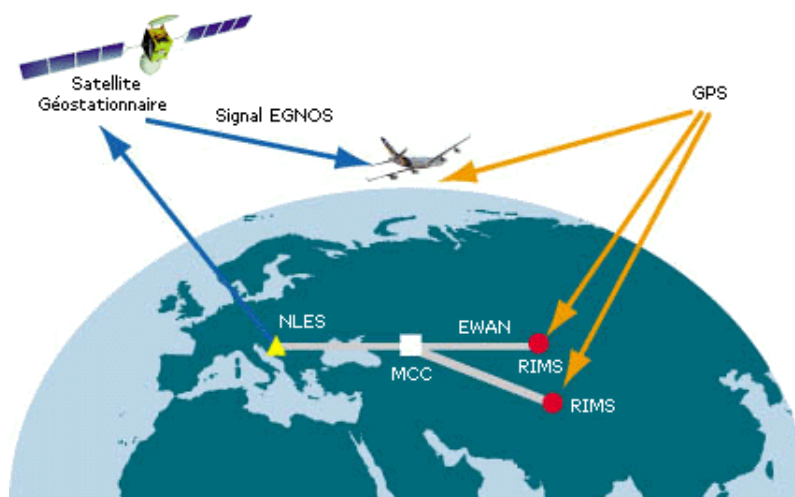
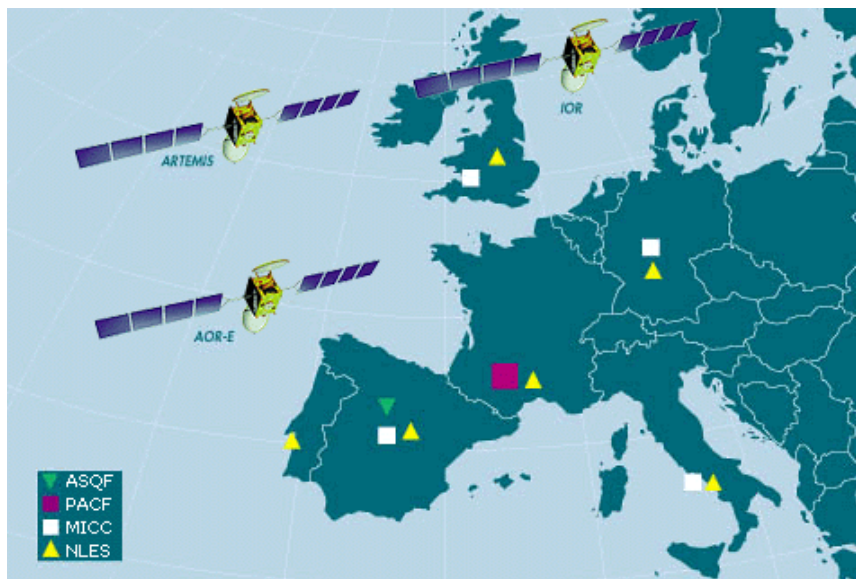
Το σύστημα έχει εγκαταστήσει 34 RIMS που βρίσκονται κυρίως μέσα στην Ευρώπη και 4 MCCs που βρίσκονται στο Torrejon (E), στο Gatwick (UK), στο Langen (D) και στο Ciampino (I). Το MCC καθορίζει την ακεραιότητα, τις διαφορικές διορθώσεις για κάθε ελεγχόμενο δορυφόρο, τις ιονοσφαιρικές καθυστερήσεις και παράγει δορυφορικό έγγραφο αναφοράς GEO. Αυτές οι πληροφορίες στέλνονται μέσω ενός μηνύματος στο NLES (Navigation Land Earth Station), για να είναι μαζί με το κυμαινόμενο σήμα GEO στους δορυφόρους GEO. Αυτοί οι δορυφόροι αναμεταδίδουν αυτά τα data σε GPS L1 συχνότητα με διαμόρφωση και κωδικοποίηση παρόμοια με του GPS. Όλα τα επίγεια τμήματα είναι αλληλοσυνδεδεμένα από το EWAN (EGNOS Wide Area Communications Network).

Το σύστημα θα επεκταθεί στο μέλλον με 2 NLESs (έναν κύριο και έναν εφεδρικό) ανά αναμεταδότη ναυσιπλοΐας GEO και ένα NLES για σκοπούς δοκιμής και επικύρωσης, που θα βρίσκονται στο Torrejon (E), στο Fucino (I), στο Aussaguel (F), στο Raisting (D), στο Goonhilly (UK), και στο Sintra (P) αντίστοιχα.

Οι λειτουργίες του επίγειου τμήματος είναι οι ακόλουθες:

- Συλλέγει τα data από τους δορυφόρους GPS και τα διαβιβάζει για επεξεργασία. Αυτή η λειτουργία γίνεται από τα RIMS.
- Επεξεργάζεται τα GPS data, για να διαχυθούν και να μορφοποιηθούν σε σήμα EGNOS. Αυτή η λειτουργία γίνεται από τα κύρια κέντρα ελέγχου ή MCC (Master Control Centers).

- Διαβιβάζει data προς τους γεωστατικούς δορυφόρους. Αυτή η λειτουργία γίνεται από τους σταθμούς μετάδοσης NLES.
- Εποπτεύει και ελέγχει το σύστημα. Αυτή η λειτουργία γίνεται από τα MCC.
- Παρέχει τις συναρτήσεις που απαιτούνται για τη σωστή λειτουργία του συστήματος: ανίχνευση αποδόσεων, ανάλυση λαθών, επικύρωση εξελίξεων, συντήρηση και λειτουργική υποστήριξη. Αυτές οι λειτουργίες γίνονται από το PACF (Performance Assessment and control Facility), το ASQF (Application Specific Qualification Facility) και το DVP (Development and Validation Platform).



### 3.6.2 Διαστημικό τμήμα

Το διαστημικό τμήμα του EGNOS αποτελείται από γεωστατικούς αναμεταδότες με παγκόσμια κάλυψη. Το EGNOS AOC σύστημα είναι βασισμένο στη χρήση των INMARSAT-3 AOR-E και IOR, και τους αναμεταδότες ναυσιπλοΐας ARTEMIS της ESA. Οι περιοχές αναμετάδοσης διευκρινίζονται στο επόμενο σχήμα:

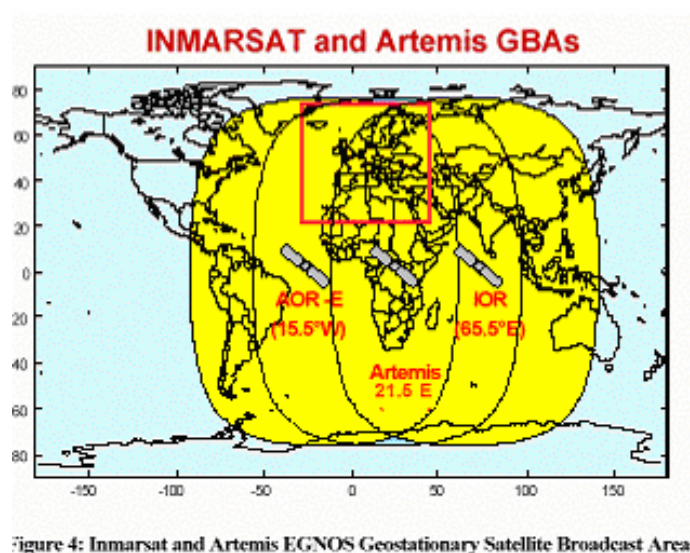


Figure 4: Inmarsat and Artemis EGNOS Geostationary Satellite Broadcast Areas

### **3.6.3 Τμήμα χρηστών**

Το τμήμα χρηστών του EGNOS αποτελείται από έναν τυποποιημένο δέκτη EGNOS, για να ελέγξει την απόδοση του σήματος στο διάστημα (Signal-In-Space-SIS), και ένα σύνολο πρωτότυπου εξοπλισμού χρηστών για εφαρμογές της πολιτικής αεροπορία, καθώς επίσης και για τις επίγειες και θαλάσσιες εφαρμογές.

### **3.6.4 Εγκαταστάσεις υποστήριξης**

Τέλος, οι εγκαταστάσεις υποστήριξης του EGNOS περιλαμβάνουν:

1. την Development Verification Platform (DVP),
2. την Application Specific Qualification Facility (ASQF) που βρίσκεται στο Torrejon (Ισπανία) και
3. την Performance Assessment and System Checkout Facility (PACF) που βρίσκεται στην Τουλούζη (Γαλλία).

Αυτές είναι εγκαταστάσεις που απαιτούνται για να υποστηρίξουν τις επιχειρήσεις του συστήματος και τις μελλοντικές πιστοποιήσεις.

### **3.6.5 Επίγειο περιφερειακό δίκτυο αύξησης EGNOS (EGNOS TRAN)**

Λόγω της χαμηλής ανύψωσης των δορυφόρων EGNOS, το σήμα τους μπορεί μετά βίας ή ακόμα και να μην παραληφθεί σε ορισμένες περιοχές. Πολλές παρούσες, και μελλοντικές εφαρμογές, απαιτούν υψηλή ακρίβεια και υψηλή αξιοπιστία του προσδιορισμού θέσης, ο οποίος μπορεί εύκολα να εκτελεσθεί από το EGNOS. Αλλά εάν το σήμα EGNOS δεν μπορεί να παραληφθεί, οι απαιτήσεις εκείνων των εφαρμογών δεν μπορούν πλέον να ικανοποιηθούν. Επομένως, το EGNOS TRAN αξιολόγησε τις διάφορες τεχνικές μεθόδους για να αναμεταδώσει το σήμα EGNOS μέσω των επίγειων δικτύων, όπως το GSM/GPRS, το Loran-C ή GRAS.

### **3.6.6 Επεξεργασία του συστήματος**

Η επεξεργασία του συστήματος εκτελέστηκε σε τρία στάδια :

- Αρχικά έγινε εφαρμογή κυμαινόμενων σημάτων, παρόμοιων με του GPS, στους γεωστατικούς δορυφόρους πέρα από τον ανατολικό Ατλαντικό (Atlantic Ocean Region East, AOR-E), και πέρα από τον Ινδικό Ωκεανό (Indian Ocean Region, IOR).
- Κατόπιν ακολούθησε η διανομή του στοιχείου ακεραιότητας, η οποία είναι σημαντική για την επίτευξη "μόνων μέσων"(sole means) ποιότητας
- Τέλος, οι διαφορικές διορθώσεις παρασχέθηκαν προκειμένου να ληφθούν CAT-I ακρίβειες για τις ανάγκες της αεροπορίας.

Το ποιοτικό επίπεδο και το φάσμα των δραστηριοτήτων του EGNOS εξαρτώνται από τον αριθμό και τις θέσεις των σταθμών ελέγχου καθώς επίσης και από το συνυπολογισμό των περαιτέρω δορυφόρων GNSS, ο οποίος είναι δυνατός σε γενικές γραμμές. Το EGNOS πρέπει να θεωρηθεί ως περιφερειακή εφαρμογή σε διεθνές επίπεδο. Η συμβατότητα με τις γειτονικές περιοχές εξασφαλίζεται με τη χρησιμοποίηση ομοιόμορφων χαρακτηριστικών για τα σημάτα και τυποποιημένων formats για τα data. Για την ανταλλαγή data, καθιερώθηκαν εγκαταστάσεις επικοινωνίας για την επικοινωνία με τους σταθμούς ελέγχου των γειτονικών συστημάτων. Για το EGNOS χρησιμοποιούνται οι σταθμοί ελέγχου Aussague 1 (France Telecom) και Raisting (DBP TELEKOM).

### **3.7 Τεχνικές επεξεργασίας σήματος**

Τεχνικές επεξεργασίας ψηφιακού σήματος χρησιμοποιούνται εκτενώς στο EGNOS. Παρακάτω παρουσιάζονται μερικές από τις βασικές λειτουργίες επεξεργασίας σήματος που εφαρμόζονται σε καθένα από τα υποσυστήματα του EGNOS.

1. Τα RIMS A και B περιλαμβάνουν τις ακόλουθες λειτουργίες επεξεργασίας σήματος:
  - εκτέλεση μετρήσεων pseudorange κώδικα/φάσης προς τους ελεγχόμενους δορυφόρους (GPS L1 και L2 + GEO/GLONASS L1)
  - αποδιαμόρφωση/αποκωδικοποίηση (αποκωδικοποίηση Viterbi) των μηνυμάτων SIS
  - ενσωματώματα στο λογισμικό για να μετριάσει τα τοπικά multipath και τις παρεμβάσεις
  - μορφοποίηση και μετάδοση μηνυμάτων προς EGNOS CPF
  - τα συγκεκριμένα RIMS περιλαμβάνουν επίσης μια λειτουργία επεξεργασίας για να μετρήσουν το time offset μεταξύ ενός ρολογιού αναφοράς UTC (που βρίσκεται στο Παρίσι) και του χρόνου δικτύων του EGNOS (EGNOS Network time-ENT).

Τα RIMS S/S εκτελούν επίσης λειτουργίες υποστήριξης προκειμένου να επιτευχθεί η μακρινή παρακολούθηση και ο έλεγχος από την Κεντρική Μονάδα Ελέγχου (Central Control Facility-CCF) του EGNOS.

Είναι σημαντικό να επισημανθεί ότι, για ασφαλείς εκτιμήσεις, τα RIMS A και B είναι διαφοροποιημένα, π.χ παρ'όλο που έχουν τις ίδιες προδιαγραφές είναι σχεδιασμένα από ανεξάρτητες ομάδες με ανεξάρτητες μελέτες αλγορίθμων.

2. Τα RIMS C περιλαμβάνουν περίπλοκες τεχνικές επεξεργασίας σήματος για να ανιχνευθούν οι ανωμαλίες των σημάτων GPS, γνωστές ως "κακές κυματομορφές". Τα διαγνωστικά τους εκτελούνται σε μορφή μετρημένης δορυφορικής λειτουργίας συσχετισμού σημάτων. Τα RIMS C εγκαθιστούν 'σημαίες' προς το CPF λόγω της ανίχνευση ενός αποτυχημένου δορυφορικού σήματος.
3. Η κεντρική μονάδα επεξεργασίας του EGNOS είναι ο "εγκέφαλος" του EGNOS και το υποσύστημα όπου οι τεχνικές επεξεργασίας σήματος χρησιμοποιούνται πίο εντατικά. Περιλαμβάνει μια μονάδα επεξεργασίας (processing-set) και δύο μονάδες ελέγχου (check-set).

Το processing-set είναι μια δυνατότητα επεξεργασίας δεδομένων όπου τα data που προέρχονται από διαφορετικούς δέκτες που βρίσκονται στα RIMS υποβάλλονται σε επεξεργασία για να παράγουν το μήνυμα ναυσιπλοΐας EGNOS. Η επεξεργασία εξαρτάται κυρίως στην εκτίμηση των παρακάτω παραμέτρων:

- προεπεξεργασία και επικύρωση των RIMS A ελαχιστοποιώντας τα συστηματικά λάθη που παρουσιάζονται στα data με την αφαίρεση ιονοσφαιρικών και τροποσφαιρικών καθυστερήσεων. Αυτή η λειτουργία αφαιρεί τις επαναλαμβανόμενες ολισθήσεις της φάσης του φέροντος και λειαιίνει τα data εισόδου για να μειώσει τον τυχαίο θόρυβο και να φιλτράρει τα υπόλοιπα συστατικά των multipath.
- υπολογισμός των διορθώσεων ρολογιού για να εφαρμοστεί στους δορυφόρους GPS και GLONASS
- υπολογισμός των τροχιακών λαθών που συνδέονται με τους δορυφόρους GPS, GLONASS και GEO
- παροχή ιονοσφαιρικών διορθώσεων για την περιοχή υπηρεσιών της Ευρώπης
- καθορισμός μιας 'εμπιστοσύνης δέσμευσης' (confidence bound) και για την τροχιά/ ρολόι (UDRE) και για τα ιονοσφαιρικά παραμένοντα λάθη (GIVE) μετά τις διορθώσεις.
- συγκεκριμένοι αλγόριθμοι για την επιλογή μηνυμάτων που σέβονται τα διαλείμματα λειτουργίας και τους συναγερούς μηνυμάτων. Αυτή η λειτουργία καθορίζει τα πραγματικά μηνύματα να αναμεταδίδονται σε πραγματικό κύκλο και σχηματίζει το μήνυμα σύμφωνα με τα πρότυπα που καθορίζονται για του δέκτες χρηστών (MOPS RTCA DO-229).
- παραγωγή Quality of service. Το Processing set πρέπει να επεξεργαστεί κάθε δεύτερο data για πάνω απο 60 RIMS, παρατηρώντας περίπου 20 δορυφόρους για κάθε ένα

(συμπεριλαμβανομένου των δορυφόρων GPS, GLONASS και GEO). Όλα αυτά τα στοιχεία πρέπει να υποβληθούν σε επεξεργασία σε πραγματικό χρόνο.

Το Check set του CPF εφαρμόζει συγκεκριμένους αλγορίθμους επεξεργασίας σήματος:

- Προεπεξεργασία και επικύρωση των data RIMS B αποβάλλοντας θορύβους, αστοχίες υλικού και ανιχνεύοντας πιθανές δορυφορικές ανωμαλίες.
  - Στατιστικές δοκιμές στην ακεραιότητα προϊόντων του EGNOS πριν αναμεταδοθεί το μήνυμα του EGNOS (CHECK Before).
  - Εκτέλεση στατιστικών δοκιμών, μετά την μετάδοση, για να ελεγχθούν τα σωστά διαβιβασθέντα οριοθετημένα επίπεδα για τις δορυφορικές διορθώσεις (UDRE) και τις ιονοσφαιρικές διορθώσεις (GIVE) (CHECK after).
  - Επεξεργασία των πληροφοριών των RIMS C για την παρουσία των ‘κακών κυματομορφών’ GPS.
4. Η κεντρική μονάδα ελέγχου περιλαμβάνει συγκεκριμένο λογισμικό επεξεργασίας για να επιτηρήσει και να ελέγξει το επίγειο τμήμα του EGNOS ελέγχοντας τις αποδόσεις της αποστολής του EGNOS και την αλληλεπίδραση με τον έλεγχο εναέριας κυκλοφορίας.
  5. Το NLES είναι αρμόδιο για την παραγωγή ενός σήματος παρόμοιου με του GPS και την μεταδοσή του σε έναν αναμεταδότη GEO. Η επεξεργασία NLES περιλαμβάνει τον έλεγχο ενός συγκεκριμένου μακρύ-loop για να συγχρονίσει το up-link σήμα στο χρόνο του EGNOS στην έξοδο της κεραίας GEO L1-band. Επιπλέον, μια συγκεκριμένη λειτουργία επεξεργασίας δημιουργείται για να ελέγξει την συνοχή του κώδικα/φέροντος του διαβιβασμένου σήματος και για να ελέγξει το down link του σήματος/περιεχομένου των μηνυμάτων που αποστέλλονται (integrity box).
  6. Ο δέκτης EGNOS περιλαμβάνει τις ακόλουθες λειτουργίες επεξεργασίας:
    - Επεξεργασία σήματος δορυφόρου Geo (L1C/A, code + phase), αποκωδικοποίηση Viterbi και αποδιαμόρφωση data (Geo navigation data + GPS/Glonass correction data).
    - Επεξεργασία των σημάτων GLONASS (επιλογή που χρησιμοποιείται για Κατηγορίας 1 διαδικασίες προσγείωσης που ενισχύουν την ακρίβεια σε σχέση με επεξεργασία GPS/Geo μόνο).
    - Επεξεργασία αλγόριθμου για υπολογισμό ιονοσφαιρικό διορθώσεων χρησιμοποιώντας τα data που περιλαμβάνονται στο μήνυμα Geo συν ένα χωρικό αλγόριθμο παρεμβολής στη θέση χρηστών.
    - Εφαρμογή του διαφορικού ρολογιού, του δελτίου αναφοράς και των ιονοσφαιρικών διορθώσεων στις pseudo-ranges μετρήσεις από τους δορυφόρους του GPS, του Geo και προαιρετικά του GLONASS.
    - Επεξεργασία ενός σταθμισμένου αλγόριθμου λιγότερων τετραγώνων για να υπολογιστεί η θέση των χρηστών.



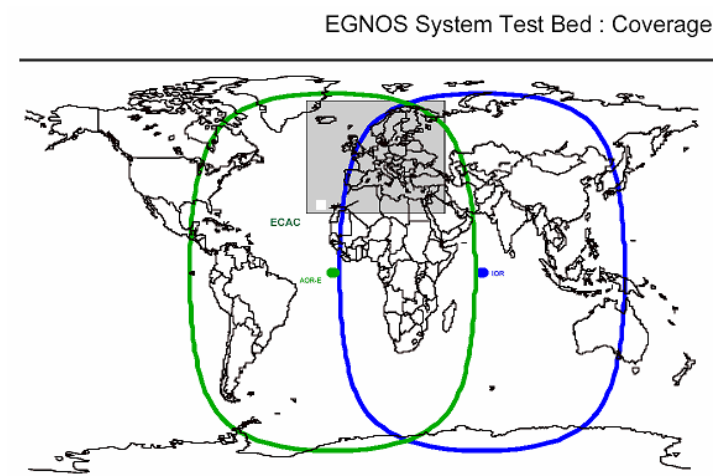
➤ Επεξεργασία των αλγορίθμων ακεραιότητας GIC (ή "XPL") που βασίζονται στα data του δορυφόρου Geo.

Πιθανώς, η σημαντικότερη εκτίμηση για το σύστημα EGNOS είναι ότι πρέπει να σχεδιαστεί για μια αποστολή safety-of-life, με εξαιρετικές απαιτήσεις ως προς την ακεραιότητα και την πραγματικού χρόνου ασφάλεια. Για μέγιστη απόδοση του συστήματος EGNOS είναι αναγκαία η χρήση βελτιστοποιημένων αλγορίθμων. Δεν είναι μόνο η θεωρία επεξεργασίας πίσω από τους αλγορίθμους που είναι σε κίνδυνο στην συγκεκριμένη περίπτωση:

Η απλότητα (π.χ. επιτρέποντας μειωμένη κατανάλωση CPU στη CPF), η αξιοπιστία, η ανοχή αποτυχίας είναι σημαντικοί παράμετροι για το σχεδιασμό αλγορίθμου. Οι απεριθμημένοι ανωτέρω αλγόριθμοι επεξεργασίας σήματος είναι ανάγκη να ακολουθήσουν αυτή την προοπτική, η οποία κάνει ολόκληρο το πρόγραμμα EGNOS μια σημαντική πρόκληση.

### 3.8 Το πεδίο δοκιμής του EGNOS (EGNOS SYSTEM TEST BED -ESTB)

Για να υποστηριχθεί η ανάπτυξη του συστήματος EGNOS, ένα πεδίο δοκιμής του συστήματος EGNOS (ESTB) είχε αναπτυχθεί και ήταν λειτουργικό μέχρι την κανονική λειτουργία του συστήματος. Το ESTB ήταν ένα πραγματικού χρόνου και πραγματικού μεγέθους πρωτότυπο του EGNOS.



Παρείχε την πρώτη συνεχή υπηρεσία αύξησης του σήματος GPS μέσα στην Ευρώπη. Το ESTB είχε αναπτυχθεί κάτω από την ESA και από μια βιομηχανική κοινοπραξία, που περιλάμβανε τις βασικές ευρωπαϊκές δορυφορικές βιομηχανίες ναυσιπλοΐας όπως τις, Astrium, GMV, Racal, Seatex, DLR και το διαστημικό τμήμα της Alcatel. Αυτή η ανάπτυξη βασίστηκε σε διάφορα προϋπάρχοντα προτερήματα: Αυτά περιλαμβάνουν το σύστημα SATREF από την NMA

(νορβηγική αρχή χαρτογράφησης) και το κυμαινόμενο σύστημα EURIDIS από την CNES. Από τις αρχές του 2001, το ESTB ήταν επίσης πλήρως διασυνδεδεμένο με το ιταλικό μεσογειακό πεδίο δοκιμής (Mediterranean Test Bed-MTB), που χρησιμοποιούταν από την ENAV (Italian Civil Aviation Authority).

Το ESTB ήταν λειτουργικό από το Φεβρουάριο 2000. Η αρχιτεκτονική ESTB παρουσιάζεται στο επόμενο σχήμα:

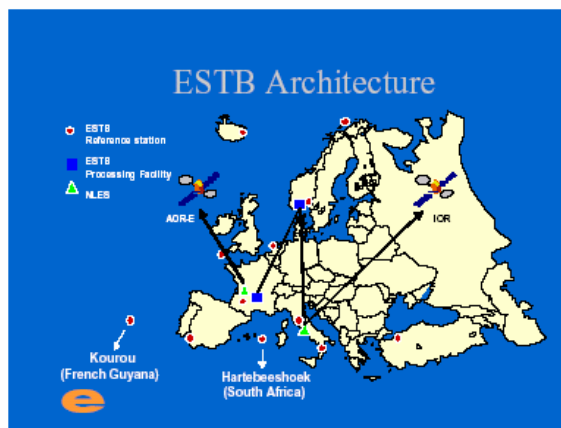


Figure 5: EGNOS System Test Bed (ESTB) architecture

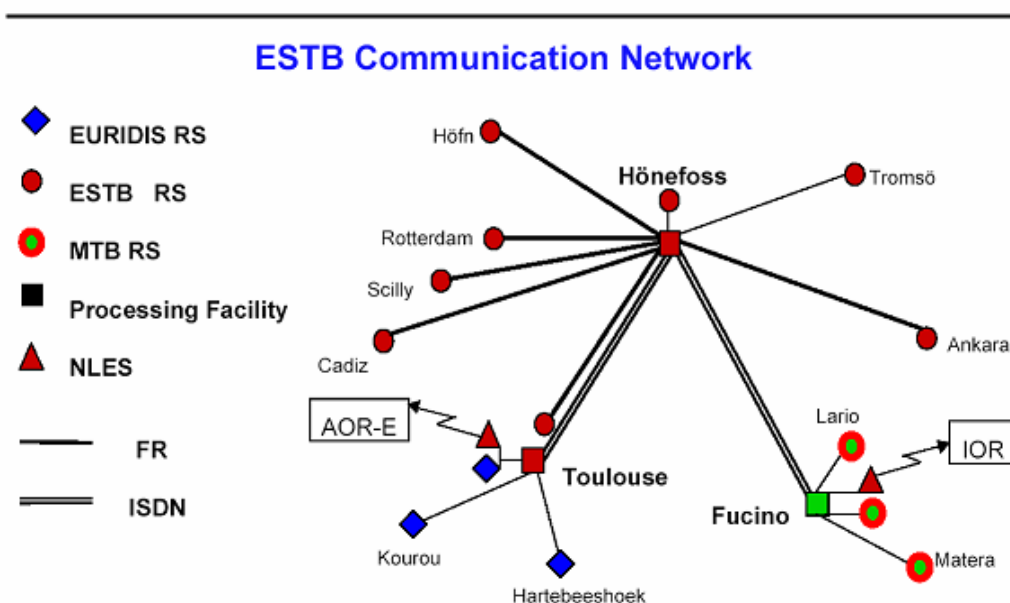
Το ESTB αποτελούνταν από τα ακόλουθα στοιχεία:

- Ένα διαστημικό τμήμα που περιλάμβανε δύο αναμεταδότες στους δορυφόρους Inmarsat-III Atlantic Ocean East και Indian Ocean.
- Ένα δίκτυο από RIMS, 8 σε πρώτη φάση, που σύλλεγε μόνιμα τα data GPS/GEO/GLONASS.
- Κεντρική μονάδα επεξεργασίας (CPF), που παρήγαγε τα μηνύματα χρηστών WAD. Το CPF βρισκόταν στο Honefoss (Νορβηγία), και φιλοξενούνταν στην πλατφόρμα SATREF.
- Ένα NLES του συστήματος EURIDIS, που βρισκόταν στη Aussaguel (Γαλλία), και επέτρεπε την πρόσβαση στον δορυφόρο INMARSAT III AOR-E.
- Τρία RIMS του EURIDIS με σκοπό την λειτουργία εμβέλειας του GEO, που βρίσκονταν σε μια διηπειρωτική βάση προκειμένου να παρέχουν μια ευρεία βάση παρατήρησης για το GEO. Σύλλεγαν επίσης τα data GPS/GEO.
- Ένα επιχειρησιακό κέντρο ελέγχου και επεξεργασίας στην Toulouse (Γαλλία), που χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή του GEO ranging data, και που χρησίμευσε επίσης ως κόμβος για τη μετάδοση του μηνύματος χρηστών.
- Ένα δίκτυο επικοινωνίας πραγματικού χρόνου, που επέτρεπε τη μεταφορά RIMS data στο CPF, και μηνυμάτων ναυσιπλοΐας από το Honefoss στο NLES.
- Ένα επίγειο τμήμα που περιλαμβάνει διάφορους σταθμούς αναφοράς, που ήταν εξαπλωμένοι στην Ευρώπη και πέρα απ' αυτή, ένα κέντρο επεξεργασίας και uplink σταθμούς του Inmarsat. Γραμμές επικοινωνίας διασύνδεαν όλους τους σταθμούς.

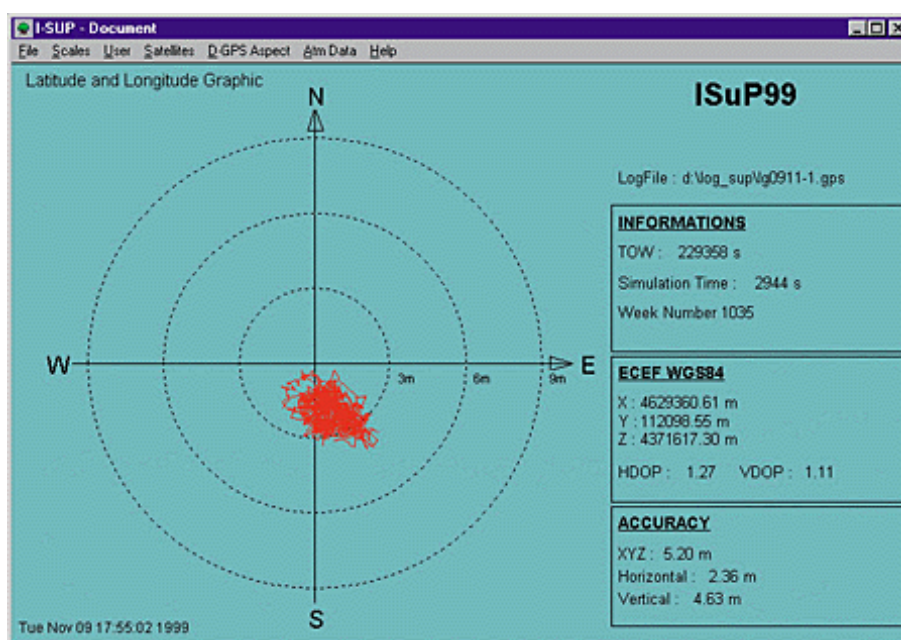
Οι κύριοι στόχοι του ήταν οι ακόλουθοι:

- να παρέχει τα μέσα επικύρωσης στη βιομηχανία κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης και της ολοκλήρωσης του EGNOS,
- να συμβάλει στην επικύρωση του ICAO SARPS SBAS, η οποία είναι αναπόφευκτη για τη χρήση του EGNOS από την πολιτική αεροπορία,
- να επιτρέψει την ανάπτυξη και την επικύρωση των δεκτών,
- να είναι το κανάλι για την επικοινωνία και την προώθηση με τους μελλοντικούς χρήστες.

### EGNOS System Test Bed: Architecture



Το ESTB ενσωμάτωσε διάφορες συσκευές δοκιμής που αναπτύχθηκαν κατά τη διάρκεια της πρώτης φάσης του EGNOS: το EURIDIS, το NSTB (North European Satellite Test Bed), το SATREF και το MTB (Mediterranean Test Bed).



Χρησιμοποιώντας το σήμα στο διάστημα του GPS και του ESTB, οι χρήστες μέσα στην Ευρώπη μπορούσαν να καθορίσουν τη θέση τους με ένα λάθος λιγότερο από 3 μέτρα (οριζόντια) και 5 μέτρα (κάθετα).

Μια χαρακτηριστική κάθετη διανομή λάθους του ESTB παρουσιάζεται στο ακόλουθο σχήμα, όπου το ιστόγραμμα των λαθών παρουσιάζεται μαζί με τις σχετικές στατιστικές τιμές.

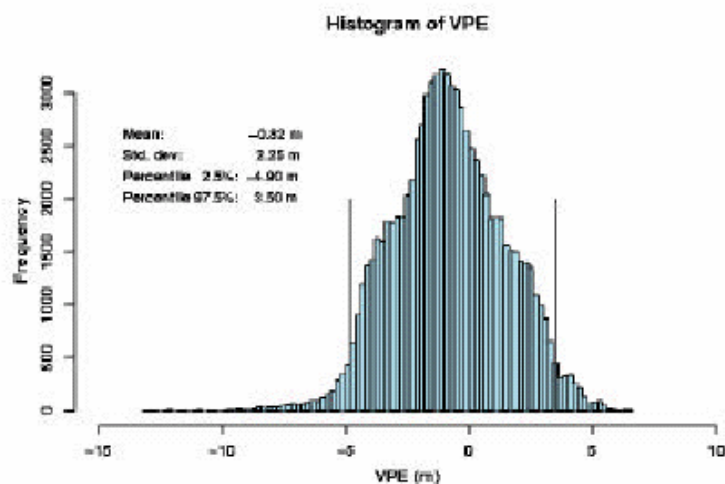


Figure 6: Typical ESTB Vertical error histogram

Η περιοχή μέσα στην οποία το σήμα δοκιμής μπορούσε να αξιοποιηθεί, καθορίζεται πρώτιστα από την θέση των σταθμών αναφοράς.

Οι αποδόσεις ακρίβειας είναι όπως διευκρινίζονται στο επόμενο σχήμα:

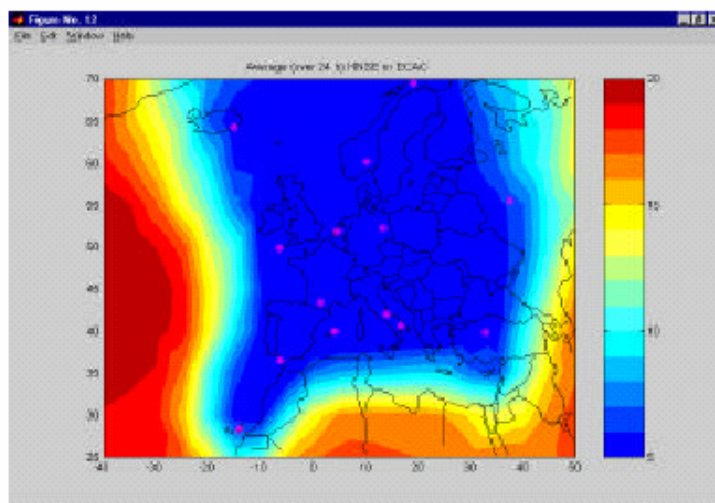
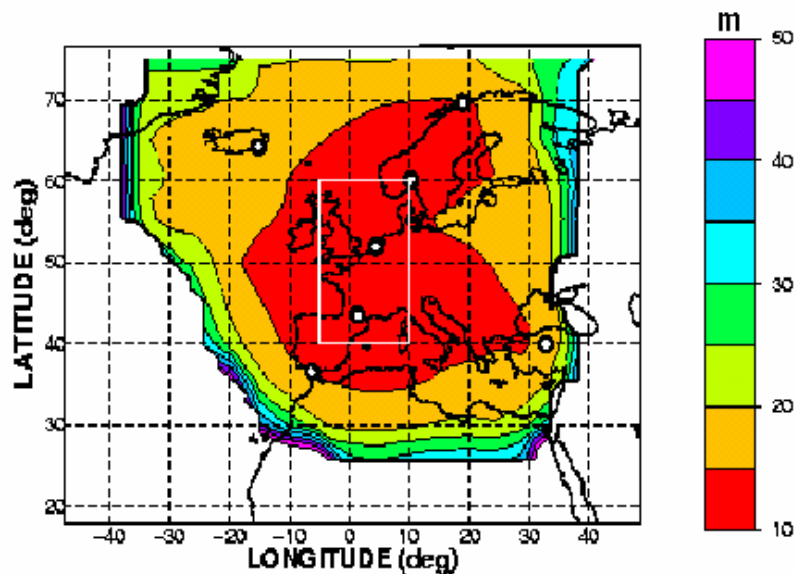


Figure 7: ESTB accuracy (2-sigma value) performances (including MTB)

Το ESTB παρείχε επίσης μια υπηρεσία ακεραιότητας, που αντιπροσωπεύεται από τα κάθετα και οριζόντια επίπεδα προστασίας που υπολογίζονταν από το χρήστη με τα data πληροφοριών του ESTB.

Το επόμενο σχήμα απεικονίζει το χαρακτηριστικό κάθετο επίπεδο προστασίας που επιτεύχθηκε σε όλη την Ευρώπη μέσω του ESTB.



**Figure 8: Typical Vertical Protection levels achieved by the ESTB**

Οι τιμές που απαιτούνται για την ακρίβεια προσέγγισης των αεροσκαφών κατά την προσγείωση εξασφαλιζόνταν εκείνη την περίοδο στο μεγαλύτερο μέρος της Ευρώπης.

Τα αποτελέσματα παρείχαν πρόσθετη εμπιστοσύνη κατά τον σχεδιασμό του EGNOS ειδικά εξετάζοντας το μειωμένο αριθμό των διαθέσιμων σταθμών αναφοράς στο ESTB και την τρέχουσα υψηλή ηλιακή δραστηριότητα.

Κατά τη διάρκεια του έτους 2000, το ESTB υποστήριξε ήδη διάφορες επιδείξεις εφαρμογής. Αυτές περιέλαβαν προσγείωση αεροπλάνων σε διάφορους αερολιμένες, καθοδήγηση πλοίων στα λιμάνια αλλά και πλοήγηση αυτοκινήτων. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή, οι εθνικές αντιπροσωπείες και η ESA υποστήριξε τις επιδείξεις αυτές της ευρωπαϊκής βιομηχανίας και των ευρωπαϊκών επιχειρήσεων με διάφορους τρόπους.

Κατά τη διάρκεια του έτους 2001, χάρι στις πρόσθετες υποστηρίξεις από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, το ESTB έγινε 24 ώρες την μέρα και 7 ημέρες την εβδομάδα λειτουργικό. Επιπλέον, το ESTB χρησιμοποιήθηκε μαζί με το MTB, και ενσωμάτωσε πρόσθετους σταθμούς αναφοράς σε συνεργασία με την AENA (ισπανικό CAA).

Το σύστημα του πεδίου δοκιμής του EGNOS (EGNOS System Test Bed-ESTB) παρέχει μια μοναδική ευκαιρία για νέες εξελίξεις εφαρμογής σε ένα ρεαλιστικό περιβάλλον, κατά την προετοιμασία όχι μόνο της λειτουργίας του EGNOS, αλλά και για τις μελλοντικές υπηρεσίες του Galileo. Το ESTB μπορεί να χρησιμοποιηθεί από οποιαδήποτε επιχείρηση ή οργάνωση που ενδιαφέρεται να εξετάσει ή να προωθήσει εφαρμογές EGNOS και ναυσιπλοΐας.

### EURIDIS

Αυτό το πρόγραμμα οργανώθηκε από το CNES (National Space Study Centre) και την DNA (Air Navigation Directorate). Ήταν ένα είδος προπομπού για το πρόγραμμα EGNOS.

Ο στόχος αυτού του προγράμματος ήταν να επικυρωθεί η δυνατότητα πραγματοποίησης της ‘EGNOS ranging’ λειτουργίας. Αυτό αναπτύχθηκε από την T4S και παραδόθηκε το 1999 στην ESA.

### **3.9 Δοκιμές του συστήματος EGNOS**

Κατά τη διάρκεια των προηγούμενων χρόνων, το ευρωπαϊκό αυτό σύστημα εξετάστηκε σε αεροδρόμια, λιμάνια και οδικές αρτηρίες σε ολόκληρη την Ευρώπη. Επιβατικά αεροπλάνα, πλοία και αυτοκίνητα μετασχηματίστηκαν σε ‘εργαστήρια’ που πλοηγήθηκαν από το EGNOS, κάτι που στέφθηκε με επιτυχία και αποτέλεσε μια «καθησυχαστική εμπειρία» για τους υπεύθυνους του προγράμματος.

Μια από τις δοκιμές τους EGNOS, ήταν και αυτή που πραγματοποιήθηκε την Παρασκευή 16 Μαρτίου 2001, από το λιμάνι του Πειραιά με προορισμό το λιμάνι της Σαντορίνης. Ο εξοπλισμός αποτελούνταν από έναν δέκτη για να πάρει τη ραδιοφωνική μετάδοση σημάτων από το «αρχάριο» EGNOS της Ευρώπης. Στο ελληνικό πλοίο παραβρίσκονταν εκπρόσωποι από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, την ESA, το ελληνικό Πολεμικό Ναυτικό, την ελληνική εμπορική ναυτιλία και τον ΟΤΕ. Στόχος του ταξιδιού ήταν η επίδειξη της ακρίβειας και της αξιοπιστίας του συστήματος στην πλοήγηση στο δύσκολο ελληνικό αρχιπέλαγος. Το EGNOS έπρεπε να καταστήσει πιθανή την πλοήγηση (με ακρίβεια) μέσα στα περιορισμένα κανάλια και να προσδιορίσει τις εισόδους των λιμανιών, μέσα σε μερικά μέτρα, χωρίς άλλες ενισχύσεις ναυσιπλοΐας.

Ήταν η πρώτη δοκιμή μετά την προσθήκη νέων επίγειων σταθμών στην περιοχή της Μεσογείου, η οποία επικεντρώθηκε στον έλεγχο του συστήματος κοντά στα όρια της γεωγραφικής περιοχής λειτουργίας του.

Το 2000, το EGNOS χρησιμοποιήθηκε για να οδηγήσει ένα μεγάλο πλοίο στο λιμάνι της Γένοβας στην Ιταλία.

Το Νοέμβριο του 2000 στο Τορίνο της Ιταλίας τοποθετήθηκε για πρώτη φορά ένας δέκτης EGNOS , με ενσωματωμένο ψηφιακό χάρτη, σ’ ένα αυτοκίνητο. Η επίδειξη του EGNOS τοποθετημένο σ ένα αυτοκίνητο πραγματοποιήθηκε στο 7<sup>ο</sup> παγκόσμιο συνέδριο ευφών συστημάτων μεταφορών (World Congress on Intelligent Transport Systems) που έγινε το Νοεμβρίου του 2000. Το EGNOS έφερε ουσιαστικά τα πρότυπα ασφάλειας της αεροπορίας στο

αυτοκίνητο, επιδεικνύοντας έτσι τις δυνατότητες του για τον προσδιορισμό θέσης με ακρίβεια ενός μέτρου

Οχήματα που θα είναι εφοδιασμένα με τις κατάλληλες συσκευές, θα συνδυάζουν τα δορυφορικά δεδομένα εντοπισμού θέσης με τα δεδομένα κυκλοφορίας, με αποτέλεσμα να αποφεύγονται περιοχές κυκλοφοριακής συμφόρησης και να μειώνεται ο χρόνος ταξιδιού κατά 15-25%. Έτσι, εμμέσως, θα μειωθεί η κατανάλωση πετρελαίου και οι εκπομπές ρύπων. Επίσης, οι υπηρεσίες άμεσης επέμβασης θα μπορούν να ανταποκρίνονται πιο γρήγορα και να παρέχουν βοήθεια σε όσους βρίσκονται σε κίνδυνο, ενώ οι μεταφορικές εταιρείες θα είναι σε θέση να παρακολουθούν καλύτερα τη θέση των οχημάτων τους.

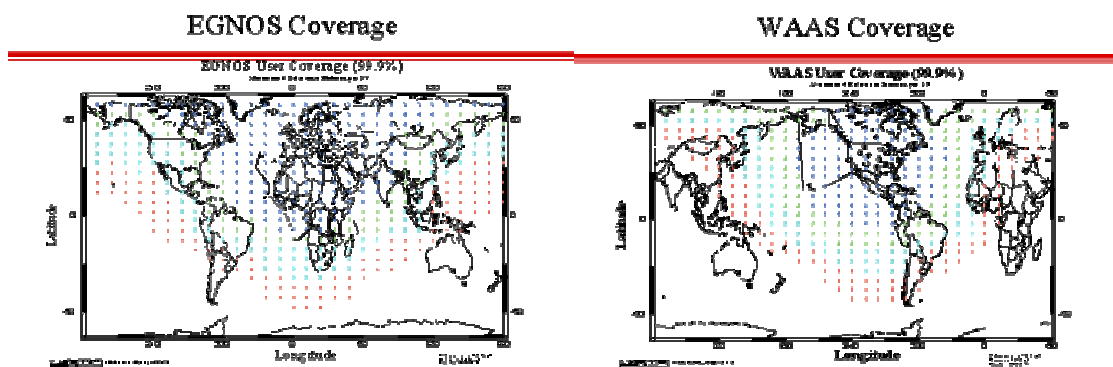
Μια άλλη εφαρμογή του EGNOS είναι στην γεωργία. Τον Αύγουστο του 2001, εκτελέστηκε μια δοκιμή του Egnos, σε ένα αγρόκτημα στην ανατολική Αγγλία, κατά τη διάρκεια της συγκομιδής, από αγρότη για να παρθούν: α) αποτελέσματα σχετικά με την ακρίβεια της καλλιέργειας (υπό την έννοια τις χρονικής ακρίβειας) και β) μετρήσεις παραγωγής.

Τα αποτελέσματα που λαμβάνονται σχετικά με την ακρίβεια της καλλιέργειας, την ημερομηνία της σπορά, τη λίπανση, την επεξεργασία των φυτοφαρμάκων, και τη συγκομιδή, διαμορφώνουν μια βάση δεδομένων που επιτρέπει την βελτιστοποίηση της χρήση των πόρων και ταυτόχρονα τη μεγιστοποίηση της συγκομιδής και κατ' επέκταση την αύξηση των αγροτικών εισοδημάτων.



### 3.10 Διαλειτουργικότητα

#### 3.10.1 Διαλειτουργικότητα μεταξύ EGNOS-WAAS



Τα συστήματα WAAS και EGNOS αποτελούν την Αμερικανική και Ευρωπαϊκή προσπάθεια αντιστοίχως για την βελτίωση της ακρίβειας των σημάτων του GPS. Το σύστημα των δορυφόρων που εκπέμπουν σήματα GPS ελέγχεται από τις Αμερικανικές ένοπλες δυνάμεις, και μέχρι τα τέλη του 2000 η πολιτική του χρήση περιοριζόταν σε ακρίβεια 100m (SA: Selective

Availability). Όταν αναφερόμαστε σε ακρίβεια 100m εννοούμε ότι στο 95% των περιπτώσεων το σήμα που λαμβάνουμε στον δέκτη του GPS μας θα βρίσκεται μέσα σε ένα κύκλο με ακτίνα 100m από την πραγματική του θέση. Με την κατάργηση του Selective Availability η ακρίβεια του στίγματος για πολιτική χρήση έχει βελτιωθεί στα 15-20m περίπου.

Τα συστήματα WAAS και EGNOS, με την χρήση επίγειων και δορυφορικών σταθμών διόρθωσης των σημάτων, βελτιώνουν κατά πολύ την ακρίβεια των σημάτων GPS, στα επίπεδα των 3-5m. Το σύστημα WAAS λειτουργεί ήδη στις ΗΠΑ ενώ το ευρωπαϊκό EGNOS αναμένεται να τεθεί σε λειτουργία στα τέλη του 2004.

Τα συστήματα EGNOS και WAAS έχουν σχεδιαστεί με τα ίδια διεθνή πρότυπα ICAO και τα RTCA MOPS. Επομένως οι δέκτες WAAS και EGNOS είναι διαλειτουργικοί άρα ένας δέκτης ικανός να επεξεργαστεί WAAS σήματα είναι ικανός να επεξεργαστεί και σήματα EGNOS όπως και το αντίστροφο.

Τα συστήματα αυτά έχουν σχεδιασθεί κατ' αρχήν για βελτίωση της ακρίβειας στίγματος για την ναυσιπλοΐα και την αεροπλοΐα. Επομένως η χρήση τους προϋποθέτει την ύπαρξη επαρκούς ανοικτού ορίζοντα, όπως στο πέλαγος για τα σκάφη ή στο αέρα για τα αεροπλάνα. Η χρήση τους σε περιοχές με σημαντικά εμπόδια του οπτικού ορίζοντα, όπως π.χ. μέσα στις πόλεις ή σε πυκνά δάση, ελαχιστοποιεί ή αδρανοποιεί τελείως την δυνατότητα λήψης των διορθωτικών σημάτων WAAS και EGNOS.

Αν και όλα τα δορυφορικά συστήματα αύξησης (Satellite-Based Augmentation Systems-SBAS) είναι περιφερειακά συστήματα, είναι σημαντικό να εξασφαλιστεί ότι είναι συμβατά και ότι οι προμηθευτές SBAS συνεργάζονται ο ένας με τον άλλον και συντονίζουν τις ενέργειές τους.

### **3.10.2 Διαλειτουργικότητα των συστημάτων SBAS**

Η συμβατότητα θα καταστήσει κάθε σύστημα αποτελεσματικότερο και θα εξασφαλίσει ότι όλα τα συστήματα μπορούν να ενσωματωθούν σε ένα εννιαίο παγκόσμιο σύστημα ναυσιπλοΐας.

Η συνεργασία των δορυφορικών συστημάτων αύξησης (SBAS) συντονίζεται αυτήν την περίοδο μέσω των Interoperability Working Groups (ομάδων εργασίας πάνω στην διαλειτουργικότητα) EGNOS/MSAS και EGNOS/WAAS. Η δοκιμή διαλειτουργικότητας πραγματοποιήθηκε επιτυχώς τα έτη 1998, 1999 και 2000.

Αυτή τη στιγμή, τα SBAS αναπτύσσονται για να καλύψουν τις ακόλουθες περιοχές.

#### **Ευρώπη**

Η ευρωπαϊκή τριμερής ομάδα, που αποτελείται από την ESA, την Ευρωπαϊκή Ένωση και την Eurocontrol, αναπτύσσει το EGNOS. Το EGNOS θα καλύψει την περιοχή της ευρωπαϊκής πολιτικής αεροπορίας (European Civil Aviation Conference-ECAC).

#### **Ηνωμένες Πολιτείες**



Η United States Federal Aviation Administration οδηγεί την ανάπτυξη του Wide Area Augmentation System-WAAS (ευρέος συστήματος αύξησης περιοχής). Αυτό θα καλύψει τις Ηνωμένες Πολιτείες και τον Καναδά.

### Ιαπωνία

Το ιαπωνικό γραφείο πολιτικής αεροπορίας εφαρμόζει το MTSAT Satellite-Based Augmentation System (MSAS), το οποίο θα καλύψει την οργανική περιοχή πτήσης της Ιαπωνίας.

### Three existing SBAS Systems

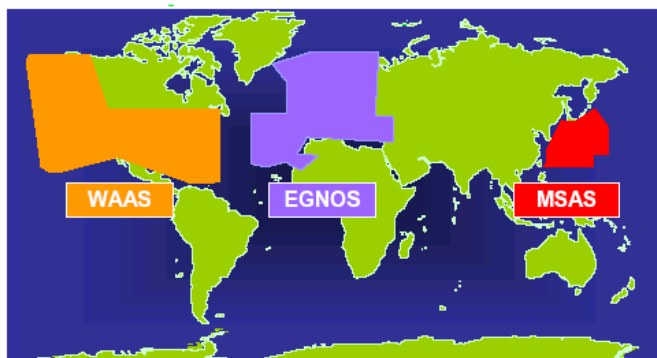
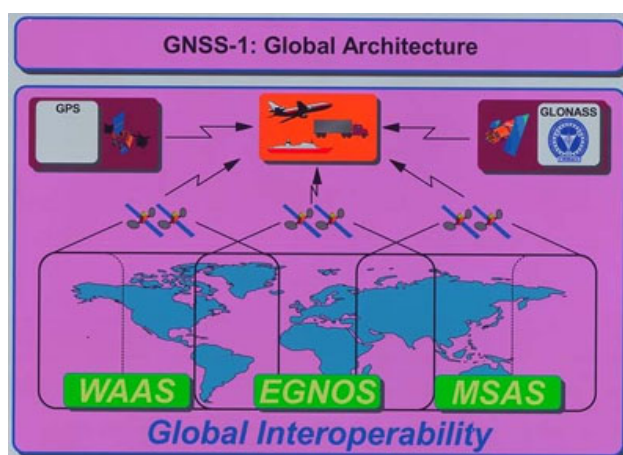


Figure 9: WAAS, EGNOS and MSAS nominal service volumes

Οι ομάδες ανάπτυξης των συστημάτων SBAS συνεδριάζουν τακτικά μέσω της IWG για να αναπτύξουν και να διατηρήσουν την κοινή κατανόηση των απαιτήσεων και των ικανοτήτων της διαλειτουργικότητας, και για να προσδιορίσουν τις απαραίτητες αλληλεπιδράσεις μεταξύ των SBAS. Σαν αποτέλεσμα αυτών των εργασιών, το σύστημα EGNOS περιλαμβάνει συγκεκριμένες απαιτήσεις έτσι ώστε να μπορεί να επιτευχθεί η διαλειτουργικότητα.

Εκτός από τη διαλειτουργικότητα, το EGNOS έχει την ικανότητα να επεκτείνει τις υπηρεσίες του σε περιοχές μέσα στην περιοχή γεωστατικής αναμετάδοσης των δορυφόρων GEO όπως στην Αφρική, στις ανατολικές χώρες, και στη Ρωσία.

Ο συνδυασμός εννοιών διαλειτουργικότητας και επέκτασης SBAS θα επιτρέψει να παρέχει μια άνευ ραφής υπηρεσία παγκόσμιας ναυσιπλοΐας.



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το EGNOS είναι η κύρια ευρωπαϊκή συμβολή στα GNSS-1 για να εξυπηρετήσει ανάγκες αεροναυτιλίας, ναυτιλίας, χερσαίας μεταφοράς και εφαρμογές χρόνου στις ευρωπαϊκές και γειτονικές σε αυτές περιοχές. Το EGNOS είναι διαλειτουργικό με το αμερικανικό WAAS και το Ιαπωνικό MSAS, που στοχεύουν στην δημιουργία ενός παγκόσμιου σφαιρικού συστήματος ναυσιπλοΐας.

Το σήμα στο διάστημα του πεδίου δοκιμής EGNOS ήταν διαθέσιμο από τις αρχές του 2000, και χρησιμοποιήθηκε για να υποστηρίξει επιδείξεις και δοκιμές στην Ευρώπη, στην Αφρική, στη νότια Αμερική και επιδείξεις διαλειτουργικότητας με την Ιαπωνία και τις ΗΠΑ.

Η ανάπτυξη και η τεχνική επικύρωση του EGNOS-AOC ολοκληρώθηκε στις αρχές του 2004.

Το EGNOS είναι το πρώτο στρατηγικό βήμα της ευρωπαϊκής δορυφορικής ναυσιπλοΐας και ένα σημαντικό βήμα προς το Galileo, το μελλοντικό ευρωπαϊκό σφαιρικό δορυφορικό σύστημα ναυσιπλοΐας στο οποίο η ESA έχει σημαντικό ρόλο και ευθύνη.

Το σύστημα EGNOS έχει σχεδιαστεί για μια αποστολή safety-of-life, που απαιτεί την ακεραιότητα και απαιτήσεις ασφάλειας πραγματικού χρόνου.

## EGNOS AOC Participant States



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### Το δορυφορικό σύστημα Galileo

#### Περίληψη

Το δορυφορικό σύστημα Galileo, που θα αποτελείται από 30 δορυφόρους, προγραμματίζεται να προσφέρει υπηρεσίες προσδιορισμού γεωγραφικής θέσης, πλοήγησης και συγχρονισμού (PNT), παγκοσμίως. Έως την πλήρη λειτουργία του Galileo το 2008, το υπάρχον GPS θα αναπτυχθεί περαιτέρω για αστικές εφαρμογές στην Ευρώπη μέσω του ευρωπαϊκού συστήματος EGNOS (ευρωπαϊκό γεωστατικό σύστημα επικαλύψεων ναυσιπλοΐας). Μερικά έτη αργότερα το παγκόσμιο δορυφορικό δίκτυο ναυσιπλοΐας θα συμπληρωθεί από το Galileo, το οποίο θα διαμορφώσει το δεύτερο σύστημα γεωγραφικής τοποθέτησης. Αν και το GPS και το Galileo θα συμπληρώνουν το ένα το άλλο, η λειτουργία των δύο συστημάτων θα είναι ανεξάρτητη. Τα πρώτα σήματα, που θα βοηθήσουν στην αύξηση της απόδοσης σε συνδυασμό με το GPS, θα διαβιβαστούν πιθανώς με τους πρώτους δορυφόρους του Galileo το 2005.

Όπως κάθε πολιτικό πρόγραμμα, έτσι και το σύστημα Galileo έχει μια διάσταση ασφαλείας. Σαν διπλής χρήσης σύστημα, θα προσφέρει πολυάριθμες εφαρμογές στο πεδίο της ασφαλείας και της άμυνας. Οι υπηρεσίες PNT δίνουν τη δυνατότητα στους στρατιωτικούς αρμόδιους για τον επιχειρησιακό σχεδιασμό και στους διοικητές να διαχειριστούν το επιχειρησιακό δυναμικό καθώς και τον τεχνικό εξοπλισμό αποτελεσματικότερα. Δεδομένης της παγκόσμιας κάλυψής του, το Galileo θα προσφέρει μια μεγάλη μερίδα αυτών των υπηρεσιών σε οποιονδήποτε ενδιαφερόμενο, ανοίγοντας έτσι την πόρτα για προμελετημένους χρήστες και χρήσεις, πράγμα που θα έχει επιπτώσεις στην ΕΕ και τους συμμάχους της.

Ακόμα κι αν το Galileo παραμείνει ένα πολιτικό πρόγραμμα, τα ζητήματα ασφάλειας θα εμμένουν. Με έναν αυξανόμενο αριθμό χρηστών που θα χρησιμοποιούν τις ακριβείς υπηρεσίες προσδιορισμού γεωγραφικής θέσης για να πραγματοποιούν τις καθημερινές λειτουργίες τους, μια σκόπιμη ή τυχαία υπηρεσία shutdown θα επιδρούσε αρνητικά στην οικονομική ασφάλεια τους.

Για αυτό το λόγο, εκτός από την προστασία του συστήματος από την αναρμόδια χρήση, θα είναι σημαντικό να προστατευτεί το σύστημα ώστε να εξασφαλίσει συνεχή ροή σημάτων.

Λαμβάνοντας υπόψη τη διπλή φύση του συστήματος, είναι κρίσιμο οι ευρωπαίοι πολιτικοί σχεδιαστές του συστήματος να εξετάσουν τις διαστάσεις ασφάλειας του Galileo και να λάβουν πρακτικά μέτρα για να περιορίσουν την πιθανή κακή χρήση του. Μεταξύ των απαραίτητων βημάτων που χρειάζεται να ληφθούν είναι: α) να προστατευτεί η φυσική και ηλεκτρονική ακεραιότητα του συστήματος, β) να θεσπιστεί μόνιμο πλαίσιο εργασίας μεταξύ ΕΕ-Η.Π.Α. για το χειρισμό σημαντικών θεμάτων ασφαλείας (όπως η 'M-code αλληλοεπικάλυψη'), γ) να

δημιουργηθεί μια σαφή ιεραρχία για το Galileo, δ) να επεκταθούν οι ικανότητες της ΕΕ στην εξέταση τα διαστημικά ζητήματα και ε) να περιοριστεί το σήμα prs (public regulated service) για λόγους ασφάλειας και άμυνας.

## Εισαγωγή

Η απόφαση να προωθηθεί η φάση ανάπτυξης του δορυφορικού συστήματος GNSS το Μάρτιο του 2002 αντιπροσωπεύει ένα σημαντικό βήμα για την ΕΕ. Σαν ανεξάρτητο σύστημα και διαλειτουργικό με το GPS, το σύστημα Galileo θα προσφέρει πολιτικές και ενδεχομένως στρατιωτικές εφαρμογές με την ενεργοποίησή του (κάτι που προς το παρόν προγραμματίζεται για το 2008).

Αντίθετα από την πλειοψηφία προηγούμενων μελετών σχετικά με το Galileo αυτή η προσέγγιση υπερβαίνει μια περιγραφή των μελλοντικών πολιτικών εφαρμογών του συστήματος και εξετάζει τη διάσταση ασφάλειάς του. Αυτό συμβαίνει επειδή το σύστημα Galileo θα έχει επιπτώσεις ασφάλειας ακόμα κι αν παραμένει ένα πολιτικό πρόγραμμα. Παραδείγματος χάριν, μόλις το Galileo τεθεί σε λειτουργία, θα είναι σημαντικό να εξασφαλιστεί συνέχεια στην παροχή υπηρεσιών προκειμένου να προστατευθούν τα ευρωπαϊκά οικονομικά συμφέροντα που θα στηρίζονται στα σήματά του για εμπορικούς λόγους. Επιπλέον, θα πρέπει να προστατευθεί ενάντια στην αναρμόδια χρήση από τρίτους, που τυχόν θα επιδιώξουν κατά καιρούς να εκμεταλευτούν τα στρατιωτικά πλεονεκτήματα που προσφέρονται από ένα σύστημα προσδιορισμού θέσης. Τελικά, το σύστημα θα απαιτήσει επαρκή συντονισμό με το GPS για να ελαχιστοποιήσει την αμερικανική ανησυχία σχετικά με τα αποτελέσματα του Galileo στη στρατιωτική μερίδα του GPS, ειδικά τη δυνατότητα για την ασυμμετρική χρήση του. Εκτός από αυτά τα ζητήματα, σε αυτό το κεφάλαιο θα εξετάσουμε τις πιθανές εφαρμογές του Galileo στον τομέα ασφάλειας και πώς αυτές θα επιδράσουν στις μελλοντικές σχέσεις μεταξύ ΕΕ-Η.Π.Α. και ΕΕ-NATO.

## 4.1 Global Navigation Satellite Systems

Αυτό το κεφάλαιο παρέχει μια επισκόπηση των GNSS, συμπεριλαμβανομένων των γενικών χαρακτηριστικών τους, στρατιωτικών και εμπορικών εφαρμογών τους και περιορισμούς του συστήματος. Τα συστήματα GNSS μπορούν να θεωρηθούν ως μια ευρύτερη κατηγορία μέσα στην οποία ανήκουν γνωστά συστήματα όπως το αμερικανικό GPS. Πρίν προχωρήσουμε στην ανάλυση των GNSS –όπως είναι το GPS ή το Galileo– είναι σημαντικό να κατανοησούμε τα βασικά στοιχεία των παγκόσμιων δορυφορικών συστημάτων ναυσιπλοΐας.

### 4.1.1 Γενικά χαρακτηριστικά

Ένα GNSS υπολογίζει τη θέση των σταθερών και κινούμενων αντικειμένων στο έδαφος, στην ατμόσφαιρα και στο διάστημα χρησιμοποιώντας τον ακριβή συγχρονισμό και το γεωμετρικό

τριγωνισμό. Διαθέσιμοι σε εικοσιτετράωρη βάση, οι δορυφόροι GNSS παρέχουν ακριβή τρισδιάστατο προσδιορισμό θέσης στον καθένα με τον κατάλληλο ραδιο-δέκτη και εξοπλισμό επεξεργασίας. Παρόλο που η κάλυψη που παρέχεται από ένα GNSS είναι 'παγκόσμια', η διαθεσιμότητα και η ακρίβειά του ποικίλλουν σύμφωνα με τις τοπικές συνθήκες. Γενικά, τα σήματα τείνουν να είναι πιο αδύνατα πέρα από τους πόλους και στις αστικές περιοχές.

### **Προσδιορισμός θέσης μέσω GNSS**

Ένας συνδυασμός διαφορετικών ραδιοσημάτων, που μεταδίδονται σε ακριβή διαστήματα από κάθε δορυφόρο ενός αστερισμού GNSS, επιτρέπει σε έναν παθητικό δέκτη να καθορίσει το γεωμετρικό triangulation. Ο πραγματικός προσδιορισμός θέσης εξαρτάται από το χρόνο που χρειάζονται τα σήματα για να φθάσουν στο δέκτη από τους δορυφόρους. Από τη χρονική καθυστέρηση μετάδοσης, ο δέκτης μπορεί να υπολογίσει την απόσταση μεταξύ αυτού και του δορυφόρου σε τροχιά. Χρησιμοποιώντας τα στοιχεία από τέσσερις δορυφόρους, ο δέκτης μπορεί ακριβώς να καθορίσει την τρισδιάστατη θέση του.

Θεωρητικά, ένας δέκτης θα μπορούσε να υπολογίσει την τρισδιάστατη θέση του με τα στοιχεία από τρεις δορυφόρους. Παρόλα αυτά, ένας τέταρτος δορυφόρος είναι απαραίτητος για να εξετάσει την 'αντιστάθμιση χρονισμού' (timing offset) που εμφανίζεται μεταξύ του ρολογιού σε έναν δέκτη και εκείνων στους δορυφόρους. Χρησιμοποιώντας τα στοιχεία από την τέταρτη μέτρηση, ο υπολογιστής του δέκτη μπορεί να υπολογίσει το συγχρονισμό που αντισταθμίζεται και να τον εξαλείψει. Γενικά, όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των δορυφόρων τόσο μεγαλύτερη είναι η ακρίβεια των αποτελεσμάτων.

Ο ακριβής προσδιορισμός θέσης και ο συγχρονισμός εξασφαλίζονται επίσης από διάφορους επίγειους σταθμούς που εξετάζουν την ισοδύναμη σειρά χρηστών error (UERE), και παρέχουν το συνεχή έλεγχο και τη διαχείριση του αστερισμού. Οι επίγειοι σταθμοί ελέγχουν επίσης το διαστημικό σκάφος και παρέχουν τα στοιχεία για τις απαραίτητες διορθώσεις.

### **Αρχιτεκτονική**

Μια αρχιτεκτονική GNSS αποτελείται χαρακτηριστικά από τρία υποσυστήματα: έναν αστερισμό δορυφόρων (space segment), ένα επίγειο τμήμα (ground segment) για να ελέγξει και να επιτηρήσει το διαστημικό τμήμα, και τους κινητούς δέκτες τελικών χρηστών. Αυτά τα υποσυστήματα μπορούν στη συνέχεια να ενισχυθούν μέσω διαστημικής ή επίγεια βασισμένης (space-based or ground-based) αύξησης. Λόγω της στρατιωτικής προέλευσής τους, ορισμένα σήματα GNSS τείνουν να είναι πολύ ακριβή.

Προς το παρόν, υπάρχουν μόνο δύο space-based συστήματα που παρέχουν παγκόσμια κάλυψη: το GPS και το Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema (GLONASS). Ενώ το αμερικανικό σύστημα είναι πλήρως λειτουργικό, το ρωσικό πρόγραμμα είναι μερικώς διαθέσιμο κάτι που οφείλεται στον ελλιπή και αποσυντιθέμενο αστερισμό δορυφόρων. Και τα δύο συστήματα προέρχονται από στρατιωτικές απαιτήσεις και συνεχίζουν να χρηματοδοτούνται και να λειτουργούν από τα αντίστοιχα Υπουργεία Άμυνας.

Παρόλα αυτά, πρέπει να σημειωθεί ότι από το 1996, το GPS διοικείται από ένα Interagency GPS Executive Board (IGEB) το οποίο υπερβαίνει το DoD (Υπουργείο Άμυνας). Το Galileo θα γίνει ο τρίτος παγκόσμιος παροχέας GNSS εάν φτάσει στην πλήρη λειτουργική θέση του το 2008, σύμφωνα με το πρόγραμμα.

#### **4.1.2 Στρατιωτική εφαρμογή**

Τα υπάρχοντα παγκόσμια δορυφορικά συστήματα πλοήγησης έχουν σημαντικές στρατιωτικές εφαρμογές. Σήμερα, οι εφαρμογές πέρα από τον παραδοσιακό ρόλο παροχής προσδιορισμού θέσης και του κατευθυντικού συνδυασμού πληροφοριών διευκολύνει (σε συνεργασία με άλλες τεχνολογίες) τη διαχείριση του στρατιωτικού εξοπλισμού (π.χ. καθοδήγηση βλημάτων).

Σήμερα, οι περισσότερες στρατιωτικές πλατφόρμες που χρησιμοποιούνται από τον αμερικανικό στρατό και τους συμμάχους του ωφελούνται, αφού μπορούν να εγκατασταθούν με ένα δέκτη GNSS. Εκτός από τις στρατιωτικές πλατφόρμες, οι προμήθειες κι ο εξοπλισμός μπορούν να ωφεληθούν (από το GNSS) για να βελτιώσουν τη διοικητική μέριμνα. Μέσω της χρήσης ενός στοιχείου μετάδοσης, οι υπηρεσίες προσδιορισμού θέσης μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για να εντοπίσουν εχθρικές θέσεις.

Η ικανότητα συγχρονισμού της μετακίνησης των διαφορετικών μονάδων στο πεδίο της μάχης (σε αέρα, θάλασσα και έδαφος) από το διάστημα, παρέχει στον μελλοντικό τρέχοντα διοικητή τομέων μια πρωτοφανή αντίληψη περιοχής. Σε συνδυασμό με τις ακριβείς οδηγίες όπλων που παρέχονται από τα GNSS, υπάρχει βελτιωμένη αποτελεσματικότητα 'χτυπήματος' που μπορεί να ελαχιστοποιήσει τις παράπλευρες απώλειες, που συχνά προκαλούνται κατά τη διάρκεια μιας στρατιωτικής επιχείρησης. Η δυνατότητα που παρέχουν τα GNSS για στρατιωτικό χτύπημα από απόσταση μειώνει τον κίνδυνο που εμπεριέχει μια μάχη 'σώμα με σώμα'. Η χρήση της τεχνολογίας πλοήγησης και προσδιορισμού θέσης μπορεί επίσης να μειώσει τον κίνδυνο ατυχημάτων λόγω 'φιλικών πυρών'. Επιπλέον, οι υπηρεσίες PNT εμπεριέχουν λιγότερους κινδύνους για το επιχειρησιακό προσωπικό όπως αυτό που επιτηρεί γύρω από τα μη χαρακτηρισμένα σύνορα, όπου οι παραβιάσεις τους μπορούν να έχουν τρομερές επιπτώσεις.

#### **4.1.3 Εμπορικές εφαρμογές**

Εκτός από την ικανοποίηση των στρατιωτικών απαιτήσεων, τα GNSS προσφέρουν ένα πλήθος εμπορικών εφαρμογών. Η ανάπτυξη του τομέα των μεταφορών, η γρήγορη εξέλιξη των τηλεπικοινωνιών, και η εξέλιξη άλλων υπηρεσιών που απαιτούν τον προσδιορισμό θέσης – όπως η υπηρεσία διάσωσης -ενισχύουν την έννοια GNSS ως τεχνολογία πολλαπλής-χρήσης.

Η μετάδοση σημάτων είναι μία προϋπόθεση επικοινωνίας στην αεροπορία, στη ναυτιλία, στη τηλεφωνία, στον προσδιορισμό θέσης δικτύων υπολογιστών και σε πολλούς άλλους τομείς. Η πλοήγηση κατέχει έναν σημαντικό ρόλο σε αυτούς τους τομείς, δεδομένου ότι: α) ενισχύει την

οικονομική αποδοτικότητα, β) βοηθάει στον αποδοτικότερο επίγειο έλεγχο, γ) παρέχει βελτιωμένη χρήση της ικανότητας εναέριου χώρου και δ) επιτρέπει λιγότερες καθυστερήσεις πτήσεων. Το GPS είναι ήδη ένα σημαντικό εργαλείο για την ασφάλεια πτήσεων λόγω της παροχής καθ'οδόν ναυσιπλοΐας, της προσέγγισης αερολιμένων, της προσγείωσης και της επίγειας καθοδήγησης. Με την έναρξη του Galileo, τα οικονομικά οφέλη στην ευρωπαϊκή αεροπορία και τα τμήματα ναυτιλίας υπολογίζονται να φθάσουν σε 15 δισεκατομμύρια ευρώ μεταξύ 2008 και 2020.

Ο προσδιορισμός θέσης μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί και τα τρέχοντα και μελλοντικά συστήματα οδήγησης. Σύμφωνα με τη Γενική Διεύθυνση της Επιτροπής Ενέργειας και Μεταφορών, τα τροχαία ατυχήματα και οι εγκαταστάσεις υπηρεσιών δημιουργούν κοινωνικές και οικονομικές δαπάνες που αντιστοιχούν στο 1.5-2.5% του ακαθάριστου εθνικού προϊόντος (GNP). Η οδική συμμόρφωση προσθέτει συμπληρωματικές δαπάνες που αντιπροσωπεύουν το 2% του ΑΕΠ της ΕΕ. Η χρήση ενός πολύ ακριβούς GNSS θα μπορούσε να χαμηλώσει αυτές τις κοινωνικές δαπάνες με την αύξηση της οδικής ασφάλειας και να μειώσει το χρόνο ταξιδιού. Οι πρόσθετες οδικές εφαρμογές που κερδίζουν προς το παρόν την προσοχή περιλαμβάνουν την in-car ναυσιπλοΐα, τη διαχείριση στόλων ταξί και την οδική βοήθεια.

Στον τομέα της ενέργειας, τα συστήματα συγχρονισμού και προσδιορισμού θέσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να βελτιστοποιήσουν τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας κατά μήκος των δικτύων και γραμμών παροχής ενέργειας. Η αύξηση της ασφάλειας διάτρησης, αποδίδει οφέλη στον τομέα του φυσικού αερίου και στον τομέα του πετρελαίου. Από ασφαλιστικής πλευράς, τα GNSS μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ελέγξουν τη μεταφορά πολύτιμων εμπορευμάτων.

Τα GNSS διαδραματίζουν ήδη έναν σημαντικό ρόλο στις υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης όπως η αναζήτηση και η διάσωση, η καταπολέμηση της καταστροφής του φυσικού πλούτου και ο περιβαλλοντικός έλεγχος. Τα τρέχοντα αναγνωριστικά σήματα έκτακτης ανάγκης λειτουργούν μέσα στο δορυφορικό σύστημα Cospas-Sarsat. Εντούτοις, χωρίς την εγγύηση υπηρεσιών πραγματικού χρόνου και ανακριβείς εκτιμήσεις (που έχουν να κάνουν με χιλιομετρικές αποστάσεις), υπάρχει περιθώριο για βελτίωση.

Εκτός από τις επαγγελματικές εφαρμογές που περιγράφονται ανωτέρω, υπάρχουν και ψυχαγωγικές χρήσεις των GNSS. Για παράδειγμα, τα εμπορικά μικροτηλέφωνα GPS είναι όλο και περισσότερο κοινά για την οδοπορία, τη ναυσιπλοΐα θάλασσας, κ.λ.π.

#### **4.1.4 Περιορισμοί και ευπάθειες συστημάτων**

Τα GNSS έχουν και περιορισμούς παρά τα στρατιωτικά και εμπορικά πλεονεκτήματά τους. Παρατηρούνται τρεις περιορισμοί. Κατά πρώτον, τα σήματα τοποθέτησης (positioning signals) τείνουν να είναι λιγότερο ακριβή στα αστικά περιβάλλοντα ή κάτω από φύλλωμα, στις περιοχές όπου ο αριθμός διορατικότητας δορυφόρων είναι χαμηλός (συνήθως στα ανώτερα και

χαμηλότερα γεωγραφικά πλάτη γύρω από τους πόλους), και υπό ορισμένες καιρικές συνθήκες όπως οι πυκνές νεφώσεις. Η ακρίβεια των GNSS επηρεάζεται επίσης από την ένταση του μεταδιδόμενου σήματος (ένα ισχυρότερο σήμα υφίσταται λιγότερη διαστρέβλωση καθώς οδεύει κάτω στη γη). Επίσης, η ground- και η space-based διάδοση ενισχύονται, με την προσθήκη σημείων αναφοράς σε επίγειους σταθμούς, με αποτέλεσμα τη βελτίωση της ακρίβειας σε εντοπισμένες περιοχές.

Κατά δεύτερο, οι υπηρεσίες GNSS μπορεί να «πάσχουν» από την ελλιπή κάλυψη υπηρεσιών. Δεδομένης της περιορισμένης διάρκειας ζωής του διαστημικού εξοπλισμού, το σύστημα πρέπει να μετατραπεί περιοδικά για την απόδοση των ακριβών πληροφοριών. Για παράδειγμα, κατά τη διάρκεια ορισμένων βελτιωτικών διαδικασιών, οι δέκτες που στηρίζονται στις πληροφορίες από τους επίγειους σταθμούς ή τους δορυφόρους που χειρίζονται, μπορούν να επηρεαστούν ακόμα κι αν η υπηρεσία υποβιβάζεται για μερικά δευτερόλεπτα ή λεπτά, ο αντίκτυπος μπορεί να είναι σημαντικός (π.χ στην εναέρια κυκλοφορία). Για να περιοριστεί αυτή η ανεπάρκεια, οι φορείς παροχής υπηρεσιών μπορούν να υποδεικνύουν τις επερχόμενες διακοπές υπηρεσιών. Όσον αφορά το GPS, η αμερικανική αεροναυτική και η ομοσπονδιακή διοίκηση αεροπορίας (FAA) λαμβάνουν τις περιοδικές ειδοποιήσεις των πιθανών διακοπών στις υπηρεσίες GPS, οι οποίες θα μπορούσαν να έχουν επιπτώσεις στη διαθεσιμότητα υπηρεσιών σε μια εντοπισμένη γεωγραφική περιοχή, και τις αποστέλλουν σε ποικίλες πηγές.

Και κατά τρίτο, η παγκόσμια ναυσιπλοΐα και τα συστήματα τοποθέτησης, ως ζωτικής σημασίας συστατικό για έναν αυξανόμενο αριθμό εμπορικών και στρατιωτικών εφαρμογών, μπορούν να είναι τρωτές στην επίθεση από εχθρικές οντότητες. Για παράδειγμα, ένας επίγειος σταθμός μπορεί να δεχτεί επίθεση ή να καταληφθεί, με όποιες συνέπειες για τις υπηρεσίες. Τα ηλεκτρονικά μέσα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να «φράξουν» τα μέρη του συστήματος ή να επιδιώξουν τις περιορισμένες αναλήψεις συστημάτων. Στο απώτερο μέλλον, αυτές οι απειλές μπορούν επίσης να έχουν επιπτώσεις στο διαστημικό τμήμα, με πολύ σοβαρές συνέπειες.

Η αποτυχία ή η διακοπή του συστήματος μπορεί να έχει δυσοίωνα οικονομική συνέπεια-ειδικά όσο μεγαλύτερη είναι η εξάρτηση στο σύστημα. Επιπλέον, οποιαδήποτε διακοπή του συστήματος μπορεί να έχει μεγάλες συνέπειες στους τομείς που απαιτούν συνεχή και ακριβή σήματα (όπως η αεροπορία).

## 4.2 Τα τρέχοντα συστήματα

Αυτή τη στιγμή υπάρχουν δύο εν λειτουργία παγκόσμια δορυφορικά συστήματα: Το αμερικανικό navstar GPS και το ρωσικό GLONASS.



### **4.2.1 Navstar GPS**

Το Navstar GPS είναι το πρώτο και αυτή τη στιγμή το μόνο πλήρες λειτουργικό σύστημα PNT. Το ερευνητικό έργο GPS άρχισε το 1973 και η πλήρης λειτουργική ικανότητα (FOC-Full Operational Capability) του επιτεύχθηκε το 1995. Γενικά έχει υπολογιστεί ότι το κόστος του GPS υπολογίζεται σε 14 δισεκατομμύρια δολάρια. Αναπτύχθηκε για και από το στρατό των ΗΠΑ. Διευθύνεται από το Joint Program Office (JPO) του υπουργείου άμυνας (DoD) και το U.S. Air Force Space Command (AFSPC). Η ευθύνη για τις πολιτικές εφαρμογές εναπόκειται στο κέντρο ναυσιπλοΐας της ακτοφυλακής των ΗΠΑ (NAVCEN-Navigation Center). Ένα Interagency GPS Executive Board (IGEB), που καθιερώθηκε μέσω μιας προεδρικής οδηγίας της 28ης Μαρτίου 1996, διαχειρίζεται το GPS.

#### **Το διαστημικό τμήμα**

Το διαστημικό τμήμα GPS περιλαμβάνει 24 navstar δορυφόρους (και μια ή περισσότερες εφεδρείες σε τροχιά) που διανέμονται σε έξι τροχιακά επίπεδα. Το διαστημικό σκάφος περιστρέφεται γύρω από τη γή σε μια περίοδο 12 ωρών διανύοντας 10.900 ναυτικά μίλια (20.200 χλμ) σε τροχιά -το οποίο σημαίνει ότι κάθε δορυφόρος περνά από την ίδια θέση της γης μία φορά ημερησίως. Κανονικά, πέντε δορυφόροι είναι «ορατοί» (με την έννοια του διαθέσιμου) στους χρήστες παγκοσμίως σε οποιαδήποτε δεδομένη στιγμή.

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων 28 ετών, έχουν αναπτυχθεί τέσσερις διαφορετικές γενιές των δορυφόρων GPS : Block I, Block II, Block IIR (ξαναγέμισμα) και Block IIF (follow-on). Η μέση διάρκεια ζωής κάθε διαστημικού σκάφους είναι από 7 έως 10 έτη για τις πρώτες τρεις γενιές, ενώ η τελευταία γενιά αναμένεται να διαρκέσει 15 έτη.

Οι δορυφόροι Block IIR (οι πρώτοι που εκτοξεύτηκαν -το 1997), αποτελούν την πλειοψηφία των παρόντων δορυφόρων. Οι δορυφόροι Block IIR χαρακτηρίζονται από μια ικανότητα αυτόματης-ναυσιπλοΐας (AUTONAV) που επιτρέπει σε κάθε διαστημικό σκάφος για να διατηρήσει την πλήρη ακρίβεια προσδιορισμού θέσης για τουλάχιστον 180 ημέρες χωρίς υποστήριξη τμήματος ελέγχου. Οι πιο πρόσφατοι δορυφόροι σε αυτήν την σειρά θα φέρουν έναν νέο στρατιωτικό κώδικα ή M-κώδικα (M-code), για να προωθηθεί από το 2003 και μετά. Ο M-κώδικας θα είναι jam-resistant από τον τρέχοντα στρατιωτικό κώδικα GPS (επίσης γνωστό ως P- Code). Επιπλέον, αυτοί οι δορυφόροι θα προσφέρουν ένα δεύτερο αστικό σήμα στη L2 Band.

Το GPS θα έχει 18 εκσυγχρονισμένους δορυφόρους Block IIR σε τροχιά μέχρι το 2008 με πλήρη λειτουργική ικανότητα και αναμένεται να ενισχυθεί από περίπου 10 ακόμα δορυφόρους μέχρι το 2011 (de Jong, 2002). Πέρα από το Block IIR, υπάρχουν σχέδια για να αναβαθμίσουν το σύστημα μέσω της εισαγωγής του προγράμματος GPS IIF 2008. Το πρόγραμμα Block IIF θα διαβιβάζει ένα τρίτο αστικό σήμα στη L5 Band. Μια πέμπτη γενιά των δορυφόρων GPS, το Block III, αναμένεται να ενισχύσει εντυπωσιακά την απόδοση του συστήματος από το 2011 (εκτός και αν υπάρχουν καθυστερήσεις). Αυτοί οι δορυφόροι θα παρέχουν ένα ανθεκτικότερο,

πιο ακριβές και πιο αξιόπιστο σήμα λόγω της αύξησης της ισχύος μετάδοσης. Το πλήρες πρόγραμμα θα αποτελείται από 33 δορυφόρους, που θα κοστίσουν περίπου 1,3 δισεκατομμύριο δολάρια.

### **Το επίγειο τμήμα**

Ένας κύριος σταθμός ελέγχου στο Colorado Springs ελέγχει το διαστημικό τμήμα. Εκτός από τον κύριο σταθμό ελέγχου, οι Ηνωμένες Πολιτείες ενεργοποιούν πέντε τηλεκατευθυνόμενους σταθμούς οργάνων ελέγχου και τέσσερις επίγειες κεραιές για να πάρουν δορυφορικά σήματα GPS. Τα δεδομένα που συλλέγονται από το σταθμό οργάνων ελέγχου χρησιμοποιούνται για να υπολογίσουν τις διορθώσεις θέσης (positioning corrections) για τους δορυφόρους. Αυτή η διαδικασία εξασφαλίζει το συγχρονισμό των δορυφόρων και την ακρίβεια των σημάτων που στέλνονται στη γη.

### **Σήματα GPS**

Οι δορυφόροι GPS εκπέμπουν δύο διαφορετικά σήματα: the Precision (Ακρίβεια) ή P-code και the Coarse Acquisition (Χονδροειδή Απόκτηση) ή C/A - Code. Ο P-code διαβιβάζεται πέρα από τις L1 και L2 Band ενώ το σήμα C/A χρησιμοποιεί αποκλειστικά τη L1 Band. Στην περίπτωση του P-code, η διαθεσιμότητα δύο διαφορετικών ζωνών για να φέρει τις ίδιες βοήθειες σημάτων βελτιώνει την ακρίβεια σημάτων (με τη μείωση των λαθών που παράγονται κατά τη διάρκεια της μετάδοσης μέσω της ιονόσφαιρας) και την αντίσταση αύξησης στο μπλοκάρισμα.

Ο P-code σχεδιάζεται αποκλειστικά για τους εξουσιοδοτημένους, σχετικούς με την άμυνα, χρήστες και παρέχει ένα αποκαλούμενο ακριβές σύστημα τοποθέτησης (PPS-Precise Positioning System). Για να εξασφαλίσουν ότι οι μη εξουσιοδοτημένοι χρήστες δεν έχουν πρόσβαση στον P-code, οι Ηνωμένες Πολιτείες μπορούν να εφαρμόσουν ένα τμήμα κρυπτογράφησης P-code για λόγους «αντι-εξαπάτησης» (AS: Anti-spoofing). Ο P-code με AS κρυπτογράφηση (οριζόμενη με Y-code) είναι διαθέσιμος μόνο στους χρήστες με τα σωστά τσιπ αποκρυπτογράφησης.

Ο C/A code, αφ' ετέρου, προορίζεται για πολιτική χρήση και παρέχει μια τυποποιημένη υπηρεσία τοποθέτησης (SPS-Standard Positioning Service). Δεδομένης της μη στρατιωτικής φύσης του, ο C/A-code είναι λιγότερο ακριβής και ευκολότερο να μπλοκαριστεί σε σχέση με τον P-code. Παρόλ' αυτά, είναι ευκολότερο να αποκτηθεί από στρατιωτικούς δέκτες το σήμα, πρώτα, σε C/A -code και να επανέλθει έπειτα στον ακριβέστερο P-code. Το μελλοντικό σήμα M-code σχεδιάζεται για την αυτόνομη απόκτηση έτσι ώστε ένας δέκτης να μπορεί να αποκτήσει το σήμα M-code χωρίς προγενέστερη πρόσβαση στα σήματα C/A ή Y-code.

### **Δέκτες GPS**

Συνολικά, υπάρχουν τρεις διαφορετικοί τύποι τερματικών GPS, που ταξινομούνται σύμφωνα με τον κώδικα που μπορούν να αποκτήσουν:

1. C/A (SPS) δέκτες-που είναι διαθέσιμοι στο ευρύτερο κοινό για πολιτικές εφαρμογές
2. C/A (PPS) δέκτες-χρησιμοποιούνται αποκλειστικά από το στρατιωτικό προσωπικό

3. Direct P(Y) στρατιωτικοί δέκτες-Σε αυτούς τους τελευταίας γενιάς στρατιωτικούς δέκτες δεν είναι απαραίτητο να περάσουμε από το σήμα C/A για να ακολουθήσει το σήμα P(Y). Μόλις έχει όλο το στρατιωτικό προσωπικό πρόσβαση στους άμεσους δέκτες P(Y), οι στρατιωτικοί διοικητές μπορούν να σβήσουν το σήμα C/A στο πεδίο μάχη χωρίς φόβο ενός αρνητικού αντίκτυπου για τις φιλικές στρατιωτικές δυνάμεις.

Ενώ οι δέκτες C/A(SPS) είναι προσιτές στην αγορά τους στις περισσότερες χώρες, χωρίς προηγούμενη έγκριση, οι δέκτες C/A (PPS) είναι υπό αυστηρό έλεγχο εξαγωγής καθώς είναι ακριβή συστήματα (ενσωματώνουν ένα GPS-based σύστημα που χρησιμοποιείται σαν εξοπλισμός σε μαχητικά αεροσκάφη, κάτι που συνεπάγεται δαπάνες που αρχίζουν από \$100.000). Το αμερικανικό υπουργείο άμυνας είναι αρμόδιο για να αξιολογήσει τα αιτήματα, από το εξωτερικό, για τους δέκτες C/A(PPS). Σε γενικές γραμμές, οι εξαγωγές των PPS δεκτών είναι μόνο διαθέσιμες σε εξουσιοδοτημένο προσωπικό.

#### **4.2.2 GLONASS**

Το ρωσικό δορυφορικό σύστημα GLONASS είναι το αντίστοιχο του αμερικανικού GPS. Οι πρώτοι δορυφόροι προωθήθηκαν το 1982, και η πλήρης λειτουργική ικανότητα επιτεύχθηκε το 1996. Παρόλο που το σύστημα είναι αυτήν την περίοδο μόνο σε μερική λειτουργία, η ρωσική κυβέρνηση έχει ανακοινώσει ότι θα προσπαθήσει να αναβαθμίσει το πρόγραμμα από το 2006. Το GLONASS διαχειρίζεται από τις ρωσικές διαστημικές δυνάμεις υπό την εποπτεία του Υπουργείου άμυνας.

##### **Το διαστημικό τμήμα**

Ένας πλήρης αστερισμός GLONASS αποτελείται από 24 δορυφόρους, συμπεριλαμβανομένων τριών εφεδρειών, που ταξιδεύουν σε τρία τροχιακά επίπεδα σε ένα ύψος 19.100 χιλιομέτρων. Οι δορυφόροι κάνουν μια πλήρη τροχιά γύρω από τη γη σε μια περίοδο 11 ωρών και δεκαπέντε λεπτών με κλίση 64,8 μοιρών σε σχέση με τον ισημερινό. Μέσω αυτής της σχετικά υψηλής κλίσης τροχιάς, ένα πλήρως λειτουργικό GLONASS θα παρείχε μια καλύτερη κάλυψη των πόλων από το GPS. Εντούτοις, με λιγότερο από τους μισούς από τους προγραμματισμένους δορυφόρους σε λειτουργία, το σύστημα παρέχει χαμηλή γενική απόδοση.

Η διάρκεια ζωής κάθε δορυφόρου είναι σχετικά σύντομη (περίπου τρία έτη), κάτι που απαιτεί έναν μεγάλο αριθμό δορυφόρων αντικατάστασης. Εάν υλοποιηθούν οι δορυφόροι επόμενης γενιάς, συμπεριλαμβανομένων των GLONASS-M και GLONASS-K, αναμένεται να αυξηθεί και η διάρκεια ζωής και η ένταση του μεταδιδόμενου σήματος.

##### **Το επίγειο τμήμα**

Το GLONASS χρησιμοποιείται από έναν Ground-based σύνθετο σταθμό ελέγχου (Ground-based Control Complex-GCS) που αποτελείται από ένα Κέντρο Ελέγχου Συστημάτων (System Control Centre-[Golitsnyo-2]) και διάφορους Command Tracking Stations (CTS). Οι CTS

(γεωγραφικά διασκορπισμένοι σταθμοί πέρα από την Ρωσία) καθοδηγούν τους δορυφόρους GLONASS με σκοπό τη συσσώρευση στοιχείων απόστασης (ranging) και δεδομένων τηλεμετρίας. Η πληροφορία του σήματος που συγκεντρώνεται από το CTS υποβάλλεται σε επεξεργασία στο κέντρο ελέγχου συστημάτων (System Control Centre) για τον υπολογισμό του δορυφορικού ρολογιού και των τροχιακών θέσεων. Οι CTS ενημερώνουν επίσης τα μηνύματα ναυσιπλοΐας για κάθε δορυφόρο.

### **Τα σήματα GLONASS**

Αντίθετα από το GPS, όλη η ραδιοφωνική μετάδοση κωδίκων από τους δορυφόρους GLONASS είναι ίδια. Η διαφοροποίηση σημάτων, επομένως, επιτυγχάνεται από κάθε δορυφόρο που έχει ελαφρώς διαφορετικές συχνότητες στις G1 και G2 Bands. Από την άλλη πλευρά, όπως το GPS έτσι και το GLONASS χρησιμοποιεί έναν C/A code και έναν P-code. Ο κώδικας C/A διαβιβάζεται στην G1 ενώ ο P-code διαβιβάζεται στις G1 και G2. Από τη στιγμή που κάθε δορυφόρος εκπέμπει σε μια διαφορετική συχνότητα, το GLONASS είναι λιγότερο τρωτό στο «μπλοκάρισμα» και στην «υποκρισία» (jamming and spoofing) από το GPS.

### **Δέκτες GLONASS**

Παλιότερα οι δέκτες GLONASS ήταν διαθέσιμοι μόνο στους στρατιωτικούς χρήστες. Σήμερα υπάρχουν εμπορικοί δέκτες διαθέσιμοι στην αγορά. Οι πρόσφατες εξελίξεις περιλαμβάνουν έναν συνδυασμένο πολυ-κώδικα GLONASS/GPS και τον πολυδιαυλικό δέκτη αυτού που μπορεί να ανιχνεύσει και το σήμα GPS και το σήμα GLONASS. Εντούτοις, λαμβάνοντας υπόψη έναν ελλειπή αστερισμό, οι δέκτες GLONASS δεν χρησιμοποιούνται ευρέως λόγω των χαμηλών επιπέδων ακριβείας, ακεραιότητας και διαθεσιμότητας συστήματος που παρέχουν. Αντ' αυτού αυτοί οι δέκτες τείνουν να χρησιμεύσουν ως ένας μηχανισμός υποστήριξης και ελέγχου για τα GPS data.

## **4.3 Το μέλλον του συστήματος Galileo**

### **4.3.1 Ευρωπαϊκή συνεργασία**

Η δορυφορική ναυσιπλοΐα έχει γίνει ένα ουσιαστικό μέρος της κινητικότητας του σύγχρονου κόσμου. Είτε στο δρόμο, είτε στον αέρα είτε στη θάλασσα, ο προσδιορισμός της γεωγραφικής θέσης και ο προγραμματισμός διαδρομών με τη βοήθεια δορυφορικών σημάτων βοηθάει στο να κερδηθεί χρόνος και χρήμα. Μέχρι τώρα, η παγκόσμια ναυσιπλοΐα έχει βασιστεί στο αμερικανικό GPS. Αλλά το αμερικανικό δορυφορικό δίκτυο έχει ένα σημαντικό μειονέκτημα: είναι ένα στρατιωτικό σύστημα που η αμερικανική κυβέρνηση μπορεί να επηρεάσει οποιαδήποτε στιγμή εάν η πολιτική κατάσταση το απαιτεί.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση ασχολείται με τις εφαρμογές της δορυφορικής ναυσιπλοΐας κοντά μια δεκαετία. Το 1995, επέκτεινε την επέκταση ενός πρώτης γενιάς ευρωπαϊκού GNSS γνωστού ως ευρωπαϊκή γεωστατική υπηρεσία επικαλύψεων ναυσιπλοΐας (European Geostationary Navigation Overlay Service-EGNOS). Ένα πρόγραμμα που συμμετείχαν η Ευρωπαϊκή Επιτροπή, η ευρωπαϊκή διαστημική αντιπροσωπεία (ESA), και η ευρωπαϊκή οργάνωση για την ασφάλεια της αεροπλοΐας (EUROCONTROL). Το EGNOS θα παρέχει (υπό ορισμένους όρους) μια εγγυημένη υπηρεσία GPS/GLONASS από το 2004. Κάποια στιγμή μεταξύ 2006 και 2008, η υποδομή του EGNOS θα συνενωθεί με το πρόγραμμα Galileo. Το EGNOS χρησιμοποιώντας τρεις γεωστατικούς δορυφόρους (International Maritime Satellite Organisation -Inmarsat) και ένα δίκτυο επίγειων σταθμών, θα διαβιβάζει ένα σήμα που θα περιέχει πληροφορίες για την διαθεσιμότητα και την ασφάλεια των σημάτων τοποθέτησης που στέλνονται από το GPS και το GLONASS.

Το 1998, η ESA και η Ευρωπαϊκή Ένωση αποφάσισαν από κοινού να μελετήσουν τη δυνατότητα πραγματοποίησης ενός αληθινά ανεξάρτητου ευρωπαϊκού GNSS. Το πρόγραμμα αυτό ονομάστηκε Galileo. Η ΕΕ θεωρεί ότι το Galileo είναι το σημαντικότερο τεχνολογικό πρόγραμμά της για το εγγύς μέλλον μετά από το airbus και το ARIANE. Οι εμπειρογνώμονες θεωρούν ότι η δορυφορική ναυσιπλοΐα θα αποτελέσει βασικό παράγοντα οικονομικής ανάπτυξης για το μέλλον.

Όντας ανεξάρτητο, το Galileo πρόκειται να προσφέρει μεγαλύτερη ακρίβεια, ακεραιότητα, διαθεσιμότητα και συνοχή υπηρεσιών έναντι των παρόντων συστημάτων. Παρά τη διπλή φύση χρήση οποιουδήποτε GNSS συστήματος, το Galileo προορίζεται να είναι για πολιτική εφαρμογή μόνο. Έτσι χαρακτηρίζεται ως ένα «πολιτικό πρόγραμμα με πολιτικό έλεγχο».

Η φάση καθορισμού του προγράμματος, που τελείωσε τον Απρίλιο του 2001, εξέτασε το τεχνικό σχέδιο, την απόδοση και τη χρηματοδότηση του συστήματος. Αποφασίστηκε ότι το Galileo θα χρηματοδοτείται βάσει μιας δημόσιας και ιδιωτικής συνεργασίας που θα χρησιμοποιεί δημόσιους και ιδιωτικούς πόρους. Οι βιομηχανίες του Galileo ιδρύθηκαν στις Βρυξέλλες για να επιτηρούν συγκεκριμένα τη βιομηχανική εφαρμογή του προγράμματος. Από την ιδιωτική πλευρά είναι η κοινοπραξία Astrium (43%), η Alcatel (21.5%), η Alenia Spazio (21.5%) και η Galileo Systemas Y Servicios (14%). Από τη δημόσια πλευρά, το έργο του Galileo υποστηρίζεται και χρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, την ευρωπαϊκή διαστημική αντιπροσωπεία (ESA), την ευρωπαϊκή οργάνωση για την ασφάλεια ναυσιπλοΐας πτήσεων (Eurocontrol) και τα αντίστοιχα κράτη μέλη.

Στις 26 Μαρτίου 2002, το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο των Υπουργών μεταφορών ενέκρινε ένα πακέτο 450 εκατομμυρίων ευρώ με κοινοτική χρηματοδότηση για να αρχίσει η φάση ανάπτυξης του Galileo. Η ESA έχει προσφέρει ένα ποσό της τάξης των 600 εκατομμυρίων ευρώ. Το Galileo αναμένεται να είναι σε πλήρη λειτουργία το 2008. Είναι σημαντικό να επιτευχθεί η λειτουργία του προγράμματος μέσα στα προγραμματιζόμενα πλαίσια, δεδομένου ότι

ουσιαστικές καθυστερήσεις θα μπορούσαν να οδηγήσουν στη αποδέσμευση του φάσματος των συχνοτήτων που διατέθηκαν στο πρόγραμμα στην παγκόσμια ραδιοδιάσκεψη (World Radio Conference) του 2000.

Ο πολιτικός χαρακτήρας του Galileo σημαίνει ότι, μέχρι τώρα, καμία από τις χρηματοδότησεις δεν προέρχεται άμεσα από αμυντικούς προϋπολογισμούς. Με τις δαπάνες επέκτασης εκτιμώμενες μεταξύ 3.2-3.6 δισεκατομμύρια ευρώ, λύσεις χρηματοδότησης αναμένεται να έρθουν μέσω των δημόσιων-ιδιωτικών συνεργασιών (public-private partnerships -PPP) και των αμοιβών για τις χρεώσεις υπηρεσιών (fee-for service charges) που θα εισπράτοντε από την Galileo Operating Company (COG).

Οι συνολικές δαπάνες, συμπεριλαμβανομένων των δαπανών λειτουργίας για δώδεκα έτη, είναι πιθανό να φθάσουν τα 6 δισεκατομμύρια ευρώ. Όσον αφορά τις συνεργασίες, η Ευρωπαϊκή Τράπεζα Επενδύσεων ή οι ιδιωτικές επιχειρήσεις που είναι πρόθυμες να δεσμεύσουν το λιγότερο 5 εκατομμύρια ευρώ μπορούν να προσχωρήσουν στην πρόσφατα καθιερωμένη κοινοπραξία (Joint Undertaking-JU) που είναι, προς το παρόν, αρμόδια για την φάση της ανάπτυξης και της επικύρωσης του προγράμματος. Για να αποφύγουν τις συγκρούσεις συμφερόντων, οι ιδιωτικές επιχειρήσεις μπορούν να μην γίνουν μέλη έως ότου τελειώσει η διαδικασία υποβολής προσφορών.

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει πάρει την ευθύνη για την πολιτική του συστήματος καθώς και τον καθορισμό της αρχιτεκτονικής των συστημάτων, ενώ η ESA έχει επικεντρωθεί στον καθορισμό του δορυφορικού συνόλου, στα επίγεια τμήματα και στις σχετικές τεχνολογίες με αυτά.

#### **4.3.2 Τα στάδια χρηματοδότησης του Galileo**

Το σχέδιο προβλέπει την δημιουργία του Galileo σε τρία στάδια. Η χρηματοδότηση θα προέλθει από δημόσιους και ιδιωτικούς φορείς. Τα στάδια είναι τα εξής:

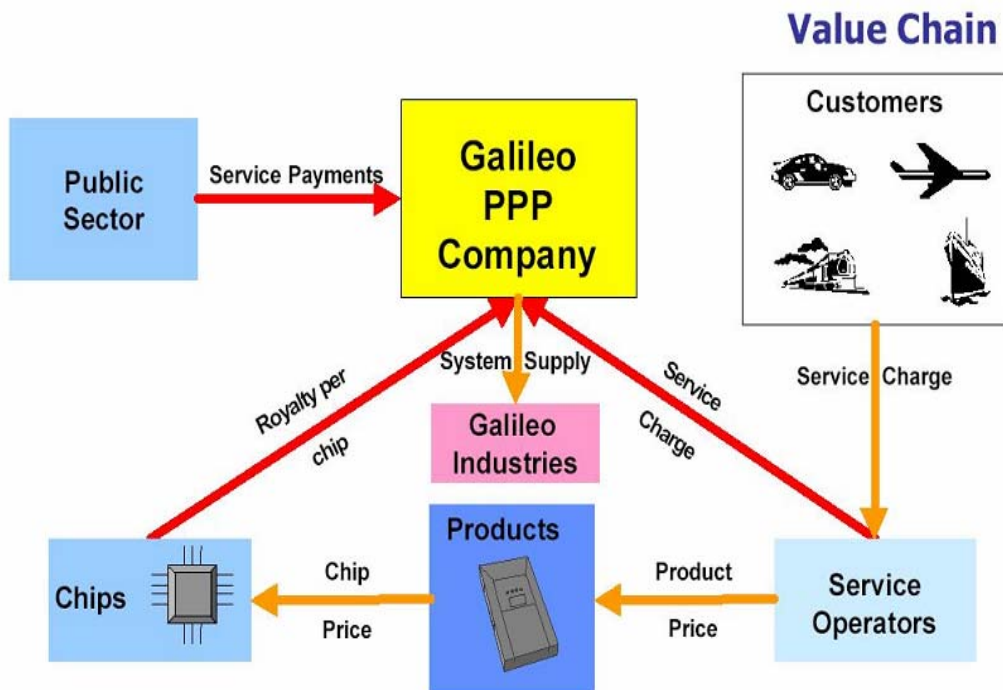
1. Το πρώτο στάδιο είναι η φάση της ανάπτυξης και της επικύρωσης και θα κοστίσει περίπου 1,1 δισεκατομμύρια ευρώ. Πρόκειται να χρηματοδοτηθεί από την ESA και την ΕΕ από δημόσια χρήματα και στοχεύει να βάλει σε τροχιά μέχρι το τέλος του 2005, ένα σύνολο από δορυφόρους για την επικύρωση του συστήματος Galileo. Πριν όμως από αυτήν τη διαδικασία έχει ολοκληρωθεί η φάση καθορισμού που συμπεριλαμβάνει την ανάπτυξη της τεχνολογίας που άρχισε το 1999 και τελείωσε το 2000 και κόστισε στην ESA 40 εκατομμύρια ευρώ. Η φάση ανάπτυξης και επικύρωσης χρηματοδοτείται σε δύο μέρη. Το πρώτο μέρος θα στοιχίζει 53 εκατομμύρια ευρώ και θα καλύψει την αρχική εργασία σχεδίου και τη σταθεροποίηση των απαιτήσεων αποστολής του Galileo και το δεύτερο μέρος κοστίζει 497 εκατομμύρια ευρώ.
2. Το δεύτερο στάδιο είναι η φάση της επέκτασης η οποία στοιχίζει 2,1 δισεκατομμύρια και πρόκειται να χρηματοδοτηθεί από ένα μίγμα δημόσιων και ιδιωτικών πηγών. Η ESA και η ΕΕ θα μοιραστούν τα δημόσια έξοδα ισόποσα. Το 2007 όπου θα τελειώσει αυτή η φάση

όλοι οι δορυφόροι θα βρίσκονται σε λειτουργία, έτσι οι βιομηχανίες και οι φορείς παροχής υπηρεσιών θα είναι σε θέση να αναπτύξουν εμπορικές δραστηριότητες.

3. Το τρίτο στάδιο είναι η φάση των διαδικασιών, που θα αρχίσει μετά το 2007 και θα χρηματοδοτηθεί από τον ιδιωτικό τομέα. Στο μεταξύ, το σύστημα θα είναι πλήρως λειτουργικό και διαθέσιμο για μια μεγάλη ποικιλία χρηστών που θα προέρχονται από εμπορικές και δημόσιες υπηρεσίες.

#### 4.3.3 Public/Private Partnership (PPP)

Το κεντρικό πρόγραμμα της Ευρώπης για να παρέχει το σήμα Galileo στο διάστημα, που αναμένεται να κοστίσει 6.5 δισεκατομμύρια ευρώ συμπεριλαμβανομένων των πλήρων διαδικασιών κατά τη διάρκεια μιας 15ετούς ζωής, προσδοκά στη χρήση ιδιωτικών κεφαλαίων χρησιμοποιώντας τη δημόσια/ιδιωτική συνεργασία (Public/Private Partnership-PPP) και τις ιδιωτικές πρωτοβουλίες χρηματοδότησης (Private finance initiative-PFI).



#### **Γιατί είναι αναγκαία μια PPP**

Μια PPP εμφανίζεται όποτε ο ιδιωτικός τομέας εμπλέκεται στην παροχή δημόσιων υπηρεσιών και με όσο ρίσκο αυτό εμπεριέχει. Η ιδιωτική χρηματοδότηση για τις δημόσιες υπηρεσίες (συνχά γνωστές ως PFI μετά από την Βρετανική πρωτοβουλία ιδιωτικής χρηματοδότησης) είναι ένας τύπος της PPP στον οποίο το ρίσκο του ιδιωτικού τομέα περιλαμβάνει το σημαντικότερο μέρος του ρίσκου του επενδυτικού προγράμματος.

Τα πλεονεκτήματα της χρηματοδότησης του ιδιωτικού τομέα προέρχονται από την σχεδόν απεριόριστη πρόσβαση του στο κεφάλαιο (αν και οι δαπάνες συναλλαγής μπορούν να

περιορίσουν το ελάχιστο ποσό χρηματοδότησης), τις συνεχείς αποφάσεις επένδυσής του στην καθαρή παρούσα αξία (NPV) παρά το κόστος, την εξισορρόπηση πρόωρων κύριων δαπανών του με τις μακροπρόθεσμες λειτουργικές δαπάνες μέσω των βασισμένων στην αξία διαπραγματεύσεων πέρα από την αλυσίδα ανεφοδιασμού, και την ευθυγράμμιση συμφερόντων των προμηθευτών του κεφαλαίου με τους χρήστες του κεφαλαίου, ιδιαίτερα η ευθυγράμμιση των οικονομικών κινήτρων με τα δημόσια οφέλη.

Για τους οργανισμούς του δημόσιου τομέα ένα σημαντικό πλεονέκτημα της ιδιωτικής χρηματοδότησης, έναντι της συμβατικής προμήθειας των αγαθών και των υπηρεσιών, προκύπτει από τον καθορισμό της οικονομικής υποχρέωσης του δημόσιου τομέα ως τμήμα κάποιας μορφής παραχώρησης πέρα από τη διάρκεια της σύμβασης.

Τα μειονεκτήματα της ιδιωτικής χρηματοδότησης περιλαμβάνουν το υψηλότερο κόστος των χρημάτων που ο ιδιωτικός τομέας πρέπει να πληρώσει έναντι της κυβέρνησης, και τον μεγαλύτερο χρόνο και την μεγαλύτερη ικανότητα που παίρνει για να εκπονηθεί μια σύμβαση.

Γενικά το σημαντικότερο χαρακτηριστικό γνώρισμα της ιδιωτικής χρηματοδότησης βρίσκεται στην αυστηρή αναζήτησή της για την καλύτερη κατανομή όλων των τύπων των ρίσκων και των θετικών επιδράσεων που αυτή έχει στην αποδοτικότητα.

#### **4.3.3.1 Το νέο έδαφος**

Από την άποψη των ρυθμίσεων προμήθειας, η Ευρώπη διαχωρίζει, με το Galileo, το νέο έδαφος σε διάφορες σημαντικές περιοχές.

##### **Ευρωπαϊκοί θεσμοί**

Αρχικά, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή εξ ονόματος της Ευρωπαϊκής Ένωσης, και της ευρωπαϊκής διαστημικής αντιπροσωπείας (ESA), εργάζονται μαζί για πρώτη φορά για να οδηγήσουν ένα σημαντικό πρόγραμμα. Συνιστούν μια νέα αντιπροσωπεία προμήθειας, την κοινή επιχείρηση (Joint Undertaking-JU), για να ενεργήσει ως εκτελεστικός οργανισμός για λογαριασμό του δημόσιου τομέα. Οι νέες θεσμικές εργασιακές σχέσεις παίρνουν περισσότερο χρόνο για να καθοριστούν, κάτι που έχει αντίκτυπο και στον χρόνο λήψης των αποφάσεων.

##### **Πολυεθνική συνεργασία**

Αφετέρου, το πρόγραμμα περιλαμβάνει την αξιοσημείωτη πολυεθνική συνεργασία. Τα συνολικά μέλη της ΕΕ και της ESA είναι 18 έθνη (αναμένεται να προσθεθούν περισσότερα) και όλα πρέπει να συμφωνήσουν με το πρόγραμμα. Σε αντίθεση, το πρόγραμμα PPP/PFI για μια σήραγγα σιδηροδρομικών ραγών κάτω από το αγγλικό κανάλι απαίτησε μόνο τη διμερή συμφωνία μεταξύ του Ηνωμένου Βασιλείου και της Γαλλίας. Το άλλο σημαντικό διαστημικό πρόγραμμα μέχρι σήμερα, το Βρετανικό Skynet 5, είναι μια εθνική προμήθεια.

##### **Παράλληλη προμήθεια**

Τρίτον, το πρόγραμμα προμήθειας του PPP/PFI είναι να υπάρξουν παράλληλα ένα σχέδιο χρηματοδοτούμενο από το δημόσιο και ένα πρόγραμμα επικύρωσης υπό την ESA.



## **Κεφάλαιο αγοράς**

Τέταρτον, περισσότερη έμφαση δίνεται στην οικονομία της ελεύθερης αγοράς. Ως συνήθως ένα ευρωπαϊκό δημόσιο πρόγραμμα θα είχε χρηματοδοτηθεί με δημόσια χρήματα για να χτίσει το σύστημα. Μια κεντρική, χρηματοδοτούμενη και ελεγχόμενη από το δημόσιο οργάνωση θα είχε προσκαλέσει την ιδιωτική χρηματοδότηση σε κοινή πορεία, έτσι ώστε να μπορεί να γίνει όλο και περισσότερο εμπορική. Αντ' αυτού, το πρόγραμμα Galileo θα κρατήσει το δημόσιο και ιδιωτικό τομέα χωριστά, με τους στόχους των δημόσιων υπηρεσιών να ευθυγραμμίζονται με τους στόχους των ιδιωτικών κεφαλαίων μέσω της σύμβασης παραχώρησης.

### **Η διαδικασία προμήθειας**

Η διαδικασία προμήθειας υψηλού επιπέδου είναι ευρέως γνωστή. Πρόκειται να είναι μια χρηματοδοτούμενη από το δημόσιο τετραετής φάση ανάπτυξης, κατά τη διάρκεια της οποίας η ESA θα αναπτύξει και θα επικυρώσει την τεχνολογία υποδομής του βασικού τμήματος του Galileo και για την οποία η Ευρωπαϊκή Επιτροπή και η ESA θα πληρώσει κάθε μια 550 εκατομμύρια €.

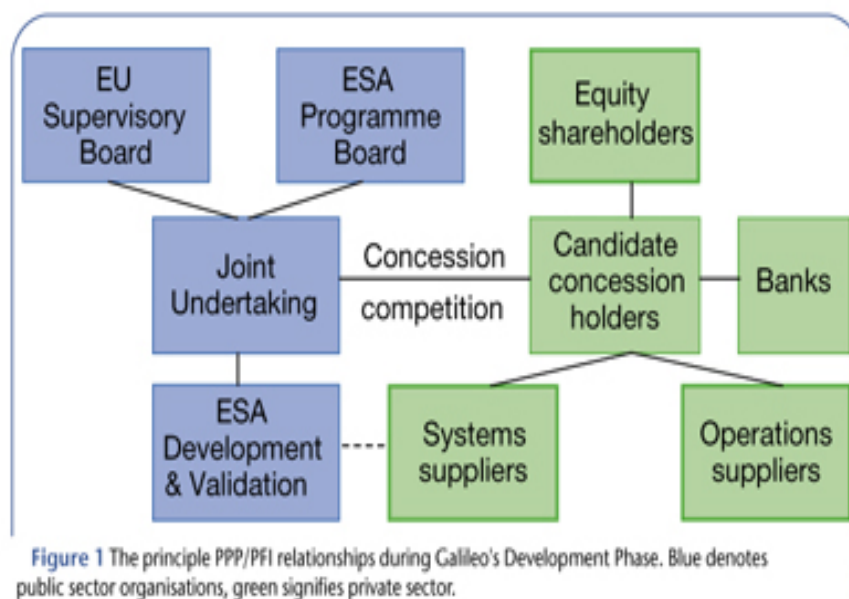
Ταυτόχρονα με την επιτήρηση εργασίας της ESA, η JU θα προετοιμαστεί, υπό την έννοια ενός PPP/PFI διαγωνισμού παραχώρησης, και για τη φάση επέκτασης το 2006 και το 2007 και για την επόμενη φάση επιχειρήσεων από το 2008. Ο ίδιος ο διαγωνισμός θα απαιτήσει μερικά από τα 1,1 δισεκατομμύρια € της φάσης ανάπτυξης, για να πληρώσει τις εκτενείς εμπορικές προετοιμασίες που απαιτούνται για τις πλήρεις προσφορές παραχώρησης.

Το τρέξιμο αυτών των δύο διεργασιών παράλληλα, καθιστά ακόμα σημαντικότερο απ' ότι συνήθως ότι η λεπτομερής διαδικασία προμήθειας έχει το σωστό μίγμα ανταγωνισμού, διαπραγματεύσεως και συνεργασίας. Συγχρόνως, η JU πρέπει να διαχειριστεί τις απαιτήσεις των υπηρεσιών και να προσδιορίσει τους κινδύνους, όπως με οποιοδήποτε πρόγραμμα PPP/ PFI.

Ο διαγωνισμός για τη σύμβαση παραχώρησης θα πρέπει να είναι σύμφωνος με τα πρότυπα που προκύπτουν από τη διαμόρφωση πρωτοτύπου τεχνολογίας της ESA, συμπεριλαμβανομένου δορυφόρους πλήρως λειτουργικούς και επίγειο εξοπλισμό. Η μελλοντική λειτουργική χρήση οποιασδήποτε εναλλακτικής τεχνολογίας θα αυξήσει την πιθανότητα παρουσίασης λειτουργικού προβλήματος.

Η προμήθεια αντιμετωπίζει μια πρόσθετη ανησυχία, τη διαλειτουργικότητα με το GPS και το ρωσικό σύστημα, GLONASS. Οι ευρωπαϊκές διαπραγματεύσεις με αυτές τις δύο χώρες καλύπτουν διάφορα ζητήματα, όπως τη συμβατότητα σήματος και ανταγωνιστικά ζητήματα του Παγκόσμιου Οργανισμού Εμπορίου (ΠΟΕ). Το σημαντικότερο θέμα, εντούτοις, είναι οι υπηρεσίες ασφαλείας που προτείνονται για το Galileo, οι οποίες στο πλαίσιο του παρόντος σχεδίου συχνότητας θα επικάλυπταν το νέο στρατιωτικό κώδικα του GPS. Ακόμη και μέσα στην Ευρώπη, καμία συγκεκριμένη συμφωνία δεν υπάρχει σχετικά με αυτά που πρέπει να κάνει η ασφάλεια, γιατί πρέπει να τα κάνει, ή ακόμα και εάν πρέπει να υπάρξει.

Ένας περαιτέρω στόχος της JU είναι να ενθαρρυνθεί την ανάπτυξη δεκτών και εφαρμογών υπηρεσιών. Τέλος, η JU πρέπει να επιλύσει πώς να ενσωματώσει το EGNOS στο Galileo. Από την οπτική πλευρά της προμήθειας, είναι πάρα πολύ σύνθετο να γίνει κάτι τέτοιο.



### Η φύση της ιδιωτικής χρηματοδότησης.

Το σχέδιο Galileo υπολογίζει πάντα στην ιδιωτική χρηματοδότηση για την επέκταση και τις επιχειρησιακές φάσεις. Ο ακριβής τύπος χρηματοδότησης καθορίζεται από τους πλειοδότες του δικαιώματος εκμετάλλευσης και θα εξαρτηθεί από τις χρηματικές απαιτήσεις του προγράμματος και τους κινδύνους που εμπεριέχει.

Η χρηματοδότηση με περίπου 2 δισεκατομμύρια € για τη φάση επέκτασης είναι πάρα πολύ ακριβή για το ιδιωτικό μετοχικό κεφάλαιο. Ο κίνδυνος του προγράμματος είναι πάρα πολύ μεγάλος, ιδιαίτερα τα εισοδήματα αγοράς για το βασικό τμήμα υπηρεσιών δεδομένης της ελεύθερης διαθεσιμότητας του GPS. Οι προμηθευτές του ιδιωτικού μετοχικού κεφαλαίου θα απαιτούσαν μια πάρα πολύ υψηλή τιμή υπό μορφή εσόδου από επενδύσεις. Εκτός αυτού, το μετοχικό κεφάλαιο για νέες διαστημικές επιχειρήσεις είναι δύσκολο να αυξηθεί λόγω της εμπορικής κατάρρευσης των κινητών προγραμμάτων satcom στα τέλη της δεκαετίας του '90.

Ο ιδιωτικός τομέας είναι προθυμότερος να χρηματοδοτήσει τις επιχειρήσεις που έχουν κάποια μορφή πολιτικής δέσμευσης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εξασφαλίσει τη χρηματοδότηση. Η υψηλών προδιαγραφών χρηματοδότηση, στην οποία το κύριο συστατικό είναι το χρέος, μπορεί να παρασχεθεί για να εκπληρώσει όλη την ιδιωτική χρηματοδότηση που απαιτείται για να παραδώσει την υπηρεσία. Αυτή η μορφή χρηματοδότησης απαιτεί λεπτομερείς και συμφωνηθείσες εμπορικές ρυθμίσεις, βασισμένες στις πληρωμές απόδοσης δημόσιων υπηρεσιών που εξασφαλίζονται από την ευρωπαϊκή κυβερνητική οικονομική υποχρέωση. Με άλλα λόγια, υπό τον όρο ότι συνεχίζει να διανέμει το καθορισμένο σήμα του Galileo, ο ιδιωτικός τομέας ξέρει ότι θα 'πληρωθεί' από το δημόσιο τομέα.

#### **4.3.4 Τα πλεονεκτήματα του Galileo**

Το Galileo θα κάνει την Ευρώπη ανεξάρτητη από το αμερικανικό GPS και το ρωσικό GLONASS. Αντιθέτως από το GPS και το GLONASS τα οποία είναι υπό στρατιωτικό έλεγχο, το Γαλιλαίο είναι ένα αστικό πρόγραμμα του οποίου διαθεσιμότητα και η ποιότητα δεν θα εξαρτάται από τις μη ευρωπαϊκές εκτιμήσεις ασφάλειας. Το σύστημα περιλαμβάνει 30 δορυφόρους, και πολλούς τοπικούς επίγειους σταθμούς, η μετάδοση των 46 σημάτων και τα κέντρα ελέγχου ναυσιπλοΐας θα διανεμηθούν σε όλη την υδρόγειο. Οι δορυφόροι θα τοποθετηθούν στη μέση γήινη τροχιά (MEO) περίπου 23.000 χλμ επάνω από τη γη, οι οποίοι θα διαβιβάζουν σήματα ναυσιπλοΐας και χρόνου που θα μπορούν να λαμβάνονται παγκοσμίως από κατάλληλες συσκευές (κατασκευασμένες για το σύστημα Galileo). Το Galileo όχι μόνο θα ξεπεράσει την ακρίβεια του αμερικανικού GPS, του οποίου το σφάλμα γεωγραφικής θέσης μπορεί να είναι αρκετά μέτρα, αλλά θα καταστήσει επίσης τον προσδιορισμό της γεωγραφικής θέσης μια καθημερινή υπηρεσία.

Εξοπλισμένα με τα χαμηλού κόστους τσιπ ναυσιπλοΐας, τα κινητά τηλέφωνα θα είναι σε θέση να λάβουν και να αναλύσουν τα σήματα του Galileo. Οι πληροφορίες (προσδιορισμός θέσης, πληροφορίες θέσης και προτάσεις διαδρομών ) που βοηθάνε σήμερα πολλούς οδηγούς να προσανατολιστούν στο δρόμο θα είναι σύντομα διαθέσιμες σε οποιοδήποτε χρήστη οπουδήποτε και αν βρίσκεται. Η παράλληλη λειτουργία Galileo και GPS θα καταστήσει επίσης δυνατό να λαμβάνει κάποιος την καλύτερη δυνατή απόδοση χρησιμοποιώντας τους αποκαλούμενους δέκτες με διπλό σύστημα λειτουργίας που είναι σε θέση να επεξεργαστούν τα σήματα του Galileo και του GPS ταυτόχρονα. Αυτό θα παρέχει σημαντικές βελτιώσεις στις περιοχές δύσκολης λήψης όπως οδοί που πλαισιώνονται από ψηλά κτήρια.

#### **Ακριβέστερο από το GPS**

Μια σύγκριση του Galileου και του τρέχοντος GPS είναι χρήσιμη για την καλύτερη κατανόηση των αναγκών για ένα ευρωπαϊκό GNSS. Σύμφωνα με τη Γενική Διεύθυνση Ενέργειας και Μεταφοράς της Ευρωπαϊκή Επιτροπή (EC) είναι κρίσιμο για την Ευρώπη να έχει μια επιλογή ανεξάρτητη από το ήδη υπάρχον GPS, το οποίο είναι λιγότερο προηγμένο, λιγότερο αποδοτικό και λιγότερο αξιόπιστο. Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, τα μειονεκτήματα του GPS εντοπίζονται στα εξής:

- *Μέτρια ακρίβεια στον προσδιορισμό θέσης:* ανάλογα με το χρόνο και το τόπο, η ακρίβεια του GPS είναι μερικές φορές ακρίβεια μέσα «σε αρκετές δεκάδες μέτρα». Αυτό δεν είναι επαρκές για να παρέχει σημαντικό κοινωνικό όφελος ιδιαίτερα στο πλαίσιο του τομέα των μεταφορών. Αυτό το κενό θα καλύπτεται με την καλύτερη ακρίβεια του Galileo.

- *Η αμφισβητούμενη γεωγραφική αξιοπιστία:* Στις βόρειες περιοχές που χρησιμοποιούνται συχνά ως αεροδιάδρομοι, το gps παρέχει οριακή κάλυψη. Με το Galileo θα αυξηθεί η γενική αστική κάλυψη από 50%, που παρέχεται από το GPS σήμερα, σε 95%.

- *Η αμφισβητούμενη αξιοπιστία σήματος*: Υπάρχει ανησυχία σχετικά με τη δυνατότητα γενικού κλεισίματος των υπηρεσιών GNSS που διαδραματίζουν έναν σημαντικό ρόλο στην κοινωνία. Εάν το σύστημα GPS γίνει δυσλειτουργικό ή κλείσει (τυχαία ή όχι), έχει υπολογιστεί ότι το κόστος στις ευρωπαϊκές οικονομίες θα ήταν μεταξύ 130 - 500 εκατομμύρια ευρώ ανά ημέρα. Παρόλο την χαμηλή πιθανότητα να πραγματοποιηθεί ένα τόσο υψηλού αντικτύπου γεγονός, δίνεται μια επιπλέον ώθηση για την δημιουργία ενός ευρωπαϊκού συστήματος.

Αν και τα προαναφερόμενα αποτελούν σημαντικά μειονεκτήματα, πρέπει να ληφθούν υπόψη και οι μελλοντικές βελτιώσεις που προγραμματίζονται για το GPS και GLONASS που ίσως καταστήσουν λιγότερο αναγκαία την ανάπτυξη ενός ανεξάρτητου Ευρωπαϊκού συστήματος.

Παραδείγματος χάριν, τα δεύτερα και τρίτα αστικά σήματα του GPS θα αυξήσουν τον πλεονασμό σημάτων και θα βελτιώσουν τη συνοχή εάν η λήψη στη L1 ζώνη χαθεί. Έχοντας αρχίσει ήδη από το 2003, οι δορυφόροι Block IIF παρέχουν το δεύτερο (interference-resistant) σήμα για τους αστικούς χρήστες. Μέχρι το 2005, το GPS είναι πιθανό να προσφέρει το τρίτο αστικό σήμα με καλύτερη ακρίβεια και αξιοπιστία χρησιμοποιώντας ένα ισχυρότερο σήμα (χρησιμοποιώντας περισσότερη ενέργεια).

Μια αναγέννηση του GLONASS (που αναμένεται να αρχίσει το 2006) θα μπορούσε να προσφέρει μεγαλύτερη κάλυψη πέρα από τη βόρεια Ευρώπη. Μια παρόμοια επίδραση θα μπορούσε να επιτευχθεί μέσω πρόσθετων ground-και space-based αυξήσεων σε ορισμένες περιοχές που απαιτούν μεγαλύτερη ακρίβεια κάλυψης. Γι αυτό το λόγο, οι δέκτες GPS και GLONASS πρέπει τεχνικά να είναι επαρκείς για να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις του ευρωπαϊού πολίτη ακόμα και εάν αυτοί(οι δέκτες) δεν πρόκειται να προσφέρουν μηνύματα ακεραιότητας. Για την πλήρη κατανόηση της αναγκαιότητας του Galileo, είναι απαραίτητο να επισημανθούν τα οικονομικά, βιομηχανικά και πολιτικά επιχειρήματα για την ανάπτυξη του προγράμματος.

#### **4.3.5 Οικονομική, βιομηχανική και πολιτική υπόσταση του Galileo**

##### **Οικονομική**

Μια ανεξάρτητη μελέτη από το PricewaterhouseCoopers (PwC) το Νοέμβριο του 2001 πάνω στην οικονομική βιωσιμότητα του Galileo δίνει ελπιδοφόρες προβλέψεις παρά τις αμφιβολίες που υπάρχουν σχετικά με τα επίπεδα ιδιωτικής συμμετοχής στη φάση επέκτασης. Σύμφωνα με το PwC, το σύστημα πρέπει να παράγει εισοδήματα χειριστών που κυμαίνονται από 66 εκατομμύρια το 2010 έως πάνω από 500 εκατομμύρια ευρώ το 2020. Παραδείγματα εισροής εισοδημάτων αποτελούν τα δικαιώματα στις πωλήσεις chipset και το εισόδημα από τους φορείς παροχής υπηρεσιών που θέλουν να χρησιμοποιήσουν εξειδικευμένα κρυπτογραφημένα σήματα.

##### **Βιομηχανική**

Ο ευρωπαϊκός διαστημικός τομέας απασχολεί σήμερα περίπου 30.000 ιδιαίτερα καταρτισμένα άτομα σε πάνω από 2.000 επιχειρήσεις καλύπτοντας πλήρη σειρά δεξιοτήτων που συνδέονται

με συστήματα, υποσυστήματα και συστατικά. Με την εμφάνιση του Galileo, η Ευρωπαϊκή επιτροπή υπολογίζει ότι περίπου 100.000 θέσεις εργασίας υψηλών απαιτήσεων-ικανοτήτων θα δημιουργηθούν, καθιερώνοντας μια αγορά αξίας περίπου 10 δισεκατομμυρίων ευρώ ετησίως. Παρόλο που τα παραπάνω αποτελούν θέμα συζήτησης σε θεωρητική βάση, είναι σαφές ότι το Galileo θα προσφέρει ουσιαστικές βιομηχανικές ευκαιρίες. Η ανάπτυξη του Galileo θα ανοίξει νέους ορίζοντες για έρευνα και ανάπτυξη τεχνογνωσίας σε περιοχές όπως το σχέδιο διαστημικών σκαφών, οι εκτοξευτές δορυφόρων, οι συσκευές μετάδοσης, τα ατομικά ρολόγια και τα συστήματα κρυπτογράφησης.

Η διαφωνία μεταξύ Ιταλίας και Γερμανίας πάνω στη βιομηχανική ηγεσία του προγράμματος Galileo ενισχύουν τη σημασία που αποδίδεται στη βιομηχανική υπόσταση του Galileo. Οι διαφωνίες αυτές γεφυρώθηκαν πρόσφατα με την Γερμανία να αναλαμβάνει και να χρηματοδοτεί μια εργασία αξίας ίση με το ένα πέμπτο του συνολικού κόστους του προγράμματος. Η Ιταλία είναι πιθανό να πάρει περίπου το 16% του προγράμματος. Όσο αναφορά την πραγματική θέση των βιομηχανιών, η Γερμανία φαίνεται να είναι ο πιθανός υποψήφιος για να αναλάβει την θέση του «οικοδεσπότη» των βιομηχανιών του Galileo (αρμόδιες για το διαστημικό τμήμα) ενώ η Ιταλία παίρνει την ευθύνη για τις βιομηχανίες που ασχολούνται με την εφαρμοσμένη μηχανική συστημάτων.

Από την πλευρά της διαστημικής βιομηχανίας, τα 83 μέλη της οργάνωσης της ευρωπαϊκής βιομηχανίας GNSS (Organisation of European GNSS Industry-OREGIN), που ενεργοποιήθηκε τον Φεβρουάριο του 1999, υποστήριξαν την ανάπτυξη του τμήματος εξοπλισμού και των υπηρεσιών των χρηστών του Galileo. Ο OREGIN στοχεύει επίσης, στο να ενθαρρύνει τις συνεργασίες μεταξύ μεγάλων εταιριών και μικρομεσαίων επιχειρήσεων.

### **Πολιτική**

Ένα αυτόνομο NPT σύστημα παρέχει μεγαλύτερη ευελιξία στο χώρο της εξωτερικής πολιτικής, ιδιαίτερα στους τομείς της ασφάλειας και της άμυνας. Αυτό το πλεονέκτημα είναι συνήθως «που ξεχνιέται» στην περίπτωση του Galileo, δεδομένου ότι υποτίθεται ότι είναι ένα καθαρά πολιτικό πρόγραμμα.

Το Galileo χρησιμεύει επίσης να ενισχύσει την οικονομική ασφάλεια της ΕΕ. Ένα ανεξάρτητο σύστημα και ο προκύπτων πλεονασμός λειτουργούν ως προστασία ενάντια στα shutdown-σκόπιμα ή όχι- στα υπάρχοντα nrt συστήματα. Η έννοια της σίγουρης πρόσβασης είναι ισχυρό κίνητρο για την ανάπτυξη του συστήματος.

### **Συγχρονισμός**

Η αγορά χρηστών θα πρέπει να ακολουθήσει ένα γρήγορο ρυθμό ανάπτυξης έτσι ώστε το Galileo να γίνει πλήρως λειτουργικό μέχρι το 2008. Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, το GPS έχει ως στόχο να εισάγει νέα και πιο ακριβή σήματα στα αμέσως επόμενα έτη, καταλήγοντας στην πιθανή έναρξη του GPS III το 2011. Το GLONASS προσδοκεί, επίσης, σε μια μελλοντική του αναβαθμισή που θα αρχίσει το 2006. Εάν το Galileo δεν είναι πλήρως λειτουργικό το 2008 και

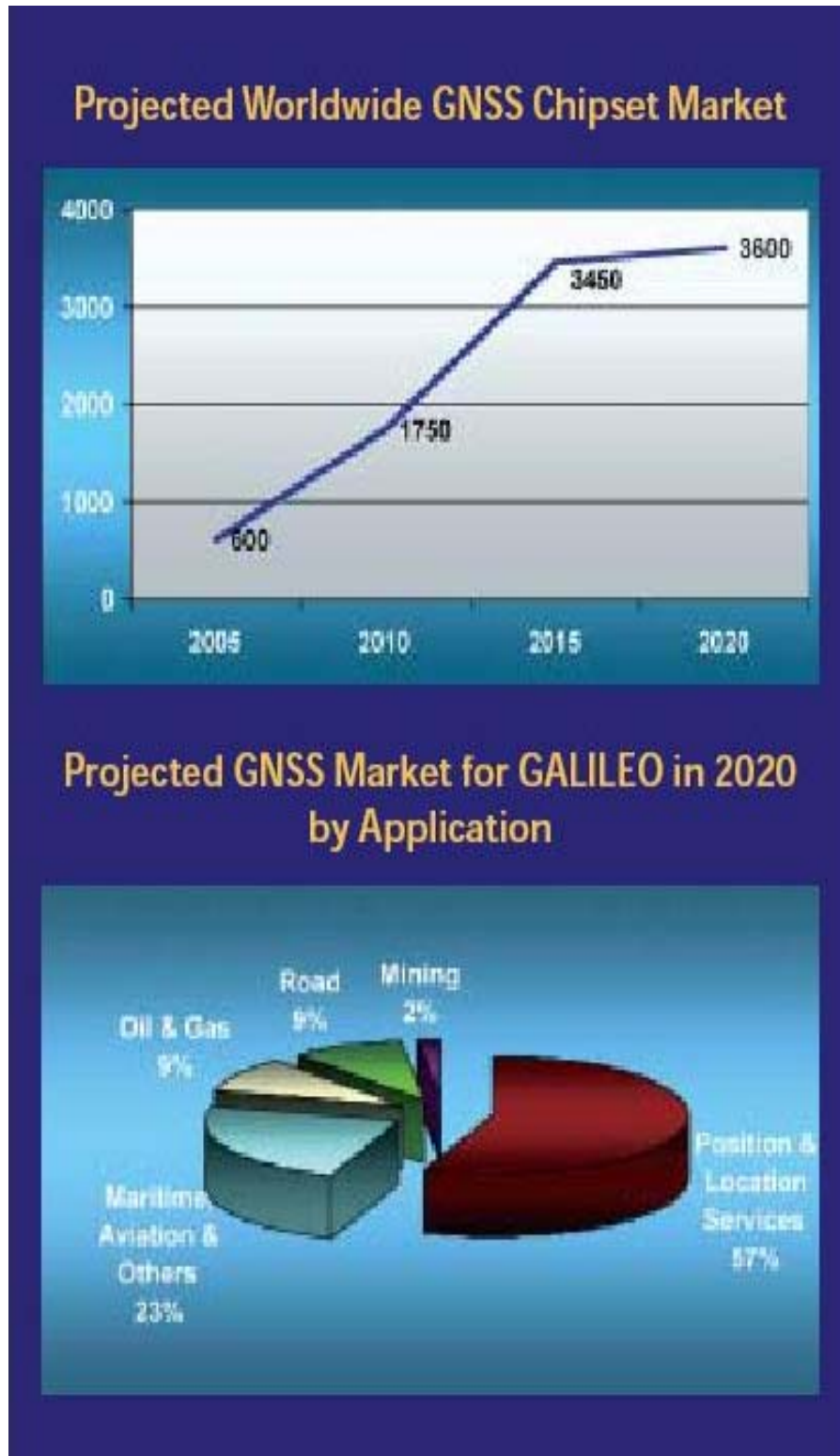
οι άλλοι παροχείς GNSS εξελιχθούν τεχνολογικά ,το σύστημα θα έχει έναν πίο ανταγωνιστικό χρόνο εισαγωγής και αποδοχής απο την αγορά-ειδικά εάν υπάρχουν άλλοι operators που θα παρέχουν τις υπηρεσίες τους χωρίς χρέωση. Έτσι αν οι χρήστες έχουν εξοικιωθεί με το GPS, το GLONASS ή και συνδυασμό αυτών των δύο, θα είναι δυσκολότερο για το Galileo να εισχωρήσει και να καθιερωθεί στους τομείς της παροχής εξοπλισμού και υπηρεσιών.

### **Μακροοικονομικά οφέλη, ενισχυμένη αξιοπιστία, περισσότερη ευκολία**

Τα οικονομικά οφέλη απο το Galileo θα είναι ιδιαίτερα. Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις της ΕΕ, το πρόγραμμα θα δημιουργήσει τουλάχιστον 100.000 νέες θέσεις εργασίας και θα αυξήσει τα μακροοικονομικά οφέλη κατα 74 δισεκατομμύριο ευρώ.

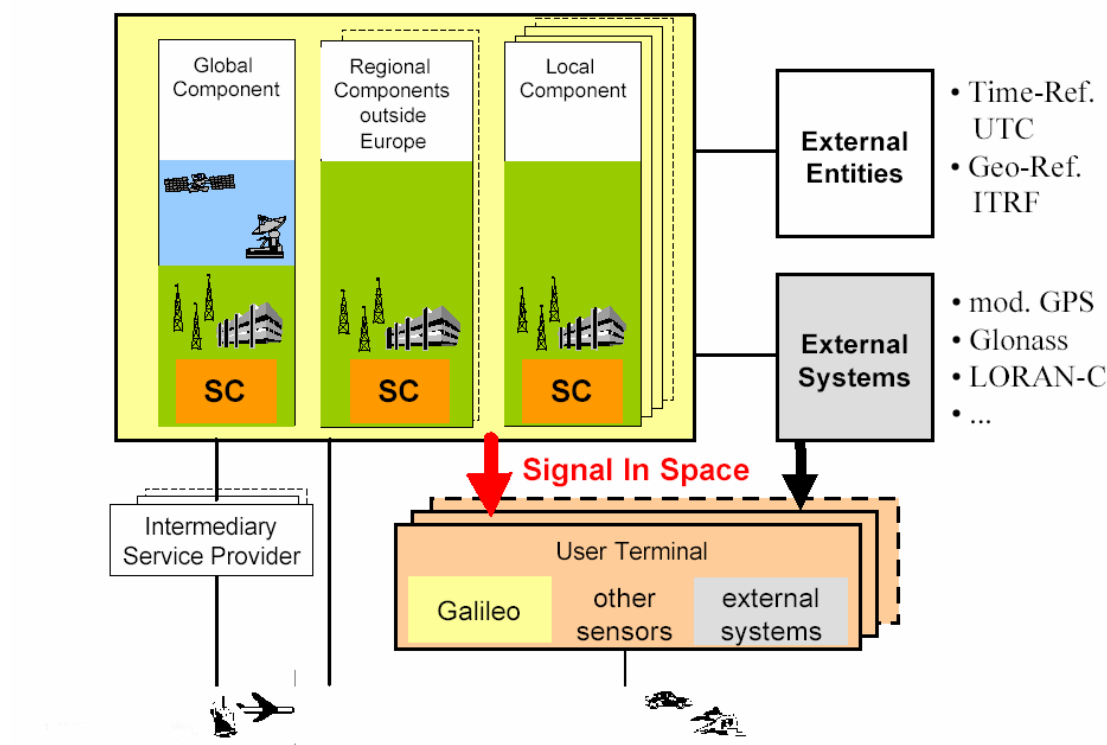
Το Galileo θα παράσχει πολυάριθμα πλεονεκτήματα στους χρήστες. Μερικά από αυτά είναι ήδη εμφανείς, ενώ άλλα θα προκύψουν καθώς οι νέες τεχνολογίες θα ξετυλίγονται. Τα μέγιστα οφέλη απο το Galileo θα γίνουν αισθητά βεβαίως στον κύριο τομέα εφαρμογής του όπως στην κυκλοφορία και στις μεταφορές. Όσο αναφορά την οδική κυκλοφορία, το Galileo θα παράσχει και στους εμπορικούς χρήστες, όπως ναυτικούς πράκτορες, στόλους ταξί, και ιδιωτικούς χρήστες μέσα ώστε να βελτιστοποιηθεί ο προγραμματισμός των διαδρομών και να κερδηθεί χρόνος και χρήμα. Μια από τις πίο ξεχωριστές καινοτομίες είναι η δικτύωση της επικοινωνίας, της ναυσιπλοΐας και της συμπληρωματικής ενημέρωσης. Η σύζευξη της επικοινωνίας και της ναυσιπλοΐας στα οχήματα θα βοηθήσει , στην αποφυγή και στην μείωση των κυκλοφοριακών συμφορήσεων και στην εύρεση κλεμμένων οχημάτων. Οι θαλάσσιες, οι αεροπορικές και οι σιδηροδρομικές μεταφορές μπορούν επίσης να ωφεληθούν από το δορυφορικό προγραμματισμό των διαδρομών. Κατ' αυτό τον τρόπο τα υπάρχοντα δίκτυα κυκλοφορίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικότερα έτσι ώστε να βοηθήσου στην ώθηση των μεταφορών.

Η δυνατότητα επίσης να προσδιοριστεί η γεωγραφική θέση με τη βοήθεια των κινητών τηλεφώνων που θα ενσωματώνουν τη δορυφορική ναυσιπλοΐα θα φέρουν τις αρετές του Galileo στους ταξιδιώτες και τους οδοιπόρους ανοίγωντας έτσι νέους ορίζοντες στις δραστηριότητες του ελεύθερου χρόνου και στον τουρισμό. Σύντομα οι ταξιδιώτες δεν θα χάνονται πλέον στις άγνωστες πόλεις και δεν θα χρειάζεται να χρησιμοποιούν χάρτες πόλεων αφού θα είναι σε θέση να φορτώσουν τις πληροφορίες διαδρομών άμεσα στο κινητό τηλέφωνό τους. Επίσης οποιοσδήποτε έχει ένα ατύχημα σε ένα ταξίδι περιπέτειας θα μπορεί να είναι σίγουρος ότι οι ομάδες διάσωσης θα είναι σε θέση να τον βρούν γρήγορα.



**4.3.6 Αρχιτεκτονική**

## Top Level Architecture



### Το διαστημικό τμήμα

Το διαστημικό τμήμα του Galileo θα αποτελείται από 30 δορυφόρους- 27 ενεργούς και 3 εφεδρικούς- στη μέση γήινη τροχιά (Medium Earth Orbit-MEO) σε ένα ύψος 23.000 χλμ. Οι δορυφόροι θα ταξιδεύουν κατά μήκος τριών κυκλικών τροχιών με μία γωνία κλίσης 56 μοιρών, εξασφαλίζοντας σφαιρική κάλυψη. Με έναν δορυφορικό χρόνο τροχιάς 14 ωρών, η διαμόρφωση του αστερισμού θα εγγυάται την ύπαρξη τουλάχιστον έξι 'ορατών' δορυφόρων οποιαδήποτε στιγμή και για οποιαδήποτε θέση (περιλαμβάνοντας και τους πόλους).

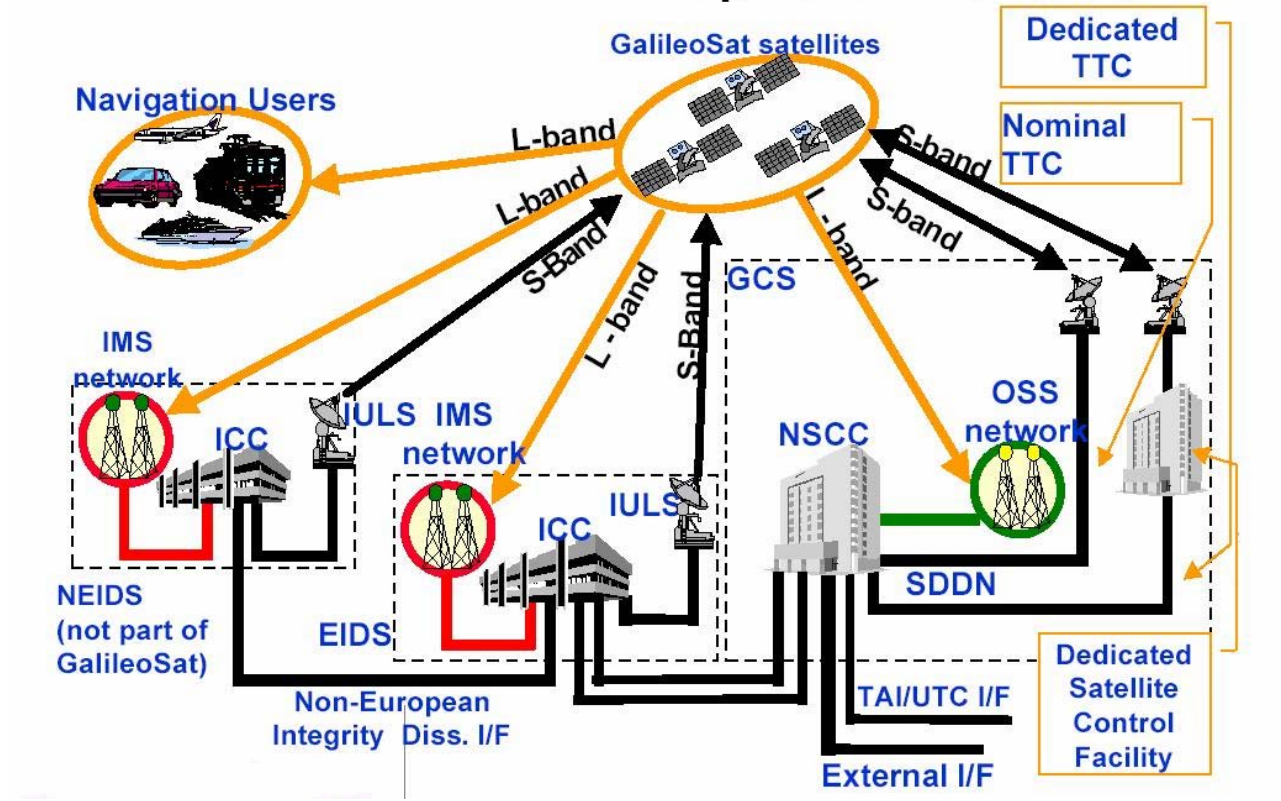
Το διαστημικό σκάφος του Galileo θα έχει μια αναμενόμενη διάρκεια ζωής 10 ετών. Κάθε δορυφόρος θα αντικαταστάται σε κατάλληλο χρόνο για να αποφευχθούν ενδεχόμενα δυσλειτουργίας.

### Το επίγειο τμήμα

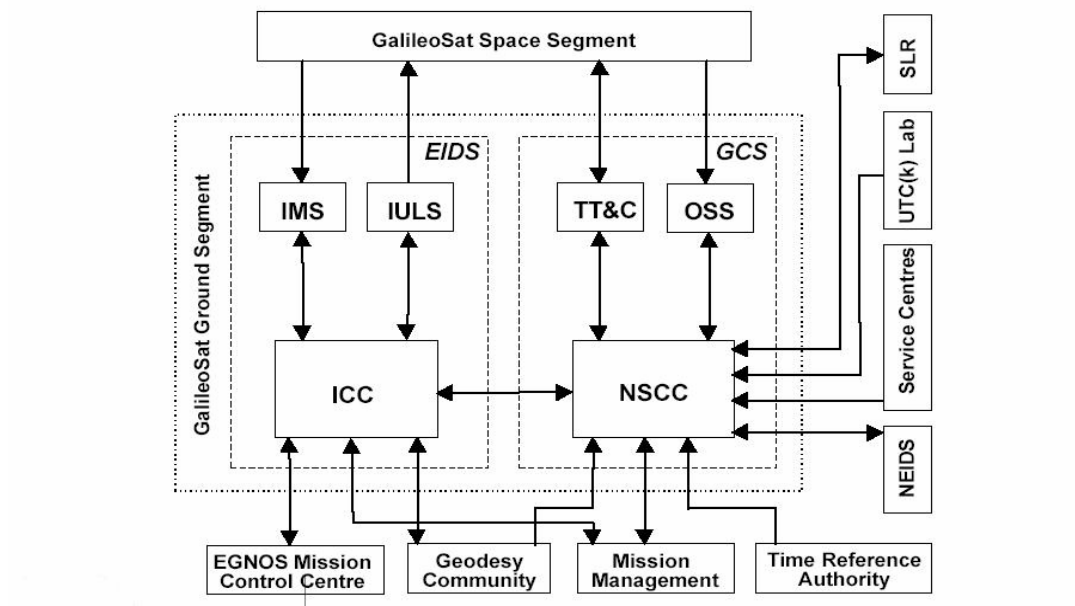
Το διαστημικό τμήμα θα διαχειρίζεται από δύο κέντρα ελέγχου που θα βρίσκονται στην Ευρώπη, υποστηριζόμενα από είκοσι σταθμούς αισθητήρων του Galileo (Galileo sensor stations-GSS). Οι ανταλλαγές στοιχείων μεταξύ των κέντρων ελέγχου και των δορυφόρων θα γίνονται μέσω συγκεκριμένων up-link σταθμών. Συνολικά 15 uplink σταθμοί θα εγκατασταθούν σε όλο τον κόσμο για να διευκολύνουν αυτόν τον τύπο μεταφοράς στοιχείων. Ως κύριο συστατικό του επίγειου τμήματος, τα κέντρα ελέγχου θα είναι αρμόδια για τη διαχείριση των δορυφόρων, την ακεραιότητα των σημάτων, και το συγχρονισμό των ατομικών ρολογιών επί των δορυφόρων (όπως εικονίζεται στα επόμενα σχήματα).



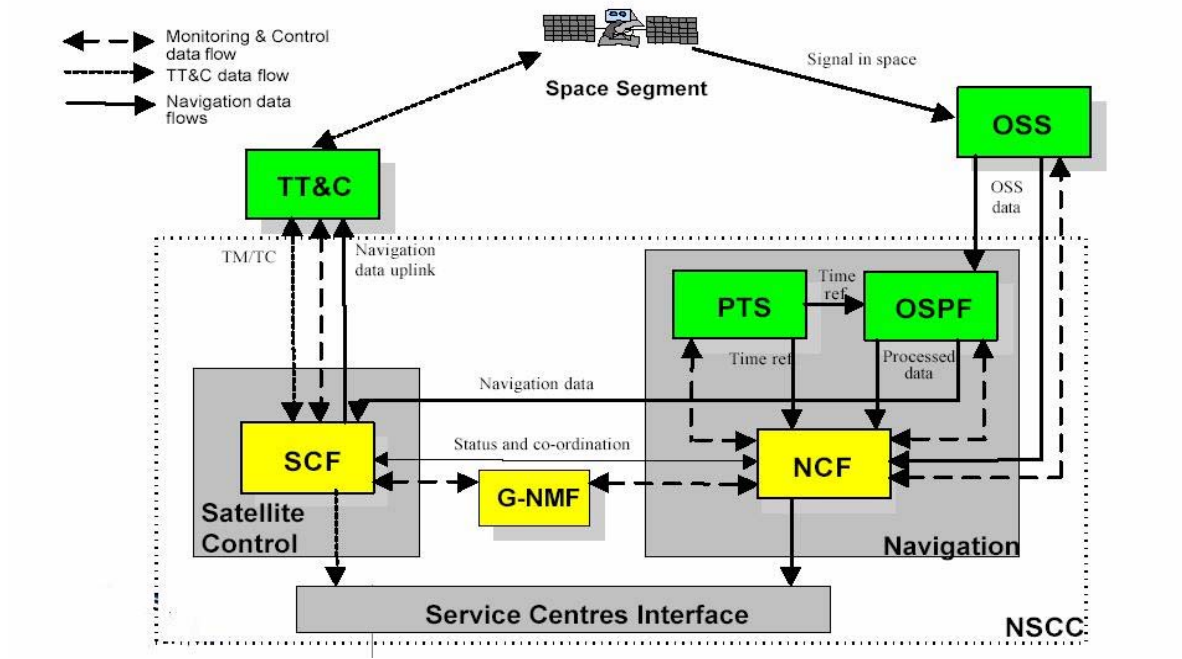
## Top Level Architecture



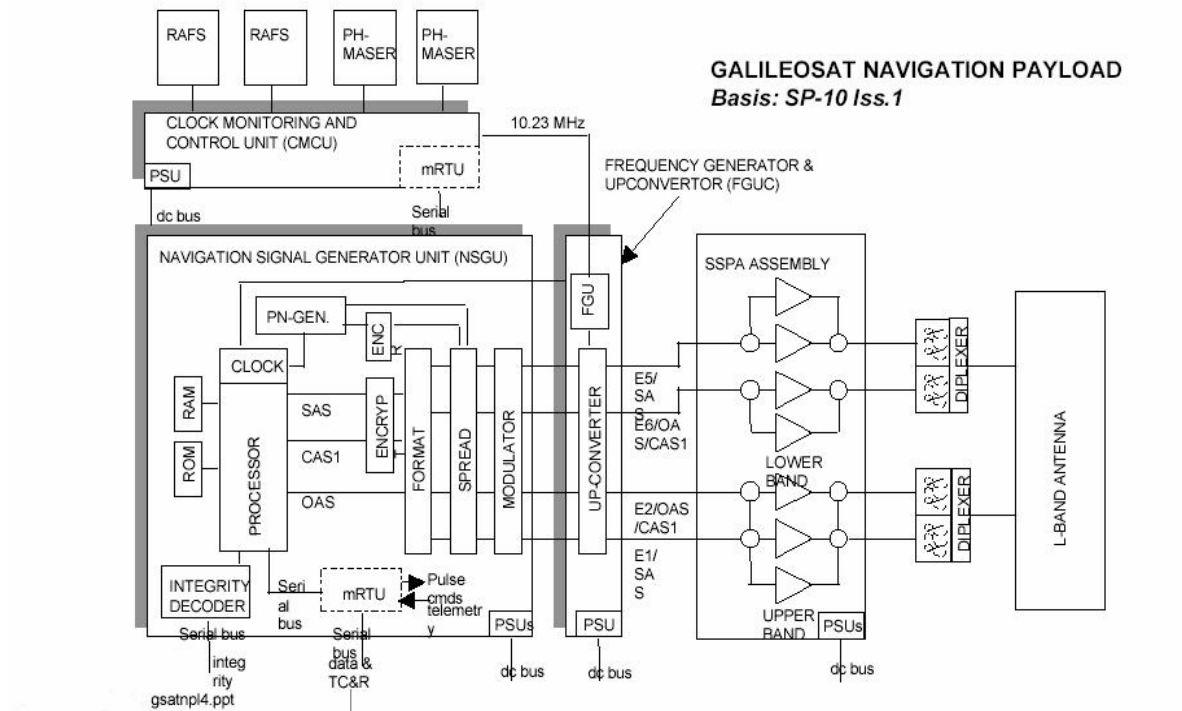
## Ground Segment Architecture



## Ground Control Segment



## Payload Architecture



#### **4.3.6.1 Υπηρεσίες Galileo**

Οι δορυφόροι του Galileo θα διαβιβάζουν 10 διαφορετικά σήματα. Από αυτά, 6 θα διατεθούν στον πολίτη (Open Service) και σε υπηρεσίες ασφάλεια (safety-of-life/SoL), 2 για εμπορικούς χρήστες και τα υπόλοιπα 2 για υπηρεσίες prs (public regulated services). Εκτός από αυτές τις μεταδόσεις συγχρονισμού και ναυσιπλοΐας, το Galileo θα παρέχει και πληροφορίες σχετικά με την ακρίβεια και την κατάσταση των σημάτων του. Τα γνωστά ως ‘μηνύματα ακεραιότητας’, θα ρυθμιστούν για εφαρμογές SoL αν και είναι πιθανό να προσφερθούν για να εξυπηρετήσουν βιομηχανίες που απαιτούν νομικές εγγυήσεις στις συναλλαγές τους (παραδείγματος χάριν κατά τη διάρκεια της μεταφοράς πολύτιμων αγαθών).

##### **Υπηρεσία OS**

Η ανοικτή υπηρεσία (OS) θα είναι διαθέσιμη στους πολιτικούς χρήστες χωρίς χρέωση. Σύμφωνα με τα σχέδια της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, η ποιότητα του OS θα είναι καλύτερη από αυτή των παρουσών και μελλοντικών δημόσιων υπηρεσιών του GPS. Η εμπορική υπηρεσία (CS) θα λειτουργήσει κάτω από ένα καθεστώς αμοιβόμενων υπηρεσιών. Υπό αυτήν τη μορφή, η πρόσβαση στη CS θα απαιτεί μια πληρωμή στο GOC ή στο φορέα παροχής υπηρεσιών σε αντάλλαγμα για τα κλειδιά κρυπτογράφησης που απαιτούνται για την λήψη των σημάτων. Έναντι του OS, τα CS σήματα θα είναι υψηλότερης ποιότητας και θα εγγυώνται ένα ορισμένο επίπεδο αξιοπιστίας και ακρίβειας.

##### **Υπηρεσία SoL**

Η υπηρεσία SoL θα προσφέρει την ίδια ακρίβεια όπως το OS αλλά με ένα υψηλό επίπεδο ακεραιότητας. Ένα μεγαλύτερο επίπεδο ακεραιότητας απαιτείται για την αποτελεσματική και ακριβή υπηρεσία στις βιομηχανίες σχετικές με την εναέρια και θαλάσσια ναυσιπλοΐα. Σε κάποιο σημείο, η SoL ίσως είναι κρυπτογραφημένη και επομένως θα απαιτεί μια συνδρομή για πρόσβαση. Η υπηρεσία αναζήτησης και διάσωσης (SAR) θα είναι μια επικυρωμένη υπηρεσία που θα αναπτύσσεται σύμφωνα με τους διεθνείς κανονισμούς και θα παρέχει real-time μεταδόσεις των αιτημάτων έκτακτης ανάγκης.

##### **Το Galileo ενισχύει την ασφάλεια**

Αλλά οι δυνατότητες του Galileo επεκτείνονται ακόμα περισσότερο. Το ευρωπαϊκό δορυφορικό σύστημα ναυσιπλοΐας της επόμενης γενιάς θα έχει ενεργές συσκευές ασφάλειας για να αποτρέψει επιθέσεις.

Εάν, για παράδειγμα, ένα αεροσκάφος παρεκκλίνει από την προγραμματισμένη πορεία πτήσης του, τα στοιχεία μπορούν να διαβιβαστούν αυτόματα από το σκάφος μέσω ενός ευρυζωνικού συστήματος δορυφορικής επικοινωνίας σε έναν χειριστή επίγειου ελέγχου. Το σύστημα διαχείρισης εναέριας κυκλοφορίας που θα συνδέεται με το Galileo θα αναγνωρίζει την απόκλιση, θα την αποστέλει μέσω των δορυφόρων του στο έδαφος και θα υπολογίζει αμέσως την προβλεφθείσα πορεία πτήσης. Το αεροσκάφος έπειτα θα υπακούει αυτόματα σε έναν σύστημα «μακρινού-ελέγχου» όπου θα είναι αδύνατο να το αγνοήσει. Στην περίπτωση που

απετύγγανε η σύνδεση με το δορυφόρο, ο υπολογιστής του σκάφους θα μπαίνει στην λειτουργία ασφαλούς πτήσης, ο οποίος θα καθοδηγεί τα αεροσκάφη σε μια προκαθορισμένη θέση με τη βοήθεια των σημάτων ναυσιπλοΐας από το Galileo.

Μερικές από τις μελλοντικές τεχνολογίες της Astrium (που είναι η μεγαλύτερη αεροδιαστημική επιχείρηση της Ευρώπης), παρουσιάζονται παρακάτω:

#### **Ευρυζωνική δορυφορική επικοινωνία στα κέντρα ελέγχου**

Στην πρώτη φάση, η επικοινωνία θα είναι μέσω των γεωστατικών δορυφόρων. Στη δεύτερη φάση, το σύστημα θα επεκταθεί για να περιλάβει τις κεκλιμένες δορυφορικές διαμορφώσεις έτσι ώστε οι συνδέσεις να είναι διαθέσιμες παγκοσμίως.

#### **Σύστημα διαχείρισης εναέριας κυκλοφορίας**

Αυτό το σύστημα, που είναι βασισμένο στη δορυφορική ναυσιπλοΐα και τη δορυφορική επικοινωνία της επόμενης γενιάς, όχι μόνο προβλέπει την αποδοτικότερη χρήση του εναέριου χώρου και των αεροσκαφών αλλά και χρησιμεύει ως ένα σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης για επικίνδυνες καταστάσεις.

#### **Υπηρεσίες προειδοποίησης για όλους τους χρήστες του Galileo**

Οι άνθρωποι που θα καλούν για βοήθεια θα λάμβανουν την ειδοποίηση μέσω της υπηρεσίας μηνυμάτων ναυσιπλοΐας του Galileo ότι η κλήση έκτακτης ανάγκης τους παραλήφθηκε. Η υπηρεσία προειδοποίησης, θα είναι καθαρά ένα σύστημα ραδιοφωνικής αναμετάδοσης.

#### **Περισσότερη ασφάλεια μέσω περισσότερων επίγειων σταθμών**

Με το GPS, ο προσδιορισμός της τροχιάς και του χρόνου είναι βασισμένος σε έξι σταθμούς ελέγχου. Το Galileo θα έχει 29 σταθμούς αισθητήρων (Galileo sensor stations /GSS), δέκα σταθμούς up-link και διάφορους επίγειους σταθμούς. Μια δυσλειτουργία ενός σταθμού (λόγω ενός τεχνικού ελαττώματος ή μιας επίθεσης) θα έχει λιγότερες σοβαρές συνέπειες στο Galileo από ότι στο GPS.

### **4.3.6.2 Σήματα Galileo**

#### **Το PRS σήμα και οικονομικός του αντίκτυπος**

Μια πρόταση ,που εξετάζεται, είναι να παρέχεται ένα σήμα του Galileo για δημόσια χρήση,(Prs- Public Regulated Service) στη συχνότητα που χρησιμοποιείται από το GPS για το νέο στρατιωτικό M-κώδικα.

Με βάση τις αμερικανικές πηγές έχουν γίνει λίγα σε επίπεδο προόδου για την εν λόγω κατάσταση. Ένας ευρωπαϊκός εμπειρογνώμονας υποστήριξε ότι η ΕΕ κοίταζε να βρει μια άλλη θέση για το prs σήμα, διαφορετική από αυτήν της επικάλυψης BOC 10-5 του M-κώδικα. Αλλά η διαφωνία σχετικά με την υπηρεσία prs είναι πολύ μεγαλύτερη από τη διαφωνία μεταξύ των ΗΠΑ και της ΕΕ για τον M-κώδικα. Η μεγάλη διαφωνία που υπάρχει εντός της ΕΕ σχετικά με

το prs, προέρχεται από πολιτικά και τα οικονομικά ζητήματα. Οι οικονομικές επιπτώσεις είναι ενδεχομένως τόσο μεγάλες που θα μπορούσαν να υπονομεύσουν την οικονομική δύναμη του προγράμματος.

Η εσωτερική διαμάχη υπήρξε μεταξύ των χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Η Γαλλία και η Ιταλία είναι υποστηρικτές του (με τη Γαλλία πιο ένθερμη). Η Ολλανδία είναι ενάντια στο prs ενώ το Ηνωμένο Βασίλειο δεν βλέπει ανάγκη ύπαρξης της υπηρεσίας. Οι θέσεις των άλλων χωρών επί του ζητήματος είναι κάπου ανάμεσα.

Ένα μικρό μέρος της συζήτησης πάνω στο PRS/M-code μεταφέρθηκε στον πόλεμο του Ιράκ με αποτέλεσμα το διπλωματικό σχίσμα μεταξύ των ΗΠΑ και της Γερμανίας-Γαλλίας. Ακόμη και οι Γάλλοι είναι χωρισμένοι, με μερικούς να υποστηρίζουν την ανάγκη για ένα ανεξάρτητο Galileo και άλλους που λένε ότι θα ήταν καλύτερο να μην χρησιμοποιηθεί η prs επικάλυψη για την διατήρηση των καλών σχέσεων μεταξύ ΕΕ και ΗΠΑ.

Μέρος της διαμάχης είναι ότι το prs παραμένει απροσδιόριστο και τα έθνη δεν είναι σίγουρα για το τι θα αποφασίσουν σχετικά με αυτό. Η εφαρμογή prs θα αυξήσει το κόστος του προγράμματος, και χωρίς έναν σαφή καθορισμό της υπηρεσίας και της αγοράς της, η σχέση κόστους/κέρδους δεν είναι σαφής. Η Γαλλία σκέφτεται βεβαίως ότι αξίζει να επενδυθούν χρήματα για την υπηρεσία prs: το Galileo θεωρείται ως όργανο ανεξαρτησίας της ΕΕ που θα βοηθήσει επίσης στην πώληση γαλλικών όπλων. Δεδομένου ότι τα πράγματα μένουν στάσιμα, η Γαλλία δεν μπορεί να πωλήσει τα όπλα που υποστηρίζουν εφαρμογές GPS εκτός NATO. Αυτό αφήνει έξω έναν ουσιαστικό αριθμό πιθανών πελατών, και η Γαλλία πρέπει να αναζητήσει άλλες αγορές (η εξασφάλιση νέων αγορών για την πώληση όπλων έχει καταδεικτεί σαν ένα μέρος της εθνικής πολιτικής της).

*Ένα prs με αρκετή ευρωστία και ικανότητα (για να ανταγωνιστεί με το GPS στην αγορά όπλων) πρόκειται να κοστίζει πολλά χρήματα.*

Η πρόσθετη δαπάνη θα μπορούσε να είναι 20 έως 40 τοις εκατό του συνολικού κόστους προγράμματος, για ορισμένους, ενώ για άλλους μόνο μερικές ποσοστιαίες μονάδες.

Οι δαπάνες προέρχονται από τις πτυχές ασφάλειας του prs. Δαπάνες που περιλαμβάνουν από απλά στοιχεία όπως περισσότερους φρουρούς και ελέγχους στις εγκαταστάσεις, έως ασφάλεια στις επικοινωνίες και στις συνδέσεις των δορυφόρων έτσι ώστε ο αστερισμός να μπορέσει να ξεπεράσει μια διακοπή επικοινωνίας με τους επίγειους σταθμούς.

Το κόστος του prs προβλέπεται να φτάσει πάνω από τις ήδη πιθανές προβλεπόμενες υπερβάσεις. Ένα έλλειμμα, γύρω στα 800 εκατομμύρια Ευρώ, είναι ήδη στον ορίζοντα στη φάση ανάπτυξης. Το πρόγραμμα θα χρηματοδοτηθεί με 1 δισεκατομμύριο Ευρώ από ιδιωτική χρηματοδότηση συν πρόσθετα 600 εκατομμύριο ευρώ από την ΕΕ —αν και δεν είναι σαφές εάν οι υπολογισμοί περιέλαβαν ένα επίδομα για το prs.

Οι υψηλότερες δαπάνες και οι καθυστερήσεις του προγράμματος είναι κάτι που δυσαρεστεί τις ιδιωτικές χρηματιστικές αγορές. Παρόλα αυτά ο ιδιωτικός τομέας είναι διατεθειμένος να βρεί

άλλο 1 δισεκατομμύριο Ευρώ για να επεκτείνει το σύστημα. Αυτό δε θα αποτελούσε πρόβλημα αν οι κυβερνήσεις της κοινοπραξίας δεν είχαν προβλήματα στην εσωτερική οικονομία τους.

Το PRS σήμα, ένα κρυπτογραφημένο σήμα που σχεδιάζεται για να εγγυηθεί τη συνεχή πρόσβαση σημάτων σε περίπτωση απειλών ή κρίσης, θα είναι μόνο για κυβερνητική χρήση. Το σήμα αυτό θα απαιτεί μη εμπορικούς δέκτες που να μπορούν να αποθηκεύσουν τα αναγκαία κλειδιά αποκρυπτογράφησης. Μεταξύ των προοριζόμενων εξουσιοδοτημένων χρηστών είναι:

#### **Πανευρωπαϊκά:**

- η Ευρωπαϊκή Αστυνομική Υπηρεσία (European Police Office-Europ)
- το Ευρωπαϊκό Γραφείο κατά της Εγκληματικότητας (European Anti-Fraud Office-OLAF)
- οι υπηρεσίες αστικής προστασίας όπως η αντιπροσωπεία ναυτιλιακής ασφάλειας (Maritime Safety Agency-MSA)
- οι υπηρεσίες άμεσης επέμβασης σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης (δυνάμεις διατήρησης της ειρήνης, ανθρωπιστικές ομάδα επέμβασης).

#### **Μέσα στα κράτη μέλη της ΕΕ:**

- Υπηρεσίες επιβολής και ασφάλειας νόμου
- Υπηρεσίες πληροφοριών αρμόδιες για την εθνική ασφάλεια
- Υπηρεσίες αρμόδιες για τον έλεγχο και την επίβλεψη των συνόρων.

Σαν ρυθμισμένη υπηρεσία, η prs θα είναι περισσότερο ευέλικτη και ανθεκτική σε σχέση με τα άλλα σήματα. Αντίθετα από τα άλλα σήματα του Galileo, το prs θα είναι προσβάσιμο ακόμα και όταν οι άλλες υπηρεσίες δεν θα είναι διαθέσιμες. Όπως ήταν αναμενόμενο, η prs φαίνεται να ταιριάζει ιδανικά με στρατιωτικές διαδικασίες και διαδικασίες σχετικές με την ασφάλεια.

#### **Ο διαχωρισμός του σήματος σε 3 κατηγορίες χρηστών του Galileo**

Η ραδιοφωνική μετάδοση των σημάτων από τους δορυφόρους θα διαχωρίζεται σε τρεις διαφορετικούς τύπους χρηστών. Το σήμα θα είναι δωρεάν και διαθέσιμο σε όλους τους χρήστες.

Οι χρήστες που θα απαιτούν μια ακριβέστερη υπηρεσία με εγγυημένη διαθεσιμότητα θα πληρώνουν για να έχουν πρόσβαση σε ένα σύνολο δεδομένων που θα βρίσκεται διαμορφωμένο στο βασικό σήμα.

Ένα ιδιαίτερα ασφαλές σήμα θα είναι διαθέσιμο στις δημόσιες αρχές για εφαρμογές θεμάτων προστασίας και ασφάλειας (π.χ. η ένταση των ανέμων στη θάλασσα και πληροφορίες οδικών μεταφορών).

#### **4.3.6.3 Δέκτες Galileo**

Καμία τελική απόφαση δεν έχει ληφθεί σχετικά με τις τελικές προδιαγραφές και τις ικανότητες των μελλοντικών δεκτών του Galileo. Η ποιότητα και η απόδοση του δέκτη είναι πιθανό να είναι μια συνάρτηση των υπηρεσιών που ζητούνται. Παραδείγματος χάριν οι υπηρεσίες PRS θα έχουν ανώτερη απόδοση και θα προσφέρουν δυνατότητες κρυπτογράφησης. Σχετικά με τη

διαλειτουργικότητα δεκτών, αναμένεται ότι μια μερίδα της αγοράς δεκτών θα προσφέρει και διπλούς δέκτες Galileo/GPS.

#### **4.4 Εφαρμογές ασφάλειας του Galileo και οι επιπτώσεις τους**

Ενώ το Galileo θα προωθηθεί ως ένα πολιτικό πρόγραμμα, η διπλή φύση του συστήματος θα δώσει και την δυνατότητα κάλυψης αμυντικών εφαρμογών. Αυτό ανατρέπει έναν πλήθος επιπτώσεων σχετικών με την ασφάλεια και την άμυνα οι οποίες απαιτούν προσεκτική εκτίμηση. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, οι επιπτώσεις ασφάλειας θα προκύψουν ακόμα κι αν το σύστημα παραμένει ένα πολιτικό πρόγραμμα. Από μια ευρεία προοπτική, το Galileo θα επιρρεάσει την φύση του CSFP/ ESDP, τις σχέσεις της ΕΕ με τις Ηνωμένες Πολιτείες και τις αλληλεπιδράσεις ΕΕ-NATO. Αυτό το κεφάλαιο χαράζει αυτά τα ζητήματα λεπτομερέστερα και εξετάζει μερικές από τις απρομελέτητες συνέπειες που μπορούν να προκύψουν όσο το Galileo καθίσταται λειτουργικό.

##### **4.4.1 Galileo και CFSP/ESDP**

Μόλις το Galileo γίνει λειτουργικό, οι ευρωπαϊκοί φορείς χάραξης πολιτικής θα έχουν την επιλογή χρήσης των NPT σημάτων τους για να ωθήσουν το πεδίο της κοινής εξωτερικής και πολιτικής ασφάλειας (Common Foreign and Security Policy-CFSP) και της ευρωπαϊκής πολιτικής ασφάλειας και άμυνας (European Security and Defence policy-ESDP). Για την αναπτυσσόμενη δύναμη ταχείας επέμβασης (Rapid Reaction Force-RRF) η πρόσβαση στο Galileo θα χρησίμευε για να ενισχύσει τη λειτουργική απόδοσή της. Για Παράδειγμα κατά τη διάρκεια διεξαγωγής ‘χαμηλής έντασης’ στρατιωτικών επιχειρήσεων τυπου Petersberg, το Galileo θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να ελέγξει τις μετακινήσεις στρατευμάτων (λαμβάνοντας υπόψη τις συσκευές ανίχνευσης), να διευκολύνει τη μεταφορά των προμηθειών και να καθιερώσει τις περιμέτρους, κ.λπ. Για high-end διαδικασίες Petersberg που απαιτούν τη χρήση δύναμης, το σύστημα τοποθέτησης θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για παραδοσιακούς στόχους GNSS όπως η κατάστρωση σχεδίων μάχης, ο εντοπισμός στόχου και η καθοδήγηση πυρομαχικών. Κάτω και από τους δύο τύπους διαδικασιών, η εμπιστοσύνη στο prs σήμα θα ήταν συμφέρουσα λαμβάνοντας υπόψη τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί ασυμμετρικά.

Ακόμα κι αν οι υπεύθυνοι για τη λήψη αποφάσεων αποφάσισαν ενάντια στη στρατιωτική χρήση του Galileo, η χρήση της RRF, σε οποιαδήποτε high-end αποστολή Petersberg, θα περιελάμβανε τον κίνδυνο της πιθανής εκμετάλλευσης από τις εχθρικές δυνάμεις των σημάτων τοποθέτησής τους ενάντια στις ευρωπαϊκές δυνάμεις. Προφυλάξεις θα μπορούσαν να

αποτελέσουν η διακοπή του ανοικτού σήματος του Galileo (αν και αυτό θα είχε ουσιαστικές οικονομικές παρενέργειες για την ΕΕ) ή η εισαγωγή ενός τεχνητού λάθους ή επίσης το μπλοκάρισμα όλων των σημάτων προσδιορισμού στην περιοχή των επιχειρήσεων.

Εντούτοις, εάν η CFSP/ ESDP δεχόταν το Galileo, οι ευρωπαίοι πολιτικοί σχεδιαστές θα είχαν μεγαλύτερες δυνατότητες ώστε να προωθήσουν επιχειρήσεις. Παρόλο που οι ανεξάρτητες επιχειρήσεις είναι απίθανο να γίνουν ο κανόνας, υπάρχει η πιθανότητα οι Ηνωμένες Πολιτείες να επιλέξουν να μην είναι μέρος μερικών επιχειρήσεων. Επιπλέον, εάν το Galileo εφαρμοζόταν για σκοπούς της ESDP, οι κίνδυνοι που συνδέονται με την απώλεια σημάτων από το GPS στα κρίσιμα στάδια μιας επιχείρησης θα ήταν μειωμένοι (αν μάλιστα συμμετείχαν και οι Ηνωμένες Πολιτείες σε μια ταυτόχρονη αποστολή η κατάσταση θα ήταν ακόμη πιο ιδανική), αλλιώς θα απαιτούνταν το κλείσιμο των σημάτων GPS.

Σε πολιτικό επίπεδο, ένα ανεξάρτητο σύστημα ναυσιπλοΐας και προσδιορισμού θέσης αυξάνει την ισχύ της CFSP της ΕΕ. Οι Ευρωπαίοι δίνουν μεγάλη βαρύτητα στις διαπραγματεύσεις τους με τις ΗΠΑ, για το λόγο ότι με την επίτευξη της λειτουργίας του Galileo θα ανεξαρτητοποιηθούν από το μονοπώλιο του GPS (ειδικά εάν τα συστήματα είναι διαλειτουργικά), κάτι που θα έχει επιπτώσεις σε πιθανή χρησιμοποίηση των σημάτων ασυμμετρικά.

Από μια διαφορετική προοπτική, η ιδιοκτησία ενός GNSS φέρνει επιπρόσθετες ευθύνες. Παρόλο που η Ευρωπαϊκή Επιτροπή θεωρεί το Galileo ένα πολιτικό σύστημα, άλλες χώρες δεν το κάνουν. Αυτές βλέπουν το Galileo κυρίως ως στρατιωτικό εργαλείο που θα μπορούσε να χρησιμεύσει για την προώθηση των στρατιωτικών τους στόχων. Δεδομένου ότι μια μεγάλη μερίδα των ακριβών σημάτων τοποθέτησης του Galileo θα είναι ανοιχτά διαθέσιμη, οποιοσδήποτε χρήστης (περιλαμβανομένων των τρομοκρατικών οργανώσεων και εχθρικών χωρών) που εξοπλίζεται με τους κατάλληλους δέκτες θα μπορεί να χρησιμοποιήσει τα δεδομένα θέσης (positioning data) για στρατιωτικούς λόγους όπως η στοχοθέτηση, η καθοδήγηση πυροβολικού κτλ. Σε επιχειρησιακό επίπεδο, αυτό σημαίνει ότι οι Ευρωπαίοι πολιτικοί σχεδιαστές πρέπει να είναι προετοιμασμένοι να εξετάσουν την ενδεχόμενη αναρμόδια χρήση του συστήματος από τους τρίτους.

#### **4.4.2 Galileo από την αμερικανική προοπτική**

Από την πλευρά των ΗΠΑ, το Galileo θεωρήθηκε αρχικά ως διπλασιασμός του GPS που στην ουσία του δεν έχει κάποια πρόσθετη αξία. Σε μια επιστολή της 1ης Δεκεμβρίου 2001 στις κυβερνήσεις μέλη του NATO, ο αναπληρωτής γραμματέας άμυνας Paul Wolfowitz ζήτησε από τους ευρωπαίους στρατιωτικούς ηγέτες να ασχοληθούν περισσότερο με την ανάπτυξη του Galileo και να μην αφήσουν να περιέλθει όλος ο προγραμματισμός στα χέρια των υπουργών έρευνας και μεταφορών. Ο Wolfowitz επίσης σύστησε ότι το σύστημα δεν πρέπει να επεκταθεί.



Εάν επεκτεινόταν, σύστησε αυτό να γίνει με τρόπο που να επιτρέπει στις Ηνωμένες Πολιτείες να 'φράξουν' με ασφάλεια τα σήματα του Galileo χωρίς να επηρεασθεί το σύστημα GPS.

Μόλις έγινε εμφανές ότι η Ευρωπαϊκή Επιτροπή και η ESA θα προχωρούσαν στην ανάπτυξη του Galileo παρά τις αμερικανικές αντιρρήσεις, οι Ηνωμένες Πολιτείες άλλαξαν την πολιτική τους. Προς το παρόν, δέχονται το σύστημα εφ' όσον δεν προκύπτει καμία αλληλοεπικάλυψη σημάτων. Δυστυχώς, αυτή η θέση έχει οδηγήσει σε διαφωνίες μεταξύ των δύο πλευρών σχετικά με την ευρωπαϊκή απόφαση να επικαλύψει ένα από τα μελλοντικά PRS σήματά της με το μελλοντικό M- Code (military GPS). Εάν δεν επιλυθεί ικανοποιητικά, αυτή η διαφωνία θα έχει εκτεταμένες επιπτώσεις στην υπερατλαντική συμμαχία.

#### **4.4.2.1 Το πρόβλημα επικαλύψεων του M-κώδικα**

Οι Ηνωμένες Πολιτείες έχουν εκφράσει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, σχετικά με τα ευρωπαϊκά σχέδια, να αλληλοκαλύψουν ένα από τα δύο μελλοντικά σήματα PRS του Galileo με ένα από τα δύο μελλοντικά αμερικανικά στρατιωτικά (M-κώδικα) σήματα σε μια συγκεκριμένη διαμόρφωση (BOC 10,5) στη ζώνη υψηλής συχνότητας. Από την αμερικανική προοπτική, μια αλληλοκάλυψη με τον M-κώδικα οδηγεί σε κινδύνους για τις ΗΠΑ και το προσωπικό του NATO δεδομένου ότι δεν είναι πλέον δυνατό να φραχτεί επιλεκτικά το ένα από δύο σήματα, που αλληλοκαλύπτονται σε μια ενιαία ζώνη συχνότητας χρησιμοποιώντας την ίδια διαμόρφωση, χωρίς να υποβιβαστεί σοβαρά το άλλο. Οι Ηνωμένες Πολιτείες υποστηρίζουν δεν θα είχαν πλέον την ικανότητα να χρησιμοποιήσουν το GPS ασυμμετρικά. Αυτή η ανικανότητα να φραχτούν οι δέκτες PRS θεωρείται ως συμβιβασμός του συστήματος GPS, δεδομένου ότι θα μπορούσε να οδηγήσει σε σημαντικές αμερικανικές απώλειες έμψυχου δυναμικού κατά τη διάρκεια μιάς εμπόλεμης περιόδου αν λάμβαναν οι αντίπαλες δυνάμεις την πρόσβαση στα PRS σήματα ή αν όλα τα σήματα διακόπτονταν. Από την προοπτική της ΕΕ, οι Ηνωμένες Πολιτείες ενδέχεται να αντιμετωπίσουν ένα παρόμοιο ζήτημα ελέγχου σχετικά με πρόσβαση τρίτων στους μελλοντικούς δέκτες M-κώδικά τους. Από τον Οκτώβριο του 1993, δώδεκα μη Νατοϊκές χώρες και πολιτικές αντιπροσωπείες (από αμερικανικές ομοσπονδιακές αντιπροσωπείες ως τη νορβηγική αστυνομία) είχαν κάποια πρόσβαση στο στρατιωτικό κώδικα P(Y).

Από την πλευρά της ευρωπαϊκής Επιτροπής, μια επικάλυψη με τον M-κώδικα είναι απόλυτα δικαιολογημένη. Υπάρχει περιορισμένο εύρος στο φάσμα συχνοτήτων, και η συχνότητα που χρησιμοποιείται από τον M-κώδικα παρέχει καλύτερη απόδοση, σε καιρό ειρήνης, από την άποψη της αντίστασης της ευρωστίας, της καλύτερη αναλογία κόστους/κέρδους, της καλύτερης εγγύησης συνοχής και της ακεραιότητας. Επιπλέον, για να επιτύχουν την απαραίτητη PRS ακρίβεια ανα μέτρο (που συνδέεται με την ελάχιστη παρέμβαση) τα σήματα χρειάζονται δύο ζώνες συχνοτήτων που χωρίζονται ανα μακρά διαστήματα, έτσι η επιλογή της L1 (που ονομάζεται G1) ζώνης φαντάζει ακόμα επιτακτικότερη. Στη παγκόσμια διάσκεψη ραδιοεπικοινωνίας του 2000 (World Radiocommunication Conference-WRC) που έγινε στην

Κωνσταντινούπολη, αποφασίστηκε ότι δεν υπήρχε αρκετό εύρος ζώνης στη L1 band για όλα τα πιθανά σήματα, ανοίγοντας αποτελεσματικά το δρόμο για τις επικαλύψεις. Πρέπει να σημειωθεί ότι ενώ το Glonass χρησιμοποιεί επίσης τη L1 ζώνη, η επικάλυψη του σήματός του δεν θεωρείται βιώσιμη επιλογή για το Galileo, δεδομένου ότι είναι βασισμένη σε ένα σχέδιο που είναι σημαντικά διαφορετικό από το Galileo και το GPS.

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή δεν βλέπει αυτήν την περίοδο καμία βιώσιμη εναλλακτική λύση σε BOC (10.5). Η άλλη συχνά προτεινόμενη επιλογή, η διαμόρφωση BOC(14,2), θα ήταν απλά λιγότερο αποδοτική και ανταγωνιστική. Δεν είναι ακόμη γνωστό εάν ένα σήμα BOC (14,2) μπορεί να παρέχει ορισμένες τεχνικές λειτουργίες που απαιτούνται για την ομαλή λειτουργία του σήματος PRS. Μία από τις μεγαλύτερες ανησυχίες για τα ευρωπαϊκά συμφέροντα, παρόλα αυτά, είναι ότι μια επιλογή BOC (14,2) θα επέτρεπε στις Ηνωμένες Πολιτείες να φράξουν μονομερώς τους PRS χρήστες, κάτι που θέλει η Ευρώπη να αποφύγει για να εξασφαλίσει τη συνεχή πρόσβαση σημάτων και την επιρροή που ακολουθεί αυτή.

Η Επιτροπή επίσης υποστηρίζει ότι έχει ακολουθήσει τα τυποποιημένα (standard) πρωτόκολλα για να αποκτήσει πρόσβαση στις εν λόγω συχνότητες. Σύμφωνα με τους διεθνείς κανονισμούς που καθορίζονται από τη διεθνή ένωση τηλεπικοινωνιών (International Telecommunication Union-ITU), οι διαθέσιμες συχνότητες για τη δορυφορική ναυσιπλοΐα δεν ανήκουν σε μια συγκεκριμένη χώρα ή σύστημα. Υπό αυτήν τη μορφή, μια χώρα που επιθυμεί να χρησιμοποιήσει μια συχνότητα πρέπει απλά να καταθέσει μια αίτηση για τη χρήση της. Εάν εγκριθεί, η χώρα ή το σύστημα παίρνει μια αξίωση προτεραιότητας για την χρήση της. Εντούτοις, οποιαδήποτε άλλη χώρα μπορεί να χρησιμοποιήσει την ίδια συχνότητα υπό τον όρο ότι δεν οδηγεί σε υπερβολική ηλεκτρομαγνητική παρέμβαση με το άλλο σύστημα. Μετά από δύο έτη μελετών από τους ευρωπαϊκούς εμπειρογνώμονες στην ηλεκτρομαγνητική παρέμβαση, η επιτροπή έχει καταλήξει στο συμπέρασμα ότι η ΕΕ είναι σε θέση να κατασκευάσει ένα σύστημα PRS που δεν θα παρεμποδίσει τον M-κώδικα του GPS.

Στο WRC, που πραγματοποιήθηκε τον Ιούλιο του 2003, οι ευρωπαίοι ιθύνοντες του προγράμματος κατέθεσαν το σχέδιο συχνότητας του Galileo. Όσον αφορά τον έλεγχο των συστημάτων, οι Ευρωπαίοι είναι βέβαιοι ότι μπορούν να υποστηρίξουν την λειτουργία ενός 'εποπτικού ματιού' (watchful eye) στους δέκτες PRS έτσι ώστε το σύστημα να μην πέσει στα χέρια αναρμόδιων χρηστών. Για να ελαχιστοποιηθούν οι πιθανότητες αδικαιολόγητης χρήσης των σημάτων PRS, η πρόσβαση στα σήματα πρόκειται να ελέγχεται από ένα αρμόδιο ευρωπαϊκό σώμα (appropriate European body). Αυτή η οργάνωση θα ασκεί έλεγχο μέσω της δικαιοδοσίας της πάνω στο σύστημα κρυπτογράφησης και στη κατάλληλη διανομή κλειδιού αποκρυπτογράφησης. Οι δέκτες PRS θα ελέγχονται αυστηρά, επειδή οι χρήστες θα είναι αναγνωρίσιμοι από το όνομα. Οι δέκτες θα είναι ανιχνεύσιμοι έτσι ώστε στην περίπτωση που κλαπούν να μπορούν να εντοπίζονται και στην συνέχεια να εξουδετερώνονται σύμφωνα με μια προκαθορισμένη διαδικασία.

#### **4.4.2.2 Επιπτώσεις για την αμερικανική άμυνα**

Πέρα από τις νέες προκλήσεις που παρουσιάζονται στο πεδίο μάχη, το Galileo θα έχει επιπτώσεις στην αμερικανική άμυνα δημιουργώντας έτσι την ανάγκη για την ανάπτυξη ενός εθνικού αμερικανικού αμυντικού συστήματος βλημάτων.

Μόλις το Galileo γίνει λειτουργικό, εχθρικές ομάδες θα έχουν πρόσβαση σε μια ποικίλα πρόσθετων σημάτων τοποθέτησης (εκτός από τα σήματα GPS) που θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να καθοδηγήσουν διάφορους τύπους πυρομαχικών.

Ακόμα και η ελεύθερα διαθέσιμη ανοικτή υπηρεσία θα ήταν περισσότερο από επαρκής για να κάνει μόνιμη ζημία εάν αυτές οι ομάδες μπορούσαν να χρησιμοποιήσουν τις υπηρεσίες του Galileo για να καθοδηγήσουν τα πυρομαχικά τους. Παραδείγματος χάριν, εάν οι εχθρικές ομάδες αποκτούσαν μια τεχνολογία παρόμοια με τα κοινά άμεσα πυρομαχικά επίθεσης (Joint Direct Attack Munition-JDAM) και την προσαρμοζαν στις τεχνολογίες βλημάτων τους, οποιοδήποτε σήμα καθοδήγησης θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τους σκοπούς τους (τα ανοικτά σήματά τους θα ήταν περισσότερο από επαρκή). Πρέπει να σημειωθεί ότι αυτές οι τεχνολογίες δεν είναι πάρα πολύ δαπανηρές και επομένως είναι εφικτές από έθνη πρόθυμα να επενδύσουν στη στρατιωτική τεχνολογία. Στην περίπτωση JDAMS, ενώ οι δαπάνες ανάπτυξης κοστίζουν εκατομμύρια, το μέσο κόστος μονάδας είναι αυτήν την περίοδο 18.000 δολάρια. Τελειώνοντας, οι συνεχείς διαπραγματεύσεις και η συνεργασία μεταξύ των ιθύνοντων των ΗΠΑ και της ΕΕ θα είναι απαραίτητες για να εξετάσουν αυτούς τους τύπους απειλών.

#### **4.4.3 Galileo και NATO**

Από την προοπτική του NATO, το Galileo παρουσιάζει διάφορες δυνατότητες. Αφ' ενός, ο συνδυασμός σημάτων GPS και Galileo θα παρέχει μεγαλύτερη αξιοπιστία και ακρίβεια στους στρατιωτικούς δέκτες. Κατά συνέπεια, η πρόσβαση σε διάφορα σήματα τοποθέτησης είναι πιθανό να ωφελήσει τις επιδιώξεις του NATO σε μελλοντικές αποστολές (ειδικά εκείνες που μπορούν να πραγματοποιηθούν σε αστικές περιοχές ή κάτω από πυκνό φύλλωμα). Για τα ευρωπαϊκά μέλη του NATO, η εμφάνιση του Galileo μπορεί να τους προσδώσει έναν αποτελεσματικότερο ρόλο στην λήψη των αποφάσεων.

Αφ' ετέρου, η διαθεσιμότητα των σημάτων του Galileo προκαλεί επίσης ανησυχίες παρόμοιες με εκείνες που παρατηρήθηκαν από τις Ηνωμένες Πολιτείες. Χωρίς τον έλεγχο του σήματος PRS, οι δυνάμεις του NATO μπορεί να μην είναι σε θέση να εγγυηθούν τα πλεονεκτήματα του συστήματος στο τομέα των στρατιωτικών επιχειρήσεων. Υπό αυτήν τη μορφή, μπορεί να πρέπει να ανταπεξέλθουν σε περιπτώσεις όπου οι αντιτιθέμενες δυνάμεις ή οι τρομοκράτες θα μπορούν να εκμεταλλευτούν τα σήματα PRS, σήματα τα οποία είναι απίθανο να φραχτούν. Παρόλο που αυτό το σενάριο δεν είναι εφικτό λαμβάνοντας υπόψη τη μεγάλη επικάλυψη

μεταξύ των μελών της ΕΕ και του ΝΑΤΟ, απρόβλεπτες καταστάσεις μπορούν να προκύψουν μεταξύ των μελών με αποτέλεσμα, ανάλογα με την ιδιαιτερότητα της κατάστασης, να χρειάζεται φράξιμο, υποβάθμιση ή και κλείσιμο των σημάτων για να εξασφαλιστεί ένα ασυμμετρικό πλεονέκτημα. Υπάρχει κίνδυνος επίσης να δημιουργηθούν προστριβές στις σχέσεις μεταξύ των μη ευρωπαϊκών μελών του ΝΑΤΟ και των ευρωπαϊκών μελών του σχετικά με τις εφαρμογές του σήματος.

#### **4.4.4 Προστασία συστημάτων Galileo**

Ένας διαφορετικός τύπος ανησυχίας αφορά τη φυσική ασφάλεια του συστήματος Galileo. Δεδομένου ότι οι υπηρεσίες NPT είναι σημαντικό να προστατευθούν από τις επιθέσεις επειδή διαδραματίζουν έναν όλο και περισσότερο σημαντικό ρόλο στην σωστή λειτουργία της κοινωνίας. Στην περίπτωση του Galileo, αυτό σημαίνει επαρκή προστασία από τις εξωτερικές απειλές που μπορεί να προκύψουν μόλις αυτό γίνει λειτουργικό. Το Galileo είναι πιθανό να γίνει στόχος τρομοκρατών και άλλων ομάδων λόγω των οικονομικών επιπτώσεων που θα είχε ένα προσωρινό κλείσιμο ή διάσπαση του. Η πλέον πιθανή μορφή επίθεσης θα ήταν το μπλοκάρισμα των ανοικτών σημάτων ή μια φυσική επίθεση στους επίγειους σταθμούς. Αν και απίθανο, το Galileo αντιμετωπίζει επίσης απειλές από τις παραδοσιακές στρατιωτικές πηγές. Τα μέσα της επίθεσης κυμαίνονται από ground-based έως space-based όπλα.

### **4.5 Θεσμικές προκλήσεις που ανακύπτουν από το Galileo**

Μια σημαντική ερώτηση που ανακύπτει σχετικά με τον Galileo είναι ποιός θα μπορεί να έχει πρόσβαση στο σύστημα. Αυτό το κεφάλαιο παρέχει μια επισκόπηση του τρέχοντος συστήματος διακυβέρνησης, που εστιάζει στην αμυντική πλευρά. Δίνει έμφαση επίσης στις πιθανές θεσμικές προκλήσεις που μπορούν να προκύψουν καθώς το Galileo καθίσταται λειτουργικό.

#### **4.5.1 Τρέχουσα διακυβέρνηση συστημάτων**

Όπως προηγουμένως αναφέρεται, το Galileo είναι μια κοινή πρωτοβουλία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής και της ESA. Από την πλευρά της επιτροπής, η ευθύνη για το πρόγραμμα Galileo εναπόκειται στη Γενική Διεύθυνση για την Ενέργεια και τις Μεταφορές (Directorate General for Energy and Transport). Από την πλευρά της ESA, η ευθύνη εναπόκειται στο Διευθυντή για τα Προγράμματα Εφαρμογών (Director for Applications Programmes).

Η Κοινή Επιχείρηση (Joint Undertaking-JU), που δημιουργήθηκε τον Μάρτιο του 2002 από το Συμβούλιο των Ευρωπαϊκών Υπουργών Μεταφορών και προγραμματίζεται να διαρκέσει μέχρι το τέλος του 2005, είναι αρμόδια για τη διαχείριση της φάσης ανάπτυξης του Galileo. Πρόκειται να συμβάλει επίσης στην επέκταση και στις λειτουργικές φάσεις του.

Το διοικητικό συμβούλιο αποτελείται από τους αντιπροσώπους των μελών της JU. Είναι αρμόδιο για όλες τις στρατηγικές αποφάσεις προγραμματισμού συμπεριλαμβανομένου του οικονομικού τομέα και του τομέα σύνταξης προϋπολογισμού. Η Εκτελεστική Επιτροπή (Executive Committee) αποτελείται από τρία μέλη:

- έναν αντιπρόσωπο της Εκτελεστικής Επιτροπής
- έναν αντιπρόσωπο της ESA και
- έναν αντιπρόσωπο που διορίζεται από το διοικητικό συμβούλιο και πρέπει να προέρχεται από τον ιδιωτικό τομέα.

Η εκτελεστική επιτροπή έχει αποστολή να βοηθάει το διευθυντή και να εκτελεί στόχους που λαμβάνει από το διοικητικό συμβούλιο. Ο διευθυντής είναι ο νομικός αντιπρόσωπος της JU και δραστηριοποιείται στην καθημερινή διαχείριση του προγράμματος.

Με μια σαφή εστίαση στα ερωτήματα τα σχετικά με την οικονομία και τη συνεργασία που περιβάλλουν το Galileo, η JU έχει περιορίσει την καθοδήγηση έναντι των σχετικών με την ασφάλεια ζητημάτων. Ενώ αυτό δείχνει την πολιτική φύση του Galileo, δημιουργούνται παράλληλα ανησυχίες που προκύπτουν από τη διπλή φύση του συστήματος. Αν και η JU δεν είναι άμεσα αρμόδια για θέματα ασφάλειας, έχει εμπιστευτεί έναν ειδικό συμβούλιο ασφάλειας για να αρχίσει να εξετάζει μερικά από τα αυτά τα ζητήματα.

Μέχρι το τέλος του 2002, το συμβούλιο ασφάλειας τυπικά δεν είχε ιδρυθεί. Εν μέσω της απουσίας του, η Επιτροπή πήρε πρωτοβουλία σχετικά με τα ζητήματα ασφάλειας συγκαλώντας τους εμπειρογνώμονες ασφάλειας των κρατών μελών. Κατά τη διάρκεια του 2002, οι συνεδριάσεις των ειδικών επιτροπών γίνονταν υπο την προεδρία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής. Μετά από ορισμένες δηλώσεις μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης σχετικά με αυτήν την ρύθμιση, υποστηρίζοντας ότι αυτές οι συνεδριάσεις πρέπει να προεδρευθούν από έναν αντιπρόσωπο κρατών μελών ή να προεδρευθούν από κοινού με την Επιτροπή (που εκπληρώνει το ρόλο γραμματέα), το συμβούλιο μεταφορών στις 6 Δεκεμβρίου 2002 θεσμοθέτησε το Συμβούλιο Ασφάλειας. Αυτήν την περίοδο το Συμβούλιο Ασφάλειας προεδρεύεται από κοινού από έναν αντιπρόσωπο της προεδρίας του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης και την Ευρωπαϊκή Επιτροπή και έχει τρεις κύριους στόχους.

Αυτοί είναι:

- Να παρέχει την πείρα στα τεχνικά θέματα σχετικά με την ασφάλεια (κρυπτογράφηση).
- Να βοηθήσει την Επιτροπή στις διαπραγματεύσεις της με τρίτες χώρες παρέχοντας συμβουλές (π.χ τον καταμερισμό συχνότητας με τις Ηνωμένες Πολιτείες).

- Να βοηθήσει στην οργάνωση ενός μελλοντικού λειτουργικού πλαισίου για την ασφάλεια. Αυτό περιλαμβάνει την ευθύνη ‘ για τη σχέση σε περίπτωση κρίσης να διακόπτει ή να περιορίζει εκπομπές σήματος’, καθορισμός των εξουσιοδοτημένων χρηστών και εποπτεία έναντι των διεθνών υποχρεώσεων στη μη διάδοση και του ελέγχου εξαγωγής.

Για να εκπληρώσει αυτούς τους στόχους, η επιτροπή έχει ιδρύσει τέσσερις χωριστές ομάδες (με επικεφαλής προέδρους από Γερμανία, Γαλλία, Ιταλία και Ισπανία) που θα περιστοιχίζονται από μια ομάδα ειδικών εμπειρογνομώνων, το Συμβούλιο Ασφάλειας έχει προγραμματιστεί να συνεχίσει τις δραστηριότητές του έως ότου καθιερωθεί μια Αρχή Ασφάλειας για το Galileo (Galileo Security Authority-GSA). Ως τμήμα του GSA, η επιτροπή εκπονεί τώρα μια πρόταση για να διαμορφώσει έναν μόνιμο επιχειρησιακό κέντρο για το Galileo το οποίο θα είναι σε θέση να λαμβάνει τα μέτρα που απαιτούνται (όπως οι παρεμβολές και οι διακοπές σήματος) σε ένα κρίσιμο γεγονός. Η σύνθεση αυτού του σώματος, από την άποψη της σχέσης μεταξύ των μελών και των ικανοτήτων τους, θα έχει σημαντικές επιπτώσεις στο πώς θα χρησιμοποιηθεί το Galileo σε θέματα ασφάλειας και άμυνας. Για παράδειγμα, εάν χρησιμοποιηθούν τα σήματα PRS κατά τη διάρκεια μιας επιχείρησης, το σώμα αυτό θα πρέπει να είναι σε θέση να αποκλείσει γρήγορα τα σήματα στους αναρμόδιους δέκτες. Ένα μικρό χρονικό διάστημα θα απαιτείται στη διαδικασία λήψης αποφάσεων για να περιορίσει τις πιθανές αρνητικές επιπτώσεις από την αναρμόδια χρήση των συστημάτων.

Ένα ζωτικής σημασίας ζήτημα που πρέπει ακόμα να διευκρινιστεί είναι η σχέση μεταξύ της Επιτροπής, των κρατών μελών της ΕΕ, της ESA και της Γενικής Γραμματείας του Συμβουλίου. Η τρέχουσα ρύθμιση παρέχει περιορισμένες δυνατότητες εισαγωγής για το Συμβούλιο της ΕΕ και τα κράτη μέλη που είναι αρμόδια για την CFSP και την ESDP. Αυτή η δυσκολία προκύπτει από την ιδιαίτερη θεσμική σχέση μεταξύ της Επιτροπής και της CFSP / ESDP καθώς επίσης και της αποκλίνουσας προσωπικής στάσης κρατών μελών της ΕΕ απέναντι στην ευρωπαϊκή συμμετοχή στις υποθέσεις ασφάλειας και άμυνας.

Κάτω από το τρέχον καθεστώς, είναι σαφές ότι το Galileo δεν πρόκειται να συμμετέχει σε σχετικές με την άμυνα δραστηριότητες που αρχίζουν το 2008. Αυτή είναι μια πολιτική απόφαση που δεν μπορεί να ληφθεί από την επιτροπή. Ενώ μια τελική απόφαση δεν είναι απαραίτητο να ληφθεί έως ότου το σύστημα γίνει λειτουργικό το 2008, είναι σημαντικό η επιτροπή να εξετάζει την μελλοντική της στάση για αυτά τα θέματα. Υπάρχουν πολυάριθμες σχετικές με την ασφάλεια ερωτήσεις που δεν μπορούν να λυθούν γρήγορα, π.χ.:

- Ποιος θα αποφασίσει εάν η υπηρεσία μπορεί να διακοπεί ή να φραχτεί κατά τη διάρκεια μιας κρίσης;
- Ποιο ρόλο θα είχε το πιθανό κέντρο διαχείρισης κρίσεων (ότι έχει την τεχνική ικανότητα να διακόψει το σύστημα) έναντι της διάσπασης του σήματος;
- Εάν η απόφαση κλεισίματος/μπλοκαρίσματος εξαρτάται από το Συμβούλιο, θα έπρεπε η απόφαση να ληφθεί απαραιτήτως με ομοφωνία;

- Ποιος θα ‘χορηγούσε’ άδεια στους χρήστες σημάτων PRS και θα έλεγχε την χωρίς άδεια χρήση(unauthorised use);
- Εάν εξαρτάται από κάθε κράτος μέλος ο έλεγχος της πρόσβασης, ποίος θα εξασφάλιζε εναρμονισμένες πολιτικές στα κράτη μέλη της ΕΕ;
- Ποιος θα έπρεπε να διαπραγματευτεί με τις Ηνωμένες Πολιτείες και το NATO σε περίπτωση που το RRF ή κάποιος άλλη οντότητα συμμετείχε σε μια πολυεθνική επιχείρηση;
- Θα έπρεπε τα μεμονωμένα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης να έχουν πρόσβαση στο PRS για τις στρατιωτικές επιχειρήσεις τους εκτός των συνόρων τους;
- Ποιά θα έπρεπε να είναι η πολιτική πρόσβαση στο PRS για μεμονωμένο κράτος μέλος(η) της Ευρωπαϊκής Ένωσης;

#### **4.5.2 Σχέση με τις Ηνωμένες Πολιτείες και το NATO**

Μια σημαντική θεσμική διάσταση που χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή αφορά το κατάλληλο φόρουμ για τις ανταλλαγές μεταξύ ΕΕ-Η.Π.Α. Ένα ισχυρό φόρουμ για τη διαπραγμάτευση και τις διαβουλεύσεις είναι απαραίτητο για να θέσει ερωτήσεις σχετικά με την ασυμμετρική χρήση των σημάτων, τις μορφές χρησιμοποίησης κατά τη διάρκεια των διαδικασιών συνασπισμού, τις προδιαγραφές δεκτών GPS/Galileo, και ούτω καθ'εξής.

Στις 5 Δεκεμβρίου του 2002, το Συμβούλιο μεταφορών ενίσχυσε την θέση της επιτροπής με την πρόσκλησή της στο να οριστικοποιήσει τις διαπραγματεύσεις που διατηρούνται με τις Ηνωμένες Πολιτείες βάσει των οδηγιών διαπραγμάτευσης που συμφωνήθηκαν τον Οκτώβριο του 1999 και σε στενή συνεργασία με την ειδική Επιτροπή, με σκοπό την επίτευξη της διαλειτουργικότητας σε επίπεδο συστημάτων, και του GPS και του Galileo.

Ενώ η Επιτροπή και ένα καθοδηγούμενο από την ESA φόρουμ διαπραγματεύσεων έχουν εργαστεί μέχρι τώρα, μερικές ευρωπαϊκές κυβερνήσεις (ιδιαίτερα μη μέλη της ΕΕ) και αμερικανικοί ανώτεροι υπάλληλοι έχουν εκφράσει την προτίμησή τους για το NATO που χρησιμεύει ως το φόρουμ για συζήτηση.

Ένα αδιέξοδο μπορεί να δημιουργηθεί δεδομένου ότι η Ευρωπαϊκή Επιτροπή είναι προσηλωμένη στις διμερείς συζητήσεις μεταξύ ΗΠΑ-ΕΕ, που παρακάμπτον άλλους οργανισμούς όπως το NATO. Από την προοπτική της Ευρωπαϊκής επιτροπής, το NATO δεν είναι το κατάλληλο πλαίσιο στο να συζητηθεί ένα πρόγραμμα του οποίου η ιδιοκτησία είναι στην ΕΕ.

Υπό αυτές τις συνθήκες, θα είναι σημαντικό να εξεταστεί το κατάλληλο σχήμα για τις συνεχείς διαπραγματεύσεις καθώς τα ζητήματα ασφάλειας γίνονται όλο και περισσότερο μέρος της ημερήσιας διάταξης. Μόνο σε ένα κατάλληλο πλαίσιο που εξασφαλίζει τη συμμετοχή όλων των ευρωπαίων και Αμερικάνων εμπλεκόμενων μπορεί να αναπτυχθεί μια καρποφόρος συζήτηση.

#### **4.5.3 Σχέσεις με την Κίνα, τη Ρωσία και άλλα έθνη έξω από το NATO**

Από την στιγμή που αποφάσισε το Συμβούλιο να προωθήσει το Galileo, διάφορες χώρες έχουν εκφράσει το ενδιαφέρον τους για το πρόγραμμα. Ειδικότερα, και η Κίνα και η Ρωσία θεωρούν τη συμμετοχή τους στο πρόγραμμα ως στρατηγικό στόχο. Στην περίπτωση της Κίνας, ο πρωθυπουργός Zhu Rongji έχει εκφράσει ενδιαφέρον για να περιληφθεί πλήρως η χώρα του στο πρόγραμμα Galileo σε οικονομικό, τεχνικό, και πολιτικό επίπεδο. Το κινεζικό Υπουργείο Έρευνας έχει βρεί ήδη έναν κατάλογο τομέων συνεργασίας.

Από την πλευρά της Ρωσίας, υπάρχει η επιθυμία να αναπτυχθεί η σχέση Glonass/Galileo που θα αφορά συστήματα και πρότυπα. Από τη διμερή σύνοδο κορυφής Ρωσία-ΕΕ που πραγματοποιήθηκε στις 29 Μαΐου 2002, αμφότερα τα συμβαλλόμενα μέρη αποφάσισαν να επανεξετάσουν το πεδίο της συνεργασίας, δεδομένου του αμοιβαίου ενδιαφέροντός τους για την επέκταση της συνεργασίας, στους τομείς και της ανάπτυξης της τεχνολογίας και της οικονομικής επένδυσης. Εκτός από την προώθηση των βιομηχανικών και επιστημονικών συνδέσεων, οι δύο πλευρές έχουν συμφωνήσει να συνάψουν μια συμφωνία συνεργασίας με την πρώτη ευκαιρία. Εκτός από αυτές τις χώρες, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει επαφές με έναν πλήθος άλλων κρατών. Αυτές περιλαμβάνουν τις υποψήφιες χώρες της ΕΕ τα μεσογειακά έθνη που αποτελούν μέρος της συμφωνίας της Βαρκελώνης, διάφορα λατινοαμερικανικά έθνη, τον Καναδά, την Αυστραλία, την Ιαπωνία, την Ουκρανία και την Ινδία.

Μέσω του άρθρου 5 του κανονισμού που συνιστά την κοινή επιχείρηση (JU) του Galileo, τρίτες χώρες μπορούν να αποτελέσουν μέρος του προγράμματος Galileo και να γίνουν μέλη της JU. Αυτό έχει σημαντικές επιπτώσεις, λαμβάνοντας υπόψη τον εκτενή ρόλο της JU στη φάση ανάπτυξης, συμπεριλαμβανομένων των πρόωρων φάσεων του επιχειρησιακού σταδίου. Ενώ η συνεργασία θα βοηθήσει να διευκολυνθούν οι οικονομικές και οι τεχνικές λύσεις για το Galileo, πρέπει να υπάρξει προσοχή όσον αφορά τη διανομή των εφαρμογών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για αμυντικούς λόγους. Από την άλλη η εστίαση του Galileo ως πολιτικό εργαλείο από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή και την ESA δεν σημαίνει ότι άλλες χώρες θα επωφεληθούν αυτής της δυνατότητας.

Τομείς ιδιαίτερης ανησυχίας αποτελούν η pps τεχνολογία, οι δέκτες pps και η χρησιμοποίηση μεθοδολογίας κρυπτογράφησης. Ενώ οι πραγματικοί δέκτες προγραμματίζονται να είναι στενά ελεγχόμενοι, υπάρχει μια πιθανότητα τρίτες χώρες να είναι σε θέση να 'τρυπήσουν' το pps μόλις έχουν μια καλή κατανόηση της αρχιτεκτονικής του συστήματος. Η μεταφορά αυτής της τεχνολογία σε αναρμόδια χέρια-είτε σε διεθνή ή όχι-πρέπει να αποφευχθεί με όποιο κόστος.



## 4.6 Galileo Frequency & Signal Design

Αυτό το κεφάλαιο περιγράφει την δομή των συχνοτήτων και το σχέδιο των σημάτων του Galileo όπως αναπτύσσεται από την ομάδα εργασίας σημάτων (Signal Task Force-STF) του Galileo της Ευρωπαϊκής Επιτροπής. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή καθιέρωσε την ομάδα εργασίας τον Μάρτιο 2001. Προεδρευμένο από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, η STF αποτελείται από εμπειρογνώμονες που ορίζονται από τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης (EU), επίσημους αντιπροσώπους των εθνικών αρχών συχνότητας, και εμπειρογνώμονες από την ευρωπαϊκή διαστημική αντιπροσωπεία (ESA). Η ομάδα εργασίας σημάτων διαδραματίζει έναν σημαντικό ρόλο στον καθορισμό του σχεδίου συχνότητας και σήματος του Galileo. Η STF υποβάλλει έκθεση στην Ευρωπαϊκή Οργανωτική Επιτροπή του Galileo μέσω της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για έγκριση. Ένας στόχος της STF είναι να αναζητηθούν οι τρόποι να βελτιστοποιηθεί η διαλειτουργικότητα Galileo/GPS.

Αυτό το άρθρο υποβάλλει την πιο πρόσφατη πρόταση για τη συχνότητα του Galileo και τη δομή των σημάτων. Συζητά αρχικά τις σχετικές απαιτήσεις για το σύστημα. Η συζήτηση περιγράφει έπειτα τη χαρτογράφηση των υπηρεσιών του Galileo στα σήματα, που ακολουθείται από τις λεπτομερείς εκτιμήσεις (θόρυβος και πολλαπλές διαδρομές) των σχετικών ζωνών συχνότητας. Συζητούνται τα αποτελέσματα από τις αναλύσεις καθώς επίσης και το θέμα διαλειτουργικότητας και συμβατότητας με το GPS από την άποψη της δομής σημάτων και του πλαισίου γεωδαιτικής και χρονικής αναφοράς.

### 4.6.1 Απαιτήσεις σημάτων

Η Ευρωπαϊκή Ένωση σκοπεύει για το σύστημα Galileo να παρέχει τέσσερις υπηρεσίες ναυσιπλοΐας και μια υπηρεσία αναζήτησης και διάσωσης (Search And Rescue-SAR). Τα αρχικά σήματα Galileo προορίζονται να παρέχουν μια "ανοικτή υπηρεσία" (Open Service-OS) υψηλής ποιότητας, που θα αποτελείται από έξι διαφορετικά σήματα ναυσιπλοΐας σε τρεις φέρουσες συχνότητες. Η απόδοση OS θα είναι τουλάχιστον ίση με αυτή που αναμένεται από την επόμενη γενιά (Block IIF) δορυφόρων GPS που σχεδιάζονται να αρχίσουν να λειτουργούν το 2005 και από τη μελλοντική αρχιτεκτονική συστημάτων GPS III που ερευνάται αυτήν την περίοδο.

Οι δορυφόροι IIF/III GPS θα προσφέρουν ευρείας ζώνης σήματα σε τρεις αστικές (ανοικτές) συχνότητες:

- ένα high-chipping rate σήμα στην L5 band με κεντρική συχνότητα 1176.45 MHz
- και δύο low-chipping rate σήματα ένα στην L1 band με κεντρική συχνότητα 1575.42 MHz και ένα στην L2 band με κεντρική συχνότητα 1227.60 MHz.

Επιπλέον, το πρόγραμμα εκσυγχρονισμού του GPS θα προσφέρει πρόσθετες αστικές και στρατιωτικές δομές κώδικα στην L2 band.

### **Σύστημα συμβατό και ανεξάρτητο**

Μεταξύ των κύριων στόχων του STF είναι να εξασφαλίσει τη συμβατότητα και τη διαλειτουργικότητα με άλλα δορυφορικά συστήματα ναυσιπλοΐας, ιδιαίτερα το GPS, και άλλες χρήσεις των τμημάτων του φάσματος RF στο οποίο το Galileo θα γίνει επιχειρησιακό. Το πολιτικό έγγραφο της Ευρωπαϊκής Επιτροπής που οδηγεί στο ψήφισμα του Galileo στη συνεδρίαση του Συμβουλίου Μεταφορών στις 17 Ιουνίου 1999, δήλωσε αυτόν τον στόχο ως εξής: "Το Galileo πρέπει να είναι ένα ανοικτό, παγκόσμιο σύστημα, πλήρως συμβατό με το GPS, αλλά ανεξάρτητο από αυτό" .

Στη συνεδρίασή στις 25-26 Μαρτίου 2002 (κατά τη διάρκεια της οποίας αποφασίστηκε τελικά η έναρξη της φάσης ανάπτυξης του Galileo), το Συμβούλιο Μεταφορών της Ευρωπαϊκής Ένωσης υπογράμμισε πάλι την επιθυμία του ότι η συμβατότητα και η διαλειτουργικότητα με το GPS πρέπει να είναι ένας από τους βασικούς οδηγούς για το Galileo. Το παρόν σχέδιο σημάτων του Galileo επιτυγχάνει ένα μέγιστο της διαλειτουργικότητας με το GPS, μειώνοντας ακόμα την ευπάθεια κατά τη χρησιμοποίηση του ενός συστήματος ως υποστήριξη του άλλου.

Ανεξαρτησία σημαίνει παρεμπόδιση ή μείωση της ευπάθεια στις ταυτόχρονες αποτυχίες του GPS και του Galileo. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί εν μέρει με τη διατήρηση χωριστών υποδομών 'διαστήματος' και εδάφους και συστημάτων ελέγχου, και εν μέρει με την εφαρμογή ξεχωριστών σχεδίων σημάτων και χωριστών συχνοτήτων.

Προκειμένου να συζητηθεί λεπτομερέστερα ο όρος "πλήρως συμβατό με το GPS", πρέπει να θεωρήσουμε τους γενικούς χρήστες ενός δορυφορικού συστήματος παγκόσμιας ναυσιπλοΐας (Global Navigation Satellite System-GNSS). Για την εργασία τους, αυτοί οι χρήστες, θέλουν να είναι σε θέση να ακολουθήσουν όσο το δυνατόν περισσότερους δορυφόρους προκειμένου να αυξηθεί η απόδοση προσδιορισμού θέσης και να υπάρξει πλεονασμός για τη διαθεσιμότητα, την ακεραιότητα, και τη συνοχή σημάτων. Ο καλύτερος τρόπος να επιτευχθεί αυτό είναι μέσω της χρήσης ενός 'all-in-view' συνδυαστικού (Galileo/GPS) δέκτη, ο οποίος θα μπορεί να κατασκευαστεί φτηνά μόνο όταν το σχέδιο γίνει όσο το δυνατόν απλούστερο.

Αυτό μπορεί να γίνει με επιτυχία, εάν τα σήματα GPS και Galileo χρησιμοποιούν τις ίδιες κεντρικές συχνότητες, επειδή η χρήση των πολλαπλάσιων συχνοτήτων από τους GNSS δέκτες θα απαιτούσε διάφορα front-ends (στοιχεία κεραιών, ολοκληρωμένα κυκλώματα RF, και χαμηλοί ενισχυτές θορύβου) και ένα πιο σύνθετο σχέδιο επεξεργασίας σήματος. Οι πολλαπλάσιες συχνότητες εισάγουν επίσης τις 'διαφορετικές σε τιμή' συχνότητες στο δέκτη. Η επίλυση αυτού του προβλήματος γίνεται είτε με τη βαθμονόμηση (calibration) (εάν δύναται) είτε με την ενσωμάτωση πρόσθετων παρατηρήσεων στον αλγόριθμο προσδιορισμού θέσης .

### **Πτυχές ασφάλειας**

Ένα παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα ναυσιπλοΐας, ακόμη και πολιτικό όπως το Galileo, πρέπει επίσης να εξετάσει τις παγκόσμιες πτυχές ασφάλειας. Η δορυφορική ναυσιπλοΐα σήμερα - και ακόμα περισσότερο στο μέλλον - χρησιμοποιείται σε κρίσιμες υποδομές όπου μια συνεχή

υπηρεσία GNSS είναι απολύτως ζωτικής σημασίας. Τα παραδείγματα μπορούν να βρεθούν στις τηλεπικοινωνίες, την ηλεκτρική ενεργειακή διανομή, τις τραπεζικές εργασίες και τις οικονομικές συναλλαγές, και άλλους τομείς.

Σε αυτούς τους τομείς μια διακεκομμένη υπηρεσία θα προκαλούσε μια αλυσίδα δυσλειτουργικών υπηρεσιών. Η διάσπαση των υπηρεσιών GNSS είναι μια πιθανή απειλή για τα εθνικά και παγκόσμια οικονομικά συστήματα καθώς επίσης και την ασφάλεια και τις σχετικές με την ασφάλεια εφαρμογές. Η κακή χρήση των υπηρεσιών GNSS μπορεί να απειλήσει την εθνική ασφάλεια. Συνεπώς, η ασφάλεια και ο διαχωρισμός του φάσματος και οι υπηρεσίες ελέγχου-πρόσβασης είναι τρόποι να προστατευθούν οι χρήστες GNSS από τη διακοπή. Ένα καλό παράδειγμα είναι η αποσύζευξη των στρατιωτικών και δημόσιων υπηρεσιών, στο εκσυγχρονισμένο GPS, με τη χρησιμοποίηση διαφορετικών κυματομορφών. Σε περιόδους μιας κρίσης, οι δημόσιες υπηρεσίες πρέπει να είναι 'συμπιέσιμες' χωρίς επιρροή των στρατιωτικών ή/και των σημάτων ασφάλειας.

#### **Ζητήματα παρέμβασης**

Μια νέα υπηρεσία GNSS πρέπει να αποφύγει τις υπάρχουσες υπηρεσίες που αναπτύσσουν δραστηριότητες στην ίδια μερίδα του φάσματος RF, συμπεριλαμβανομένου του GPS και του συστήματος GLONASS της Ρωσίας. Ανάλογα με την επιλογή του επιπέδου ισχύος σημάτων και του chipping rate, μπορεί να είναι αποδεκτό για ένα σήμα να υπάρξει ένα 'ξεχείλισμα' των πλευρικών λοβών στις γειτονικές ζώνες συχνότητας εφ' όσον η παρέμβαση είναι ασήμαντη όπως καθορίζεται από τους κανόνες ITU και κάτω από ένα ορισμένο επίπεδο (λιγότερο από 0,25 dB). Οι επικαλύψεις στις ίδιες φέρουσες συχνότητες, ακόμη και να είναι δυνατές, χρησιμοποιώντας διαφορετικές κυματομορφές και δομές κώδικα δεν παρεμποδίζουν σημαντικά το ένα το άλλο. Αυτή η τελευταία προσέγγιση αντιπροσωπεύει μέρος του σχεδίου σημάτων και συχνότητας Galileo που προτείνεται από το STF.

#### **4.6.2 Πρόσφατες εξελίξεις**

Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού του 2002, διάφορες τροποποιήσεις πραγματοποιήθηκαν στην πρόταση βασικών γραμμών του STF που υποβλήθηκε προηγουμένως, οδηγώντας σε μια ακριβή δομή σημάτων. Οι κύριες αλλαγές αφορούν τα εξής:

- Στη χαμηλότερη L-band (δηλαδή E5a και E5b) η κεντρική συχνότητα για E5b κινήθηκε προς τα 1207.140 MHz προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η πιθανή παρέμβαση από το κοινό τακτικό σύστημα διανομής πληροφοριών (Join Tactical Information Distribution System-JTIDS) και το πολυσύνθετο σύστημα διανομής πληροφοριών (Multifunctional Information Distribution System-MIDS). Όλα τα σήματα σε E5a και E5b χρησιμοποιούν chip rate 10 Mcps. Η διαμόρφωση για εκείνη την ζώνη βελτιστοποιείται ακόμα με τη δυνατότητα επεξεργασίας ευρείας ζώνης σημάτων με από κοινού χρησιμοποίηση των E5a και E5b ζωνών. Αυτή η κοινή

χρήση των ζωνών έχει τη δυνατότητα να προσφέρει τεράστια ακρίβεια για ακριβή προσδιορισμό θέσης με χαμηλό multipath. Τα data rates έχουν επίσης καθοριστεί.

- Στη μέση (δηλαδή στην E6) και στην ανώτερη L-band (E2-L1-E1) καθορίστηκαν επίσης τα data και chip rates καθώς επίσης και οι uplink και downlink συχνότητες SAR.

Οι εκτενείς εκτιμήσεις παρέμβασης πραγματοποιήθηκαν στις E5a/E5b με βάση τα όργανα μέτρησης απόστασης (Distance Measuring Equipment-DME), το τακτικό σύστημα αεροπλοΐας (Tactical Air Navigation System-TACAN) και την επικάλυψη του Galileo στο GPS L5. Στην E6 πραγματοποιήθηκαν με βάση την αμοιβαία παρέμβαση στα ή και από τα ραντάρ και στις συχνότητες E2-L1-E1 όσον αφορά την επικάλυψη του Galileo στο GPS L1.

Η ομάδα εργασίας σημάτων της Ευρωπαϊκής Επιτροπής και η ESA έχουν καθορίσει τα κριτήρια για την επιλογή κώδικα και τις απαιτήσεις σε κάθε συχνότητα. Οι κώδικες αναφοράς έχουν επιλεγεί επιτρέποντας αρχικές αξιολογήσεις. Οι παράλληλες έρευνες βρίσκονται σε εξέλιξη εξετάζοντας τις εναλλακτικές λύσεις για τους κώδικες του Galileo και στοχεύοντας βελτιωμένες αποδόσεις.

#### **4.6.3 Συχνότητα, βασική γραμμή σημάτων (Frequency, signal baseline)**

\_\_\_ Το Galileo θα παρέχει 10 σήματα ναυσιπλοΐας στη δεξιά κυκλική πόλωση (Right-Hand Circular Polarization-RHCP) στα φάσματα συχνότητας 1164–1215 MHz (E5a και E5b), 1260–1300 MHz (E6) και 1559–1592 MHz (E2-L1-E1), τα οποία είναι μέρος της ραδιο κατανομής δορυφορικών υπηρεσιών ναυσιπλοΐας (Radio Navigation Satellite Service-RNSS). Η συχνότητα ζώνης E2-L1-E1 δίνεται μερικές φορές ως L1 για ευκολία.

Στο σχήμα 1 (στην επόμενη σελίδα) παρουσιάζεται μια επισκόπηση αυτών των σημάτων, δείχνοντας τον τύπο διαμόρφωσης, το chip rate, και το data rate για κάθε σήμα. Το σχήμα δίνει έμφαση επίσης στις φέρουσες συχνότητες, καθώς επίσης και στις ζώνες συχνότητας που είναι κοινές για το GPS.

Όλοι οι δορυφόροι του Galileo θα μοιραστούν την ίδια ονομαστική συχνότητα, χρησιμοποιώντας πολλαπλή προσπέλαση Code Division Multiple Access (CDMA) συμβατή με την προσέγγιση GPS.

Έξι σήματα, συμπεριλαμβανομένων τριών data-less καναλιών ή πειραματικών τόνων (κυμαινόμενοι κώδικες που δεν διαμορφώνονται από τα data), είναι προσιτά σε όλους τους χρήστες Galileo στο E5a, E5b, και στις φέρουσες συχνότητες E2-L1-E1 για τις υπηρεσίες OS και SoL (Safety-of-Life). Δύο σήματα E6 με κρυπτογραφημένους κυμαινόμενους κώδικες, συμπεριλαμβανομένου ενός data-less καναλιού, είναι προσιτά μόνο σε μερικούς ‘αφιερωμένους’ χρήστες που αποκτούν πρόσβαση μέσω ενός δεδομένου εμπορικού προμηθευτή υπηρεσιών (Commercial Service-CS). Τέλος, δύο σήματα (ένα στην E6 ζώνη και

ένα στην E2-L1-E1) με κρυπτογραφημένους κυμαινόμενους κώδικες και data είναι προσιτά στους εξουσιοδοτημένους χρήστες των δημόσιων ρυθμισμένων υπηρεσιών (Public Regulated Service-PRS).

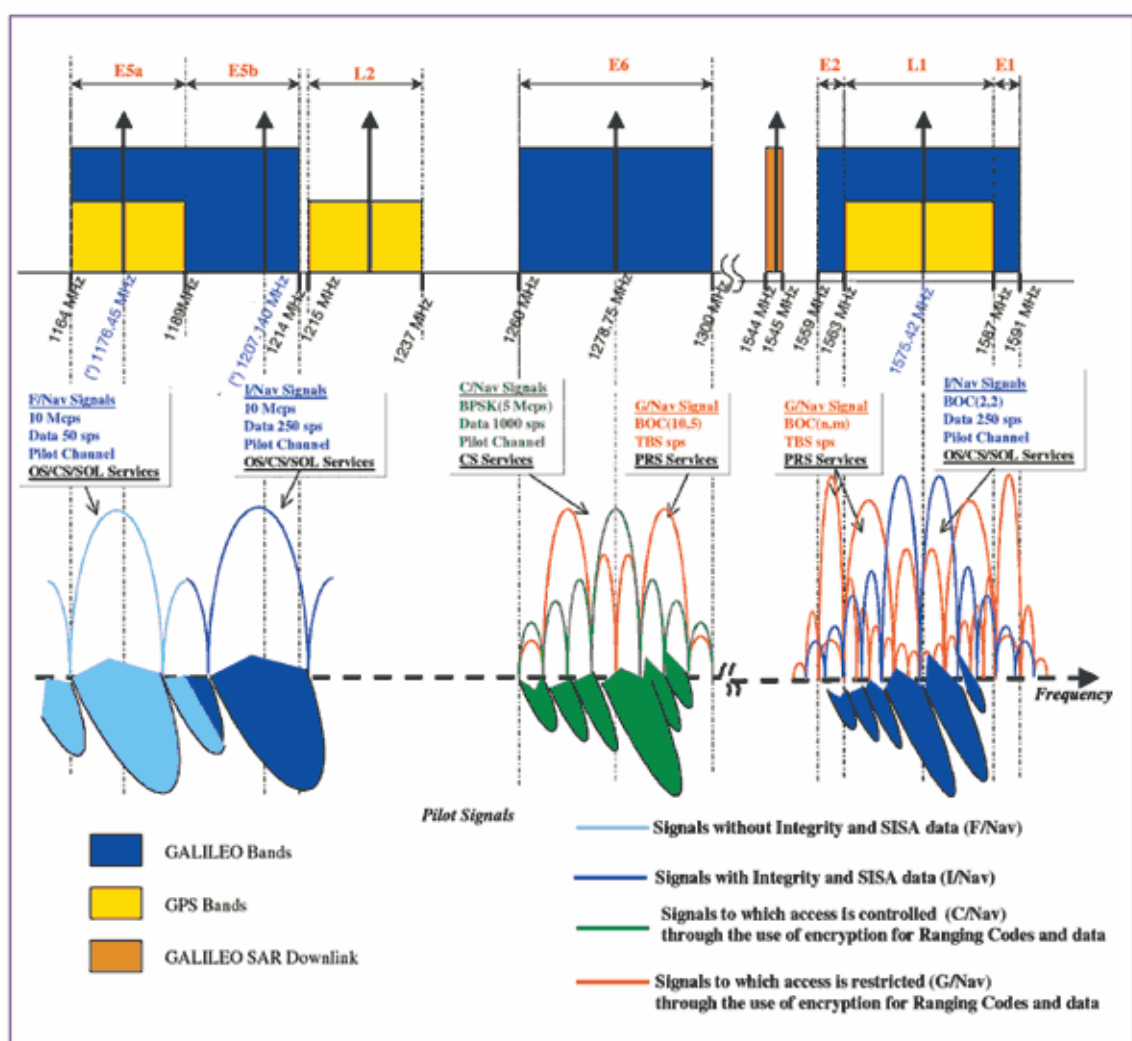


FIGURE 1 Galileo frequency spectrum

Ένα συνελικτικό σχέδιο κωδικοποίησης Viterbi 1/2-rate χρησιμοποιείται για όλα τα διαβιβασθέντα μηνύματα στοιχείων.

Τέσσερις διαφορετικοί τύποι data φέρονται από τα διαφορετικά σήματα του Galileo:

- OS data: τα οποία διαβιβάζονται στις φέρουσες συχνότητες E5a, E5b και L1. Τα OS data είναι προσιτά σε όλους τους χρήστες και περιλαμβάνουν κυρίως τα στοιχεία ναυσιπλοΐας και τα στοιχεία SAR.
- CS data: διαβιβασθέντα στις φέρουσες E5b, E6 και L1. Όλα τα CS data κρυπτογραφούνται και παρέχονται από τους φορείς παροχής υπηρεσιών που διασυνδέονται με το κέντρο ελέγχου του Galileo. Η πρόσβαση σε εκείνα τα εμπορικά στοιχεία παρέχεται άμεσα στους χρήστες από τους φορείς παροχής υπηρεσιών.

- SOL data :που περιλαμβάνουν κυρίως την ακεραιότητα και το σήμα στα διαστημικά στοιχεία ακρίβειας (Signal in Space Accuracy-SISA). Η πρόσβαση στα data ακεραιότητας μπορεί να ελεγχθεί, εντούτοις αυτό δεν προβλέπεται βραχυπρόθεσμα.
- Prs data: διαβιβασθέντα στις φέρουσες συχνότητες E6 και L1.

Μια σύνθεση της χαρτογράφησης στοιχείων στα σήματα του Galileo εμφανίζεται στον ακόλουθο Πίνακα 1.

**TABLE 1** Main Galileo navigation signal parameters. QPSK = quadrature phase shift keying; BPSK = binary phase shift keying

Frequency Bands	E5a		E5b		E6			E2-L1-E1			
Channel	I	Q	I	Q	A	B	C	A	B	C	
Modulation type	being optimized [AltBOC(15,10) or two QPSK(10)]				BOC(10,5)	BPSK(5)	BPSK(5)	flexible	BOC(2,2)	BOC(2,2)	BOC(2,2)
Chip rates	10 Mcps	10 Mcps	10 Mcps	10 Mcps	5.115 Mcps	5.115 Mcps	5.115 Mcps	$m \times 1.023$ Mcps	2.046 Mcps	2.046 Mcps	
Symbol rates	50 sps	N/A	250 sps	N/A	TBD sps	1000 sps	N/A	TBD sps	250 sps	N/A	
User minimum received power at 10° elevation	-158 dBW	-158 dBW	-158 dBW	-158 dBW	-155 dBW	-158 dBW	-158 dBW	-155 dBW	-158 dBW*	-158 dBW*	

\* a value of -160 dBW is currently under consideration for B and C channels, E2-L1-E1

**Πίνακας 1:** Κύριες παράμετροι σημάτων ναυσιπλοΐας Galileo.

#### 4.6.4 Σχέδια διαμόρφωσης (Modulation schemes)

Λαμβάνοντας υπόψη το σχέδιο συχνότητας που καθορίστηκε νωρίτερα και τις υπηρεσίες στόχων που βασίζονται στα σήματα του Galileo, ο τύπος διαμόρφωσης των διάφορων φερουσών του Galileo προκύπτει από έναν συμβιβασμό μεταξύ των ακόλουθων κριτηρίων:

- Ελαχιστοποίηση των απωλειών εφαρμογής στους δορυφόρους του Galileo, χρησιμοποιώντας την τρέχουσα κατάσταση προόδου των σχετικών δορυφορικών συνιστωσών.
- Μεγιστοποίηση της απόδοσης ισχύος στους δορυφόρους του Galileo.
- Ελαχιστοποίηση του επιπέδου παρέμβασης που προκαλείται από τα σήματα του Galileo στους δέκτες GPS.
- Βελτιστοποίηση της απόδοσης και της σχετικής πολυπλοκότητας των μελλοντικών δεκτών των χρηστών του Galileo.

Οι ακόλουθες υποενότητες περιγράφουν τη διαμόρφωση που επιλέγεται για κάθε φέρουσα συχνότητα του Galileo. Για τη E5 ζώνη ειδικότερα, η ανάλυση ανταλλαγής (trade off) συνεχίζεται. Συνεπώς, θα περιγράψουμε τις δύο εναλλακτικές λύσεις υπό εξέταση.

Οι κύριες παράμετροι διαμόρφωσης για τα σήματα του Galileo συνοψίζονται στον Πίνακα 1, ενώ για τις επόμενες εξισώσεις 1-3 έχουμε τις σημειώσεις:

- $C_x^y(t)$  είναι ο κυμαινόμενος κώδικας στο κανάλι Y (η παράμετρος “Y” αντιστοιχεί στα I ή Q για τα two-channel σήματα, ή στα A,B ή C για τα three-channel σήματα) της φέρουσας συχνότητας X (η “X” αντιστοιχεί στα E5a, E5b, E6 ή L1).
- $D_x^y(t)$  είναι το σήμα data στο κανάλι Y στη ζώνη συχνότητας X.
- $F_x$  είναι η φέρουσα συχνότητα στη ζώνη συχνότητας X.

- $U_X^y(t)$  είναι η ορθογώνια υποφέρουσα στο κανάλι Y στη ζώνη συχνότητας X.
- m είναι δείκτης διαμόρφωσης, που συνδέεται με την τροποποιημένη διαμόρφωση Hexaphase.

### Διαμόρφωση της φέρουσας E5

Η διαμόρφωση E5 θα γίνει σύμφωνα με ένα από τα ακόλουθα σχέδια:

- Περίπτωση A: Δύο QPSK (10) σήματα θα παραχθούν με συνοχή και διαβιβασθούν μέσω δύο χωριστών καναλιών ευρείας ζώνης στην E5a και E5b αντίστοιχα. Τα δύο χωριστά E5a και E5b σήματα θα ενισχυθούν χωριστά και θα συνδυαστούν στο RF μέσω ενός output πολυπλέκτη (OMUX) πριν από τη μετάδοση στις αντίστοιχες φέρουσες συχνότητες των 1176.45 MHz και 1207.14 MHz. Στην περίπτωση A το E5 σήμα μπορεί να γραφτεί ως εξίσωση 1.

$$S_{E5}(t) = (C_{E5a}^I(t)D_{E5a}^I(t)\cos(2\pi F_{E5a}t) - C_{E5a}^Q(t)\sin(2\pi F_{E5a}t)) \\ + (C_{E5b}^I(t)D_{E5b}^I(t)\cos(2\pi F_{E5b}t) - C_{E5b}^Q(t)\sin(2\pi F_{E5b}t))$$

- Περίπτωση B: Ένα ενιαίο ευρείας ζώνης σήμα που παρήχθη μετά από μια τροποποιημένη διαμόρφωση BOC (δυναδικής αντισταθμισμένης φέρουσας-Binary Offset Carrier) την αποκαλούμενη (15,10) AltBOC διαμόρφωση. Οι συνιστώσες  $f_s$  και  $f_c$ , δείχνουν τη συχνότητα υποφέρουσας ( $f_s$ ) και το ποσοστό κώδικα ( $f_c$ ). Αυτό το σήμα, έπειτα, ενισχύεται μέσω ενός ενισχυτή ευρείας ζώνης πριν από τη μετάδοση σε φέρουσα συχνότητα 1191.795 MHz. Η διαμόρφωση στην περίπτωση B είναι μια νέα έννοια διαμόρφωσης. Η πιο ενδιαφέρουσα πτυχή αυτής της έννοιας είναι ότι συνδυάζει τα δύο σήματα (E5a και E5b) σε ένα σύνθετο σταθερό σήμα envelope, το οποίο μπορεί έπειτα να εγχεθεί μέσω ενός ευρείας ζώνης καναλιού. Αυτό το ευρείας ζώνης σήμα μπορεί έπειτα να χρησιμοποιηθεί στους δέκτες.

Το εναλλακτικό σχέδιο διαμόρφωσης BOC είναι βασισμένο στην τυποποιημένη διαμόρφωση BOC. Η τυποποιημένη διαμόρφωση BOC είναι μια τετραγωνική διαμόρφωση υποφερουσών στην οποία το σήμα πολλαπλασιάζεται με την ορθογώνια υποφέρουσα της συχνότητας  $f_s$ , η οποία χωρίζει το φάσμα του σήματος σε δύο μέρη που βρίσκονται στην αριστερή και δεξιά πλευρά της φέρουσας συχνότητας. Το εναλλακτικό σχέδιο διαμόρφωσης BOC (AltBOC) στοχεύει στην παραγωγή ενός ενιαίου σήματος υποφερουσών υιοθετώντας μια κωδικοποίηση πηγής παρόμοια με αυτήν που περιλαμβάνεται στο τυποποιημένο BOC. Η διαδικασία επιτρέπει να κρατήσει την απλότητα της εφαρμογής BOC και έναν σταθερό envelope επιτρέποντας να διαφοροποιήσει το λοβό.

Οι ανταλλαγές εφαρμογής και η σύγκριση απόδοσης μεταξύ της επεξεργασίας μιας πολύ ευρείας ζώνης BOC (15,10) και της κοινής επεξεργασίας δύο χωριστών σημάτων QPSK 10 Mcps σε E5a και E5b βρίσκονται σε εξέλιξη.

### Διαμόρφωση της φέρουσας E6

Το E6 σήμα περιέχει τρία κανάλια που διαβιβάζονται στην ίδια E6 συχνότητα φέρουσας. Το σχέδιο πολυπλεξίας μεταξύ των τριών καναλιών είναι ένα σημαντικό σημείο υπό εξέταση σήμερα, το οποίο θα βελτιστοποιηθεί προσεκτικά. Αυτή η διαδικασία βελτιστοποίησης θα λάβει υπόψη την πολυπλοκότητα της εφαρμογής των εννοιών διαμόρφωσης στο δορυφορικό ωφέλιμο φορτίο (payload) και στους δέκτες καθώς επίσης και τη σχετική απόδοση (περιλαμβανομένων των πτυχών συμβατότητας). Οι ερευνημένες λύσεις είναι η πολυπλεξία στο χρόνο και μια τροποποιημένη διαμόρφωση hexaphase (ή interplex διαμόρφωση), όπου το τροποποιημένο hexaphase λαμβάνεται ως βασική γραμμή .

Για την τροποποιημένη διαμόρφωση hexaphase, ένα σήμα QPSK ως αποτέλεσμα του συνδυασμού δύο καναλιών είναι η φάση που διαμορφώνεται με το τρίτο κανάλι, με έναν δείκτη διαμόρφωσης που χρησιμοποιείται για να θέσει τη σχετική δύναμη μεταξύ των τριών καναλιών. Με αυτήν την τρέχουσα υπόθεση, το E6 σήμα μπορεί να γραφτεί ως εξίσωση 2.

$$S_{E6}(t) = (C_{E6}^A(t)D_{E6}^A(t)U_{E6}^A(t)\cos m - C_{E6}^C(t)\sin m)\cos(2\pi F_{E6}t) - (C_{E6}^B(t)D_{E6}^B(t)\cos m + C_{E6}^A(t)D_{E6}^A(t)U_{E6}^A(t)C_{E6}^B(t)D_{E6}^B(t)C_{E6}^C(t)\sin m)\sin(2\pi F_{E6}t)$$

Για να είναι σύμφωνος με τη σχετική ισχύ που απαιτείται μεταξύ των τριών καναλιών, μια αξία του m ίση με 5 0.6155 έχει επιλεγεί για το δείκτη διαμόρφωσης.

#### **Διαμόρφωση της φέρουσας E2-L1-E1**

Με τον ίδιο τρόπο όπως το E6 σήμα, το L1 σήμα περιέχει τρία κανάλια που διαβιβάζονται στην ίδια L1 φέρουσας συχνότητας χρησιμοποιώντας μια τροποποιημένη διαμόρφωση hexaphase. Η πολυπλεξία στο χρόνο αναλύεται επίσης.

Με την τροποποιημένη, βασισμένη στο Hexaphase, λύση, το σήμα E2-L1-E1 μπορεί να γραφτεί ως εξίσωση 3. Ο δείκτης διαμόρφωσης m είναι ίσος και σ' αυτή τη περίπτωση με 50.6155.

$$S_{L1}(t) = (C_{L1}^A(t)D_{L1}^A(t)U_{L1}^A(t)\cos m - C_{L1}^C(t)U_{L1}^{B,C}(t)\sin m)\cos(2\pi F_{L1}t) - (C_{L1}^B(t)D_{L1}^B(t)U_{L1}^{B,C}(t)\cos m + C_{L1}^A(t)D_{L1}^A(t)U_{L1}^A(t)C_{L1}^B(t)D_{L1}^B(t)C_{L1}^C(t)\sin m)\sin(2\pi F_{L1}t)$$

#### **4.6.5 Διαδιδόμενοι κώδικες (Spreading code)**

Εκτός από τις φέρουσες συχνότητες και τα σχέδια διαμόρφωσης, και οι ψευδοτυχαίες ακολουθίες κώδικα θορύβου (Pseudorandom Noise -PRN), που χρησιμοποιούνται για τα σήματα ναυσιπλοΐας του Galileo, καθορίζουν τις σημαντικές ιδιότητες του συστήματος. Επομένως, το σχέδιο σημάτων χρειάζεται μια προσεκτική επιλογή των παραμέτρων του σχεδίου κώδικα του Galileo. Αυτές οι παράμετροι περιλαμβάνουν το μήκος κώδικα και τη σχέση του με το data rate καθώς επίσης και τις αυτόματες -και συσχετιζόμενες -ιδιότητες του κώδικα ακολουθιών. Οι cold-start χρόνοι κτήσης (acquisition time) βοηθούν επίσης στο να χαρακτηρίσουμε την απόδοση των κωδίκων του Galileo. Η πρόταση STF διατηρεί ένα πρώτο σύνολο κωδίκων αναφοράς που προσφέρουν έναν συμβιβασμό μεταξύ του χρόνου κτήσης και



της προστασίας ενάντια στην παρέμβαση. Αυτοί οι κώδικες είναι βασισμένοι στους κώδικες μετατόπισης-καταχώρησης, οι οποίοι θα παραχθούν εν πλώ.

Οι κυμαινόμενοι κώδικες αναφοράς είναι κατασκευασμένοι-τοποθετημένοι στη σειρά κώδικες, που αποτελούνται από έναν σύντομο αρχικό κώδικα διάρκειας που διαμορφώνεται από έναν μακροχρόνιο δευτεροβάθμιο κώδικα διάρκειας. Ο προκύπτων κώδικας έχει έπειτα μια ισοδύναμη διάρκεια ίση με έναν από τους μακροχρόνιους δευτεροβάθμιους κώδικες διάρκειας. Οι αρχικοί κώδικες είναι βασισμένοι στους κλασσικούς χρυσούς κώδικες με μήκος καταλόγων μέχρι 25. Οι δευτεροβάθμιοι κώδικες δίνονται από τις προκαθορισμένες ακολουθίες μήκους μέχρι 100.

Οι περαιτέρω εναλλακτικοί κώδικες ερευνώνται προς το παρόν και η ευελιξία στην εν πλώ εφαρμογή μελετάται για να προβλέψει την παραγωγή άλλων τύπων κωδίκων.

### Μήκος κώδικα(Code length)

Το μήκος κώδικα για τα κανάλια του Galileo, που φέρουν ένα μήνυμα data ναυσιπλοΐας, θα εγκατασταθεί μέσα σε ένα σύμβολο του κωδικοποιημένου Viterbi ρεύματος data μηνυμάτων προκειμένου να αποβληθεί η ασάφεια κώδικα. Τα προκύπτοντα μήκη κώδικα παρουσιάζονται στον ακόλουθο Πίνακα:

**TABLE 2** Spreading codes main characteristics

Channels	Types of data	Code sequence duration	Primary code length	Secondary code length
E5a <sub>I</sub>	OS	20 ms	10230	20
E5a <sub>Q</sub>	no data	100 ms	10230	100
E5b <sub>I</sub>	OS/CS/SoL	4 ms	10230	4
E5b <sub>Q</sub>	no data	100 ms	10230	100
E6 <sub>A</sub>	PRS	TBD	—	—
E6 <sub>B</sub>	CS	1 ms	5115	—
E6 <sub>C</sub>	no data	100 ms	10230	50
L1 <sub>A</sub>	PRS	TBD	—	—
L1 <sub>B</sub>	OS/CS/SoL	4 ms	8184	—
L1 <sub>C</sub>	no data	100 ms	8124	25

Για τα data-less κανάλια, η βασική προσέγγιση είναι να εξεταστούν οι μακροχρόνιοι κώδικες μήκους 100 ms. Εναλλακτικές λύσεις, εντούτοις, ερευνώνται. Η πρώτη εναλλακτική είναι να ακολουθηθεί μια προσέγγιση GPS L5 που αποτελείται από έναν σύντομο κώδικα μήκους 1ms. Η δεύτερη είναι να υπάρξει ένας πολύ πιο μακροχρόνιος κώδικας, ο οποίος θα μπορούσε να έχει διάρκεια 0,75 sec ,όπως στην περίπτωση του L2 αστικού σήματος. Ειδικά στην περίπτωση E5a και E5b θα ήταν χρήσιμο να καθοριστεί το data-less μήκος κώδικα αναλύοντας την ευαισθησία ενάντια στην τοπική παρέμβαση.

### Auto- and Cross-Correlation

Οι ιδιότητες συσχέτισης (παρέμβασης) καθορίζονται εν μέρει από τον πραγματικό κώδικα ακολουθιών. Ειδικά για την E5a, η προσεκτική επιλογή κώδικα είναι απαραίτητη επειδή σε

αυτήν, η ζώνη συχνότητας του Galileo και το GPS χρησιμοποιούν το ίδιο σχέδιο διαμόρφωσης και ποσοστό κώδικα (code rate).

#### Χρόνος κτήσης (Acquisition Time)

Ο χρόνος κτήσης εξαρτάται πρώτιστα από την εφαρμοσμένη τεχνική κτήσης δεκτών, αλλά αναμένεται γενικά να είναι 30 –50 δευτερόλεπτα για την κτήση cold-start για τους απλούς δέκτες χρησιμοποιώντας E5 ή E2-L1-E1 σήμα και 30 δευτερόλεπτα χρησιμοποιώντας E6 σε ένα προϊόν ενιαίας-συχνότητας. Επίσης, η απόδοση του χρόνου κτήσης είναι κατά ένα μεγάλο μέρος μια λειτουργία του σχεδιασμού δεκτών –παραδείγματος χάριν, ενιαίας συχνότητας (single frequency) εναντίον πολυσυχνотικού (multifrequency) -και των σχετικών επιπτώσεων δαπανών.

#### 4.6.6 Κρυπτογράφηση

\_\_\_ Η απλή, ανέξοδη κρυπτογράφηση κώδικα, που μπορεί να αφαιρεθεί κατόπιν αιτήσεως από το έδαφος, προβλέπεται για το κρυπτογραφημένο CS .Η κρυπτογράφηση κώδικα πρέπει να πραγματοποιηθεί ως τεχνική ελέγχου πρόσβασης του κώδικα και των data χωρίς επιβολή πολλών περιορισμών και προσπαθειών στο τμήμα χρηστών. Η αφαίρεση της κρυπτογράφησης δεν πρέπει να δημιουργεί μια ‘κληρονομιά επικάλυψης’(legacy mantle) στο τμήμα χρηστών. Επίσης, η πολυπλοκότητα της κρυπτογράφησης πρέπει να προκύψει από μια επαρκή προστασία που απαιτείται για την εξασφάλιση των αγορών CS.

#### Χαρτογράφηση υπηρεσιών στα σήματα(Service Mapping on Signals)

Οι φέρουσες data θα εκχωρηθούν για να παρέχουν τις ακόλουθες κατηγορίες υπηρεσιών που συνοψίζονται στον επόμενο Πίνακα:

	OS SF	OS DF	OS IA	OS SoL	CS VA	CS MC	PRS
E5 <sub>a</sub> <sub>I,Q</sub>		■	■	■		■	
E5 <sub>b</sub> <sub>I,Q</sub>			■	■		■	
E6 <sub>A</sub>							■
E6 <sub>B,C</sub>					■	■	
L1 <sub>A</sub>							■
L1 <sub>B,C</sub>	■	■	■	■	■	■	

CS = Commercial Service  
 DF = Dual Frequency Receiver  
 IA = Improved Accuracy Receiver  
 MC = Multiple Carrier Receiver  
 OS = Open Service  
 PRS = Public Regulated Service  
 SoL = Safety of Life Service  
 SF = Single Frequency Receiver  
 VA = Value Added

✓ Τα OS σήματα θα χρησιμοποιούν κυμαινόμενους κώδικες και data μηνύματα ναυσιπλοΐας πάνω στις φέρουσες E5 και E2-L1-E1.

✓Ένας ενιαίος δέκτης συχνότητας (SF) χρησιμοποιεί τα σήματα E2-L1-E1<sub>B</sub> και E2-L1-E<sub>C</sub> και πιθανόν να λάβει το σήμα GPS C/A κώδικα στην L1.

✓Ένας διπλός δέκτης συχνότητας (DF) χρησιμοποιεί πρόσθετα το σήμα E5aI και E5a<sub>Q</sub> και ενδεχομένως το σήμα GPS L5. Οι βελτιωμένης ακρίβειας δέκτες (Improved accuracy-IA) θα μπορούσαν επίσης να χρησιμοποιήσουν τα σήματα E5bI και E5b<sub>Q</sub>.

Η υπηρεσία SoL θα χρησιμοποιεί τα μηνύματα κυμαινόμενων κωδίκων OS και τα data ναυσιπλοΐας σε όλες τις φέρουσες E5 και E2-L1-E1. Τα Value Added σήματα CS (VA) θα χρησιμοποιούν τους κυμαινόμενους κώδικες OS και data μηνύματα ναυσιπλοΐας στο σήμα E2-L1-E1<sub>B</sub> και E2-L1-E1<sub>C</sub> καθώς επίσης και πρόσθετα κρυπτογραφημένα CS data μηνύματα και τους κυμαινόμενους κώδικες στο σήμα E6<sub>B</sub> και E6<sub>C</sub>. Εκτός από αυτά τα σήματα, το Multi-Carrier (MC) Differential Application CS θα μπορεί να χρησιμοποιεί τα μηνύματα κυμαινόμενων κωδίκων OS και data ναυσιπλοΐας που φέρονται στα E5a και E5b σήματα.

Τα prs σήματα θα χρησιμοποιούν τα κρυπτογραφημένα prs μηνύματα κυμαινόμενων κωδίκων και data ναυσιπλοΐας στα φέροντα E6 και E2-L1-E1, που αντιπροσωπεύονται από τα σήματα E6<sub>A</sub> και E2-L1-E1<sub>A</sub>.

#### **Ικανότητα SAR του Galileo**

Τα μηνύματα κινδύνου SAR (από τα αναγνωριστικά σήματα που εκπέμπουν τις κλήσεις στους χειριστές SAR) θα ανιχνευθούν από τους δορυφόρους του Galileo στη 406-406.1 MHz ζώνη και έπειτα θα αναμεταδοθούν στους επίγειους σταθμούς στη ζώνη 1544-1545 MHz, την αποκαλούμενη L6 (κάτω από τη E2 ζώνη ναυσιπλοΐας και εφεδρικά για τις υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης). Τα data επιστροφής SAR (από τους χειριστές SAR στα εκπεμπόμενα σήματα κινδύνου) που χρησιμοποιούνται για την αναγνώριση συναγερμών κινδύνου και το συντονισμό των ομάδων διάσωσης, θα ενσωματωθούν στα OS data του σήματος που διαβιβάζεται στη συχνότητα μεταφορέων E2-L1-E1.

#### **4.6.7 Παράμετροι απόδοσης (performance parameters)**

Η γενική αξιολόγηση της απόδοσης των σημάτων του Galileo είναι αυτήν την περίοδο υπό έρευνα. Σημαντικές διαφορές μεταξύ των σημάτων του Galileo και των, αυτήν την περίοδο, διαβιβασθέντων σημάτων GPS περιλαμβάνουν:

1. το σχέδιο διαμόρφωσης BOC (αντίστοιχα AltBOC) και
2. το μεγάλο εύρος ζώνης που υιοθετούνται για τα περισσότερα από τα σήματα.

Σε αυτό το πλαίσιο, μια σημαντική παράμετρος προέρχεται από το λάθος μέτρησης του pseudorange κώδικα που προκαλείται από το θερμικό θόρυβο.

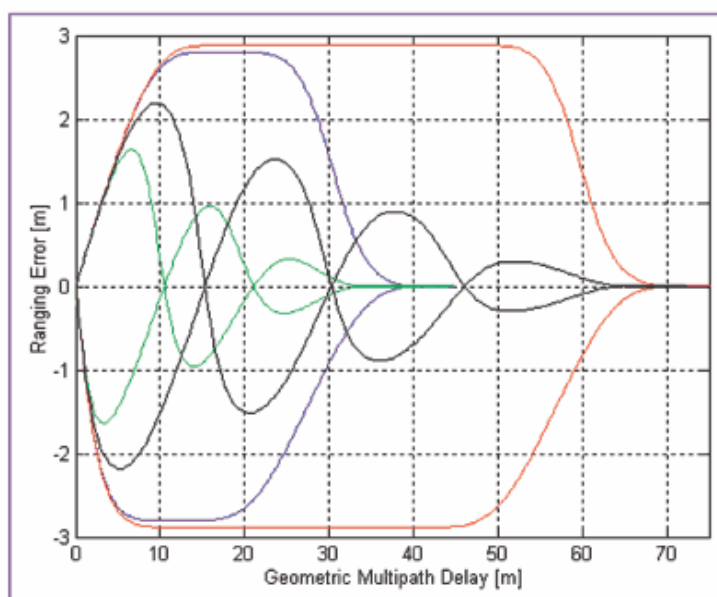
Ο πίνακας 4 παρουσιάζει το χαμηλότερο όριο Cramer-Rao για αυτήν την τιμή όλων των σημάτων του Galileo, όπως επίσης και των σημάτων GPS C/A και L5.

**TABLE 4** Code accuracy due to thermal noise

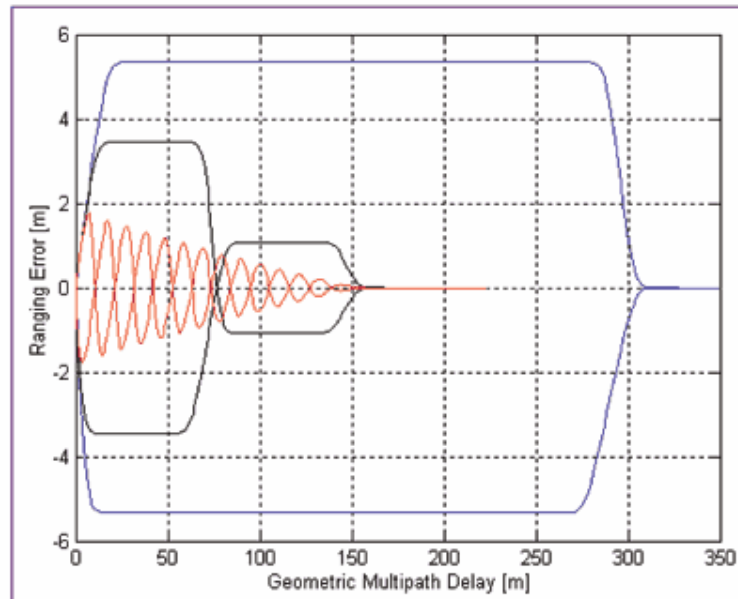
Processed signals	Modulation	Power [dBW]	Bandwidth [MHz]	Code noise [cm]
E5a or E5b	BPSK(10)	-155	24	4.6
E5a + E5b, non-coh.	BPSK(10)	-152	24	3.2
E5a + E5b, coh.	BOC(15,10)	-152	51	0.8
E6 <sub>A</sub>	BOC(10,5)	-155	40	1.7
E6 <sub>B</sub> + E6 <sub>C</sub>	BPSK(5)	-155	24	6.2
L1 <sub>A</sub>	BOC(14,2)	-155	32	1.2
L1 <sub>B</sub> + L1 <sub>C</sub>	BOC(2,2)	-155	24	5.5
GPS C/A	BPSK(1)	-160	24	23.9
GPS L5	BPSK(10)	-154	24	4.1

Υποθέτοντας εύρος 1 Hz ενός δέκτη delay-lock loop (DLL), χρησιμοποιήσαμε μια αξία  $-205$  dBWs για να μετατρέψουμε την ελάχιστη λαμβανόμενη ισχύ σε μια χαρακτηριστική τιμή πυκνότητας carrier-to-noise (c/n). Η ισχύς των επεξεργασμένων σημάτων σε μια συχνότητα και η υπηρεσία (δηλαδή data και πειραματικά κανάλια) συνδυάζονται.

Ο πίνακας 4 αποκαλύπτει ότι τα σήματα BOC παρουσιάζουν χαμηλά λάθη μέτρησης pseudorange κώδικα επειδή η φασματική πυκνότητα ισχύος βρίσκεται στο χαμηλότερο και ανώτερο όριο του φάσματος συχνότητας και όχι στο κέντρο, δεδομένου ότι είναι για τα σήματα BPSK ή QPSK. Τα αποτελέσματα επίσης υπονοούν ότι η λειτουργία αυτοσυσχέτισης των σημάτων BOC παρουσιάζει πολλαπλάσια μέγιστα(peaks), το οποίο απαιτεί την εφαρμογή κατάλληλων αλγορίθμων σε έναν δέκτη για να ακολουθήσει το σωστό (κεντρικό) peak. Τα μεγάλα εύρη ζώνης σήματα επιτρέπουν τη χρήση ενός πολύ στενού διαστήματος συσχέτισης. Ο χαμηλός θερμικός θόρυβος και ο χαμηλός κώδικας πολλαπλών διαδρομών είναι τα προκύπτοντα οφέλη. Οι πολλαπλών διαδρομών envelopes κώδικα διαφέρουν σημαντικά για τα σήματα BOC και BPSK, όπως φαίνεται στα σχήματα 2 και 3, αντίστοιχα.



**FIGURE 2** Multipath error envelope green: BOC(15,10), black: BOC(10,5), blue: BPSK(10), red: BPSK(5)



**FIGURE 3** Multipath error envelope  
black: BOC(2,2), red: BOC(14,2), blue: BPSK(1)

Αυτοί οι δύο αριθμοί χρησιμοποιούν έναν συνεπή early-minus-late διευκρινιστή κώδικα με ένα κοινό διάστημα διευκρινιστών  $d$  ίσο με  $5 \frac{1}{14}$  για να επιτρέψουν τις οπτικές συγκρίσεις όλων των σημάτων και για να ακολουθήσουν το κεντρικό peak του σήματος BOC (14,2). Η πολλαπλών διαδρομών ισχύς σημάτων είναι 23 db πλιό αδύνατη από το άμεσο σήμα (όταν τα χαρακτηριστικά εύρη των πολλαπλών διαδρομών κυμαίνονται μεταξύ 27 και 210 db).

Οι αριθμοί δείχνουν ότι οι αποδόσεις των πολλαπλών διαδρομών των σημάτων BOC είναι γενικά καλύτερες απ'ό,τι για τα σήματα BPSK, αλλά οι λεπτομερείς έρευνες που λαμβάνουν υπόψη τους αλγορίθμους μετριάσμου πολλαπλών διαδρομών και τα σενάρια πολλαπλών διαδρομών θα παράσχουν ακριβέστερη εικόνα.

Το tracking του E5a και E5b οδηγεί σε ένα εξαιρετικά χαμηλό λάθος tracking κώδικα λόγω του θερμικού θορύβου (βλ. τη γραμμή 3 πίνακα 4) και καλής πολλαπλών διαδρομών εκτέλεσης μετριάσμου. Εάν το E5a και E5b ακολουθούνται χωριστά (με μη-συνοχή) ως σήματα QPSK (10) και συνδυάζονται μετά από το συσχετισμό (δηλαδή υπολογίζοντας κατά μέσο όρο τις pseudoranges των E5a και E5b), το κέρδος απόδοσης είναι πολύ λιγότερο (βλέπε γραμμή 2 του πίνακα 4).

#### 4.6.8 Πρόσφατες μελέτες παρέμβασης

Οι υπηρεσίες αεροναυτικής ραδιοπλοήγησης χρησιμοποιούν το φάσμα συχνότητας 960-1215 MHz, που περιέχει το χαμηλότερο L-band E5a και E5b, το οποίο χρησιμοποιείται σε παγκόσμια βάση στις αερομεταφερόμενες ηλεκτρονικές ενισχύσεις στην αεροπλοΐα και σε οποιοσδήποτε άμεσα σχετικές επίγειες εγκαταστάσεις και, σε αρχική βάση, στις δορυφορικές υπηρεσίες ραδιοπλοήγησης. Αυτή η πολλαπλάσια κατανομή προκαλεί παρεμβολή, η οποία πρέπει να

αξιολογηθεί προσεκτικά για να επιτρέψει τη χρήση των σημάτων ναυσιπλοΐας GPS/Galileo για την ασφάλεια-κρίσιμων εφαρμογών.

Οι έρευνες έχουν μελετήσει τα αποτελέσματα της παρεμβολής από τα DME/TACAN, JTIDS/MIDS, και την εκτός ζώνης ακτινοβολία των ραντάρ στα L5, E5a και E5b για αρκετά έτη. Η παρεμβολή λόγω αυτών των επίγειων πηγών αυξάνεται με το ύψος, επειδή λαμβάνονται περισσότερα σήματα παρεμβολής. Η πιο ευαίσθητη παράμετρος σε αυτό το πλαίσιο είναι το περιορισμένο κατώφλι κατώτατων ορίων κτήσης, παραδείγματος χάριν, 5,8 db για το GPS L5, 4.8 db για το Galileo E5a, και 3,3 db για το E5b. Οι τιμές του tracking threshold και data demodulation threshold είναι μερικά decibels υψηλότερα. Στον καθορισμό των περιθωρίων, οι ερευνητές υπέθεσαν τη χρήση ενός τυποποιημένου δέκτη απαλοιφής σφυγμού χρονικών περιοχών (time domain pulse blanking receiver) και προώθησαν την επεξεργασία σήματος. Πρέπει να σημειώσουμε ότι, σε αντίθεση με τις Ηνωμένες Πολιτείες, η Ευρώπη δεν προγραμματίζει αυτήν την περίοδο να αναδιανείμει ορισμένα DMEs για να παρακάμψει αυτό το πρόβλημα.

#### **4.6.9 Συμβατότητα, διαλειτουργικότητα**

Το Galileo θα σχεδιαστεί και θα αναπτυχθεί χρησιμοποιώντας το χρόνο, τη γεωδαισία, και τα πρότυπα σημάτων-δομών διαλειτουργικά και συμβατά με το αστικό GPS και τις αυξήσεις του. Σε αυτό το πλαίσιο, η συμβατότητα υπονοεί ότι το Galileo ή το GPS δεν θα υποβιβάσει την αυτόνομη υπηρεσία του άλλου συστήματος. Η διαλειτουργικότητα αναφέρεται στη δυνατότητα για συνδυασμένη χρήση και των δύο GNSS για βελτιώσεις επάνω στην ακρίβεια, στην ακεραιότητα, στη διαθεσιμότητα, και στην αξιοπιστία μέσω της χρήσης ενός ενιαίου, κοινού σχεδίου δεκτών.

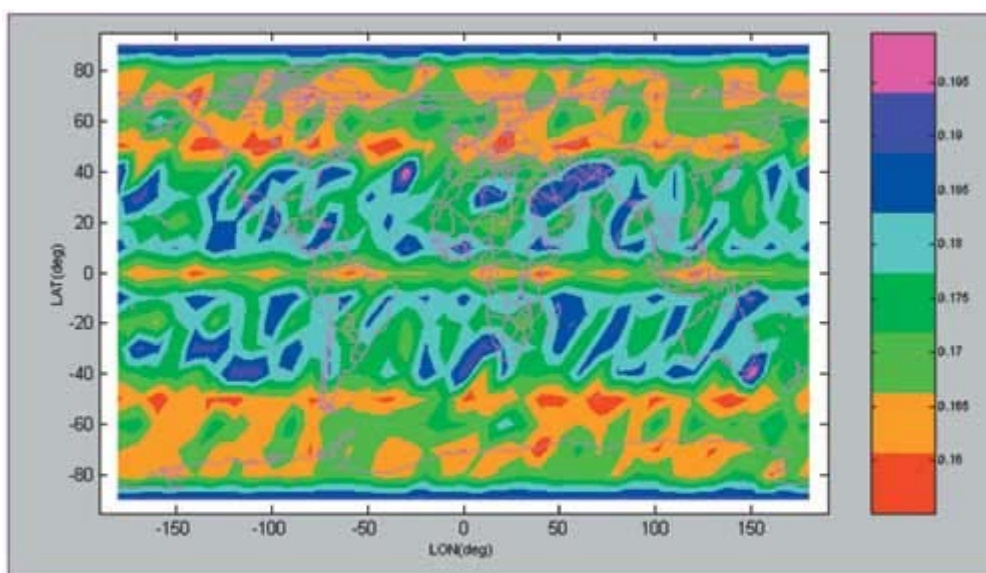
#### **4.6.10 Σήμα στο διάστημα**

Η διαλειτουργικότητα του Galileo/GPS πραγματοποιείται από μια μερική επικάλυψη συχνότητας με διαφορετικές δομές σημάτων ή/και διαφορετικές ακολουθίες κώδικα. Στα E5a (που αντιστοιχούν L5) και E2-L1-E1 (ή L1), τα σήματα του Galileo και του GPS διαβιβάζονται χρησιμοποιώντας τις ίδιες φέρουσες συχνότητες. Στην L1 ο φασματικός διαχωρισμός των σημάτων του GPS και του Galileo ολοκληρώνεται μέσω διαφορετικών σχεδίων διαμόρφωσης. Αυτό επιτρέπει το μπλοκάρισμα των αστικών σημάτων χωρίς επιρροή του M-κώδικα του GPS ή της υπηρεσίας prs του Galileo.

Η χρησιμοποίηση των ίδιων κεντρικών συχνοτήτων απλοποιεί δραστικά το προηγούμενο σχέδιο δεκτών με κόστος την αμοιβαία παρεμβολή και των δύο συστημάτων. Αυτή η αποκαλούμενη δια-συστημική παρεμβολή (inter-system interference) έρχεται επιλέον από την παρεμβολή των σημάτων ναυσιπλοΐας που ανήκουν στο ίδιο σύστημα, ή από την παρεμβολή

ενδό-συστημάτων. Για τον καθορισμό της απόδοσης των δεκτών είναι αναγκαίο να λάβουμε υπόψιν μας το άθροισμα και των δύο τύπων παρεμβολών.

Οι μελέτες έχουν δείξει ότι η C/N0 υποβάθμιση του κώδικα C/A των σημάτων GPS λόγω των σημάτων BOC (2,2) του Galileo δεν υπερβαίνει ποτέ τα 0,2 db. Για το Διεθνή Διαστημικό Σταθμό (International Space Station), είναι 0,22 db. Το σχήμα 4 δείχνει έναν παγκόσμιο χάρτη που παρουσιάζει τη μέγιστη δια-συστημική C/N0 υποβάθμιση ως λειτουργία των γεωγραφικών συντεταγμένων.



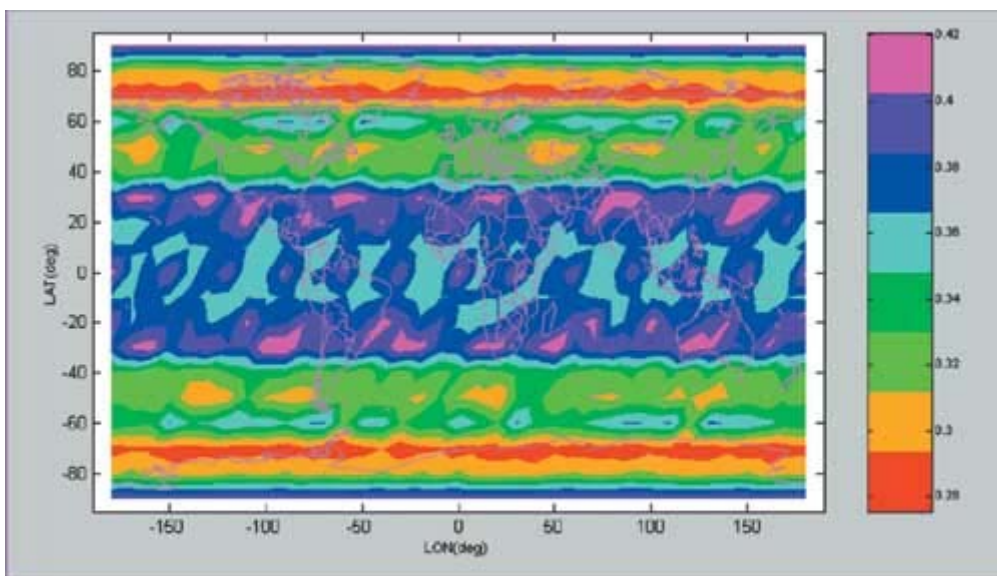
**FIGURE 4** Maximum GPS C/A code C/N0 degradation in [dB] due to inter-system interference from a Galileo BOC(2,2) signal on E2-L1-E1

Η μέγιστη ενδο-συστημική παρεμβολή από την οποία 'υποφέρουν' οι C/A κώδικες GPS είναι κάτω από 2,7db και πολύ υψηλότερη από την πιθανή διασυστημική παρέμβαση από τα σήματα του Galileo.

Η μέγιστη δια-συστημική παρεμβολή (0,2 db) δεν εμφανίζεται συγχρόνως ούτε στο ίδιο διάστημα με τη μέγιστη ενδο-συστημική παρεμβολή. Αντιθέτως, η μέγιστη ενδο-συστημική παρεμβολή επιτυγχάνεται όταν η δια-συστημική παρεμβολή είναι ελάχιστη. Το μέγιστο σύνολο (ενδο-συστημική συν δια-συστημική) αποδεικνύεται ότι είναι ελαφρώς επάνω από 2,7 db, το οποίο παράγει στη χειρότερη περίπτωση μια υποβάθμιση μόνο 0,05 db λόγω της επίδρασης των σημάτων του Galileo στον τρέχοντα GPS C/A κώδικα. (Με την τροποποίηση του αστερισμού GPS -αριθμός δορυφόρων και ισχύς - αυτή η αξία μπόρεσε να πάει μέχρι και τα 0,08 db.)

Η υποβάθμιση του C/A λόγω άλλων σημάτων του Galileo είναι πολύ λιγότερη απ' ό,τι για το σήμα BOC(2,2). Επομένως, υπάρχει μια υψηλή πεποίθηση ότι κανένας χρήστης GPS δεν θα επηρεαστεί από την παρεμβολή που προέρχεται από την επικάλυψη των σημάτων του Galileo στην L1.

Στα E5a και L5 η δια-συστημική παρέμβαση είναι γενικά υψηλότερη, επειδή μπορεί να χρησιμοποιηθούν τα ίδια σχέδια διαμόρφωσης, όπως φαίνεται στο επόμενο σχήμα:



**FIGURE 5** Maximum GPS L5 C/N0 degradation in [dB] due to inter-system interference from Galileo E5a

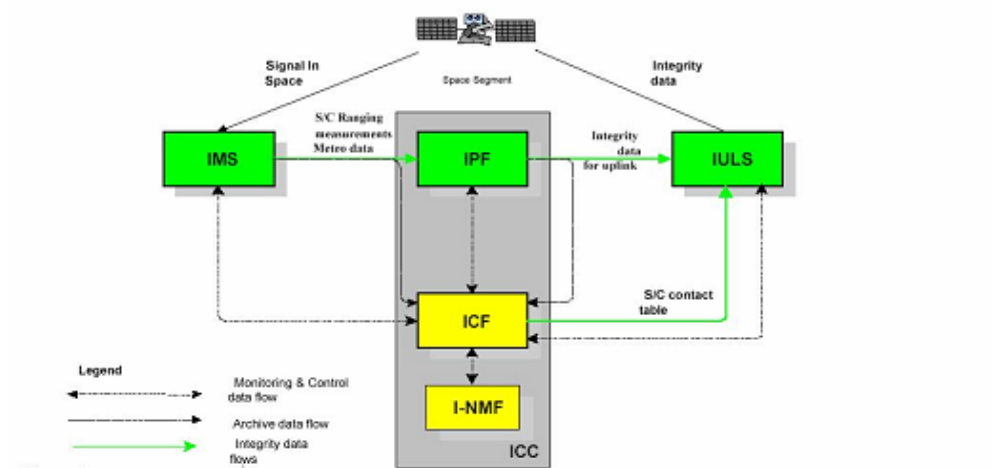
Ερευνήσαμε επίσης την υποβάθμιση των σημάτων του Galileo λόγω των σημάτων GPS και έχουμε συνοψίσει τα αποτελέσματα στον Πίνακα 5:

**TABLE 5** Reciprocal level of interference (worst case link budget degradation / inter-system C/N0 degradation)

Frequency band	GPS-induced interference on Galileo	Galileo-induced interference on GPS
L1	0.03 dB/0.09 dB	0.05 dB/0.2 dB
E5a/L5	0.5 dB/0.8 dB	0.2 dB/0.4 dB

Αυτή η έρευνα δείχνει ότι τα αμοιβαία επίπεδα παρεμβολής είναι πολύ χαμηλά στην L1, αλλά σημαντικότερα στην E5a/L5. Η παρεμβολή DME στις E5a και L5 αφήνει μόνο ένα μικρό περιθώριο στους χρήστες πολιτικής αεροπορίας στα υψηλά ύψη, ειδικά πέρα από την Ευρώπη όπου καμία αναδιανομή DME δεν προγραμματίζεται. Επομένως, η υποβάθμιση του GPS στο Galileo στην E5a πρέπει να αξιολογηθεί προσεκτικά στις μελλοντικές εργασίες.

### European Integrity Diss. Segment





#### **4.6.11 Ισότιμο πλαίσιο αναφοράς**

Το ισότιμο σύστημα αναφοράς του Galileo θα υιοθετήσει τα διεθνή πολιτικά πρότυπα. Εντούτοις, η πραγματοποίηση της συντεταγμένης του Galileo και τα πλαίσια χρονικής αναφοράς πρέπει να βασιστούν σε διαφορετικούς γεωδαιτικούς σταθμούς και διαφορετικά ρολόγια αναφοράς, από εκείνα που χρησιμοποιούνται από το GPS. Αυτό θα εξασφαλίσει την ανεξαρτησία και «τρωτότητα» και των δύο συστημάτων, που επιτρέπουν στο ένα σύστημα να ενεργήσει ως εφεδρική λύση για το άλλο.

Το Επίγειο Πλαίσιο Αναφοράς του Galileo (Galileo Terrestrial Reference Frame-GTRF) θα είναι στην πραγματικότητα μια ανεξάρτητη πραγματοποίηση του Διεθνούς Επίγειου Συστήματος Αναφοράς (International Terrestrial Reference System-ITRS) που καθιερώνεται από το κεντρικό γραφείο της Διεθνούς Υπηρεσίας Γήινης Περιστροφής (International Earth Rotation Service-IERS). Το προκύπτον πλαίσιο αναφοράς είναι βασισμένο στις συντεταγμένες των επίγειων σταθμών του Galileo. Το GPS χρησιμοποιεί το WGS84 ως ισότιμο πλαίσιο αναφοράς, το οποίο είναι επίσης, μια πραγματοποίηση του ITRS (σχεδόν) που χρησιμοποιεί τις συντεταγμένες των σταθμών ελέγχου GPS. Οι διαφορές μεταξύ WGS84 και GTRF αναμένονται να είναι μόνο μερικά εκατοστόμετρα.

Συνεπώς, από την άποψη της διαλειτουργικότητας και των δύο συστημάτων GNSS, αυτό υπονοεί ότι WGS84 και GTRF θα έχουν σχεδόν την ίδια ακρίβεια διαθέσιμη και από τις δύο πραγματοποιήσεις ITRS (δηλαδή τα ισότιμα πλαίσια αναφοράς είναι συμβατά). Αυτή η ακρίβεια είναι ικανοποιητική για τη ναυσιπλοΐα και σε πολλές άλλες απαιτήσεις χρηστών.

Αν ήταν απαραίτητο, οι παράμετροι μετασχηματισμού θα μπορούσαν να παρασχεθούν από έναν εξωτερικό γεωδαιτικό φορέα παροχής υπηρεσιών αναφοράς του Galileo. Η τρέχουσα πρόταση STF δεν προβλέπει μια ανάγκη να τεθούν τέτοιες πληροφορίες στη broadcast μετάδοση data μηνυμάτων ναυσιπλοΐας από τους δορυφόρους του Galileo.

Ένα ισότιμο πλαίσιο αναφοράς πρέπει να ολοκληρωθεί από ένα πρότυπο γήινης βαρύτητας. Παραδείγματος χάριν, το WGS84 χρησιμοποιεί μια σφαιρική αρμονική επέκταση της δυνατότητας βαρύτητας μέχρι και 360 βαθμίδες. Για το Galileo ένα παρόμοιο πρότυπο πρέπει να εξεταστεί, και αναμένεται να βασιστεί στα αποτελέσματα των ευρωπαϊκών δορυφορικών αποστολών, των σχετικών με τη βαρύτητα, GOCE και CHAMP καθώς επίσης και την αμερικανική αποστολή, GRACE.

#### **4.6.12 Πλαίσιο χρονικής αναφοράς (Time Reference Frame)**

Ο χρόνος συστήματος του Galileo (Galileo System Time-GST) θα είναι ένα συνεχές ισότιμο χρονικό διάστημα που οδηγείται προς το Διεθνή Ατομικό Χρόνο (International Atomic Time-TAI) με ένα όψει λιγότερο των 33 νανοδευτερολέπτων. Τα όρια GST, που εκφράζονται ως ένα χρονικό όψει σχετικό με τον TAI, πρέπει να είναι 50 νανοδευτερόλεπτα για το 95 τοις

εκατό του χρόνου πέρα από οποιοδήποτε ετήσιο χρονικό διάστημα. Η διαφορά μεταξύ GST και TAI και μεταξύ GST και UTC (Pred) θα αναμεταδίδεται στους χρήστες μέσω του 'διαστημικού σήματος' κάθε υπηρεσίας του Galileo.

Το επίγειο τμήμα του Galileo θα ελέγχει το offset του GST, όσον αφορά το χρόνο συστήματος του GPS, και θα αναμεταδίδει τελικά το όφσσετ στους χρήστες. Το όφσσετ θα μπορούσε επίσης να υπολογιστεί στο δέκτη των χρηστών με "τα έξοδα" μόνο μιας δορυφορικής παρατήρησης. Η ακρίβεια της λύσης δεκτών θα ήταν πιθανώς υψηλότερη από αυτή που τελικά διαβιβάζεται. Κατά συνέπεια, μπορεί η αναμετάδοση να μην είναι απαραίτητη για το γενικό χρήστη ναυσιπλοΐας.

## 4.7 Απόδοση του Galileo

### 4.7.1 Διαλειτουργικότητα του GPS για αστικό και εσωτερικό περιβάλλον

Με μια ελεύθερη υπηρεσία GPS να ενσωματώνεται όλο και περισσότερο σε πολλά καταναλωτικά προϊόντα για να παρέχει πληροφορίες θέσης, το Galileo πρέπει να προσφέρει σαφή πλεονεκτήματα στους χρήστες για να καταστεί σημαντικό για τους κατασκευαστές ή τους φορείς παροχής υπηρεσιών να ενσωματώσουν το Galileo στα προϊόντα τους ή στις υπηρεσίες τους.

Προφανώς, η τοποθέτηση περισσότερων δορυφόρων σε τροχιά θα αυξήσει τον αριθμό ορατών δορυφόρων στους δέκτες των εκάστοτε χρηστών. Αυτό οδηγεί σε βελτίωση της ακρίβειας και της διαθεσιμότητας. Οι υπηρεσίες mass-market του Galileo, πρέπει να προσφέρουν την καλύτερη multipath απόδοση και τη συνεχή δυνατότητα χρησιμοποίησης παρά τα εμπόδια, που οδηγούν σε ενισχυμένη λειτουργία στα αστικά 'φαράγγια' (φαινόμενο Canyon) και σε εσωτερικούς χώρους, προκειμένου να παρουσιαστεί βελτίωση. Εξετάζονται τρία θέματα ειδικότερα:

- η επίδραση της αύξησης του αριθμού των ορατών δορυφόρων
- η προσομοίωση σημάτων και την απόδοση συστημάτων
- οι επιδράσεις στο ενδεχόμενο διείσδυσης στην αγορά.

Εστιάζουμε στα πρώτα δύο θέματα, εξετάζοντάς τα με τη βοήθεια των συσχετικών αναλύσεων της εφαρμοσμένης μηχανικής. Κατ' αρχάς, εξετάζεται μια ανάλυση διαμόρφωσης αστερισμού που θα βελτιστοποιήσει περαιτέρω την απόδοση ενός διαλειτουργικού Galileo, θεωρώντας έναν «Εξοχο Αστερισμό» (Super Constellation) του Galileo με το GPS, για την αστική λειτουργία πέρα από την Ευρώπη, στοχεύοντας σε μια ελάχιστου κόστους mass-market λύση.

Στη συνέχεια εξετάζεται η κατάρτιση και η χρήση ενός προτύπου διάδοσης σε αστικό περιβάλλον, χρησιμοποιώντας αντιπροσωπευτικά στοιχεία πόλεων που συνδέονται με μια γεωμετρική θεωρία επίλυσης της ηλεκτρομαγνητικής διάθλασης, και επίσης μια πραγματική εκστρατεία μέτρησης χρησιμοποιώντας το ηχητικό κανάλι για να ερευνησουμε τις ιδιότητες διάδοσης διάφορων αντιπροσωπευτικών περιοχών εσωτερικών χώρων. Χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα από τα πεδία διαμόρφωσης και μέτρησης, μέσα σε μια διαδικασία σύγκρισης σημάτων, για να εξεταστεί η acquisition και tracking απόδοση των δεκτών του GPS και του Galileo στο πλούσιο σε πολλαπλές διαδρομές αστικό φάραγγι και στα εσωτερικά περιβάλλοντα. Επίσης, πραγματοποιήθηκε μια περαιτέρω ανάλυση για να προβλεφθεί η πιθανή ακρίβεια και διαθεσιμότητα διάφορων σεναρίων του αστερισμού GPS και του Galileo.

Δύο ερωτήματα δημιουργήθηκαν, ποια θα είναι η πιθανή επίδραση που θα ασκούσε η αστική και εσωτερική απόδοση του Galileo στη "δυνατότητα χρησιμοποίησης" και στην εμπορευσιμότητα των GNSS, και πώς αυτό θα επιδρούσε στην δημόσια -ιδιωτική συνεργασία (Public-Private Partnership—PPP) για το Galileo.

#### **4.7.2 Δορυφορική ανάλυση διαφάνειας**

Μια επιθυμητή ιδιότητα του Galileo, για την επιτυχή διείσδυση του στις mass-market εφαρμογές, είναι αυτή της διαλειτουργικότητας με το GPS, και αντίστροφα. Ένας δέκτης πρέπει να είναι σε θέση να χρησιμοποιήσει οποιοδήποτε δορυφόρο από οποιοδήποτε αστερισμό για να συμβάλει στον τελικό προσδιορισμό θέσης. Αυτό ελαχιστοποιεί το "αστικό πρόβλημα φαράγγιων (urban canyon problem)" δηλαδή, την έλλειψη διαφάνειας των δορυφόρων στις οικιστικές περιοχές που οδηγούν σε αποτυχή ή μειωμένης ακρίβειας προσδιορισμό θέσης.

Εντούτοις, η διαλειτουργικότητα είναι μόνο ένας από τους οδηγούς σχεδίου που χρησιμοποιούνται για τον αστερισμό του Galileo - ειδικότερα, υπάρχει μια απαίτηση το Galileo να είναι σε θέση να παρέχει μερικές υπηρεσίες (όπως η αεροπορία) ανεξάρτητα από το GPS.

Οι υπηρεσίες mass-market, εντούτοις, δεν ενδιαφέρονται για την πολιτική της ανεξαρτησίας, και έτσι συμφωνήθηκε ότι το ήδη υπάρχον GPS θα διαμόρφωνε την αφετηρία οποιουδήποτε μελλοντικού δορυφορικού συστήματος ναυσιπλοΐας. Επομένως εξετάστηκε η απόδοση του τρέχοντος αστερισμού (28 δορυφόροι) του GPS, και ποσοτικοποιήθηκαν οι βελτιώσεις που εισάγει αν χρησιμοποιηθεί για το Galileo.

Οι χρήστες και οι φορείς παροχής υπηρεσιών ενδιαφέρονται περισσότερο για την οριζόντια ακρίβεια και διαθεσιμότητα μιας δεδομένης ακρίβειας. (Η οριζόντια ακρίβεια δίνεται από το προϊόν της οριζόντιας διάλυσης της ακρίβειας [horizontal dilution of precision- HDOP ] και του ισοδύναμου λάθους σειράς των χρηστών [user equivalent range error UERE ].) Οι mass-market χρήστες έχουν λιγότερο ενδιαφέρον για την κάθετη ακρίβεια, και κανένα ενδιαφέρον για την ακεραιότητα ή την ευθύνη (integrity or liability).

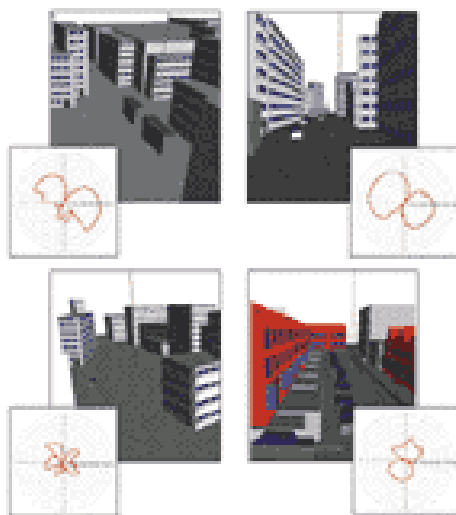
Η ανάλυση διευθύνθηκε χρησιμοποιώντας μια δορυφορική ακολουθία διαμόρφωσης τροχιάς, υποθέτοντας ένα πλέγμα των θέσεων δοκιμής που διανεμήθηκαν σε διαστήματα περίπου  $3^\circ$  πέρα από την Ευρώπη. Η HDOP είναι μια συνάρτηση του μεγέθους του αστερισμού σε σχέση με τις παραμέτρους της τροχιάς, έτσι η αύξηση του αριθμού των ορατών δορυφόρων βελτιώνει τις πιθανότητες να επιλεχτεί μια βέλτιστη ευθυγράμμιση, και οδηγεί σε μειωμένη HDOP. Εάν ο χρήστης εμποδίζεται να δει τον ουράνο, παραδείγματος χάριν, από τα κεντρικά κτήρια της πόλης, ένας μεγαλύτερος αστερισμός θα βελτιώνει την ελάχιστη επιτεύξιμη HDOP σε έναν δεδομένο περιορισμό ανύψωσης (mask angle).

Τρεις γωνίες μασκών (mask angles) χρησιμοποιήθηκαν στη HDOP ανάλυση και στην ανάλυση ακρίβειας της αστικής απόδοσης του GPS και του Galileo. "Τα στιγμιότυπα" λήφθηκαν (του αζιμουθίου εναντίον της μάσκας ανύψωσης), για τις διάφορες θέσεις δεκτών, σε ένα ηλεκτρομαγνητικό πρότυπο βασισμένο στο Piccadilly Circus, και αυτά χρησιμοποιήθηκαν για να καθορίσουν τους περιορισμούς οψής (view constraints) για τα σημεία στο πλέγμα δοκιμής.

Οι τρεις περιπτώσεις είναι:

- στη μέση μιας ευρείας διατομής (μέση γωνία μασκών περίπου  $22^\circ$ )
- σε μια οδό ανοικτή από τη μία πλευρά και περιέχοντας κτίρια από τέσσερις έως επτά ορόφους (μέση γωνία μασκών περίπου  $40^\circ$ )
- σε μια περιοχή περικυκλωμένη από κτίρια επτά-ορόφων (μέση γωνία μασκών περίπου  $45^\circ$ ).

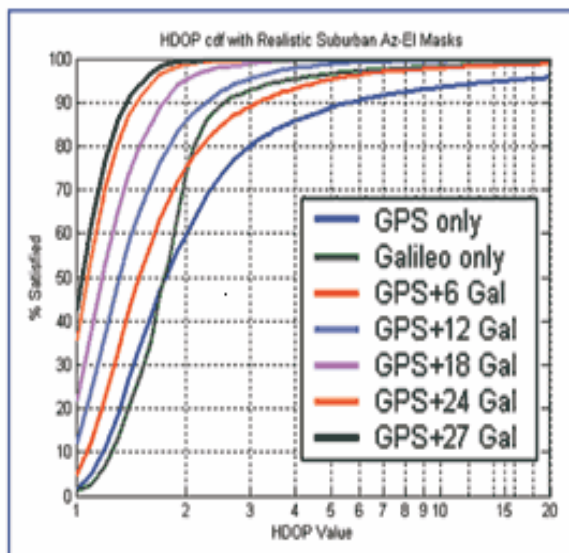
Η πρώτη περίπτωση, προσεγγίζει μια περιοχή με χαμηλής πυκνότητας κτίρια όπως μια κατοικημένη περιοχή. Το ακόλουθο σχήμα 1 παρουσιάζει τα σχεδιαγράμματα που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση HDOP.



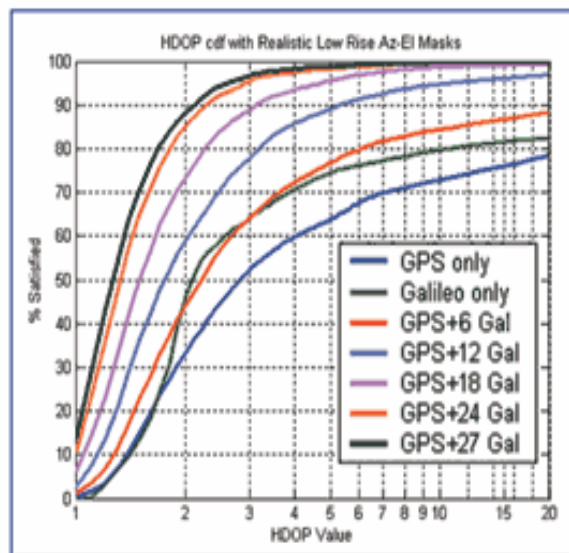
**Σχήμα 1:** Figures used for HDOP analysis. From top L to bottom R: low-rise, high-rise, comparison street, and suburban.

Τα σχήματα 2 και 3 παρουσιάζουν τη διαθεσιμότητα (στην κυριολεξία, το ποσοστό των περιπτώσεων όπου η HDOP έχει τιμή κάτω από ένα ορισμένο κατώφλι) για το GPS, το Galileo, και το GPS συν το Galileo στις αυξήσεις έξι δορυφόρων, μέσα σε suburban (προαστιακά) και

low-rise περιβάλλοντα. Το Galileo μόνο του, έχει καλύτερη απόδοση από το GPS (λόγω της υψηλότερης τροχιακής κλίσης), αλλά ιδιαίτερου ενδιαφέροντος είναι η απόδοση του super-constellation: το GPS + 6 δορυφόροι του Galileo βελτιώνουν τη διαθεσιμότητα της χαμηλής HDOP κατά περίπου 15%, με περαιτέρω βελτιώσεις όσο προστίθενται περισσότεροι δορυφόροι.

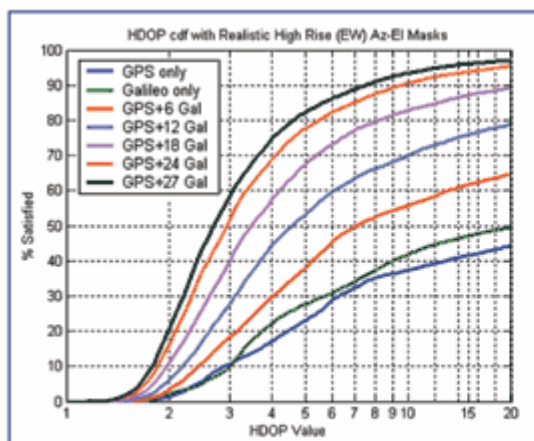


**FIGURE 2** HDOP availability: GPS+n Galileo, suburban

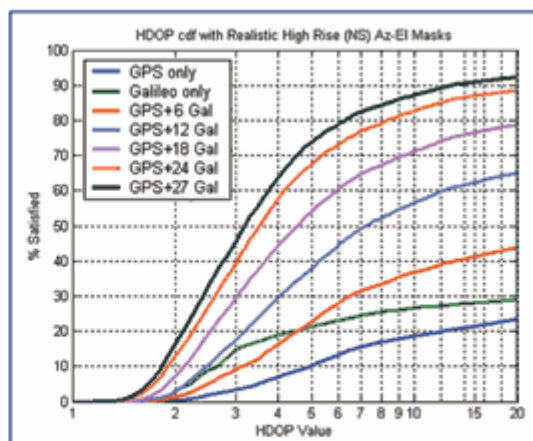


**FIGURE 3** HDOP availability: GPS+n Galileo, low-rise

Τα σχήματα 4 και 5 παρουσιάζουν την high-rise περίπτωση, αλλά με τον προσανατολισμό της οδού που περιστρέφεται από 90° μεταξύ των διαδοχικών προσομοιώσεων.



**FIGURE 4** HDOP availability: GPS+n Galileo, high-rise, East-West orientation



**FIGURE 5** HDOP availability: GPS+n Galileo, high-rise, North-South orientation

Γενικά, οι δορυφόροι στο Βορρά είναι ορατοί μόνο στις υψηλές γωνίες μασκών, ενώ εκείνοι στην ανατολή και τη δύση είναι σε μια σειρά γωνιών. Όταν η οδός είναι ευθυγραμμισμένη ως προς ανατολή –δύση, οι χαμηλότεροι δορυφόροι ανύψωσης γίνονται ορατοί και η HDOP βελτιώνεται. Η επίδραση της περιστροφής είναι να μεταβληθεί η διαθεσιμότητα κατά 5–10 τοις εκατό στη χαμηλή HDOP, και 10–15 τοις εκατό στη υψηλότερη HDOP.

Οι υπολογισμένες τιμές HDOP μπορούν να συνδυαστούν με ένα UERE, που προέρχεται από την ισοδύναμη αξία για την απόδοση GPS C/A κώδικα σήμερα και μειώνοντας το να επιτρέψουν διάφορες βελτιώσεις απόδοσης στο Galileo και στο εκσυγχρονισμένο GPS. Αυτό απλοποιεί τη γενική διαδικασία, δεδομένου ότι η μελέτη εξετάζει πολλές παραμέτρους όπως:

1. ο αριθμός των δορυφόρων
2. η γωνία μάσκας του χρήστη
3. το χρονικό πλαίσιο επέκτασης
4. τη θέση εκσυγχρονισμού, κ.τ.λ

Ο ακόλουθος Πίνακας παρουσιάζει τα αποτελέσματα της προβλεφθείσα διαθεσιμότητα μιας οριζόντιας λύσης 20-μέτρων (95% εμπιστοσύνης) καθώς ο αριθμός δορυφόρων Galileo αυξάνει από 0 (δηλαδή το GPS σήμερα) σε 27 (το GPS συν τον πλήρη Galileo, χωρίς τις εφεδρείες).

Scenario	28 GPS +0 Galileo	28 GPS +6 Galileo	28 GPS +12 Galileo	28 GPS +18 Galileo	28 GPS +24 Galileo	28 GPS +27 Galileo
Suburban	~90%	~95%	~100%	~100%	~100%	~100%
Low-rise	~70%	~80%	~90%	>95%	~100%	~100%
High-rise E/W	~30%	~50%	~60%	~75%	~85%	~90%
High-rise N/S	~15%	~30%	~50%	~65%	~75%	80%

Η ανάλυση δείχνει ότι το GPS μόνο του δεν προσφέρει ικανοποιητική διαθεσιμότητα για τη "διαφανή" mass-market χρήση στις πυκνοκατοικημένες περιοχές, δεδομένου ότι υπάρχει ένα αντιληπτό ποσοστό αποτυχίας για κάθε προσπάθεια να γίνει μια αποτύπωση θέσης. Το Galileo παρέχει το όφελος της αύξησης της διαθεσιμότητας πολύ πιο κοντά στα εμπορικά αποδεκτά επίπεδα, αλλά δεν απαιτείται ο πλήρης αστερισμός (27 δορυφόροι και 3 εφεδρείες) για να επιτευχθεί αυτό. 12 δορυφόροι αρκούν για την καλή κάλυψη στις περισσότερες ευρωπαϊκές πόλεις έξω από τις περιοχές με πολυόροφα κτίρια, και 18 ή 24 δορυφόροι θα αρκούσαν για τα κέντρα των πόλεων.

Μια αξιολόγηση των "πρώτος-περικοπών", για να υποστηριχθούν οι δορυφορικές στατιστικές διαφάνειας, εμφανίζεται μετά από εκτενέστερη ανάλυση του Πίνακα 1. Οι χρησιμοποιούμενες τιμές UERE είναι εφαρμόσιμες σε ένα περιβάλλον μέσου λευκού Gaussian θορύβου, και τα multipath αποτελέσματα δεν λαμβάνονται υπόψη.

#### **4.7.3 Χαρακτηρισμός των τοπικών περιβάλλοντων**

Εκτελέσαμε τις δραστηριότητες διαμόρφωσης αστικού καναλιού (urban channel modelling) με ένα ηλεκτρομαγνητικό εργαλείο διαμόρφωσης, σε συνδυασμό με το τρισδιάστατο λογισμικό διαμόρφωσης πόλεων. Τα περιβάλλοντα πόλεων μπορούν να δημιουργηθούν βασισμένα στα δορυφορικά ή εναέρια καλογολογικά στοιχεία, με ποικίλους τύπους οικοδόμησης και πραγματικές διηλεκτρικές υλικές ιδιότητες. Το εργαλείο διαμόρφωσης εκτελεί μια πλήρη ηλεκτρομαγνητική

προσομοίωση στο τρισδιάστατο πρότυπο πόλεων και υπολογίζει το πλήρες διανυσματικό ηλεκτρικό πεδίο phasor που φαίνεται από το δέκτη. Αυτό το στοιχείο μπορεί να μετα-υποβληθεί σε επεξεργασία για να υπολογιστεί το διάγραμμα Ισχύος-Καθυστέρησης (Power Delay Profile-PDP) για το multipath κανάλι Δορυφόρος-σε-Δέκτη. Είναι επίσης δυνατή η ανάλυση και η επεξεργασία Doppler για ποικίλους τύπους κεραιών δεκτών.

### Αστική προσομοίωση καναλιών

Δημιουργήθηκε ένα τρισδιάστατο πρότυπο, με τη βοήθεια προγράμματος CAD, που αντιπροσωπεύει ένα τομέα του κεντρικού Λονδίνου και διενεργήθηκαν προσομοιώσεις με ποικίλες θέσεις δεκτών, πορείες δεκτών, και δορυφορικές θέσεις, που υπολογίζουν περισσότερα από 1500 PDPs. Το σχήμα 6 παρουσιάζει μια άποψη του τρισδιάστατου προτύπου πόλεων.



FIGURE 6 Receiver path in urban canyon, shown in yellow

Σε αυτό το παράδειγμα, τα κτήρια από κάθε πλευρά του φαραγγιού είναι βασισμένα στο γυαλί και στα blocks γραφείων. Τα blocks γραφείων περιλαμβάνουν ένα ορισμένο ποσό δομικής επιφάνειας (όπως οι προεξοχές παραθύρων, τα τοποθετημένα παράθυρα και οι πόρτες), το οποίο είναι απαραίτητο να διαμορφωθεί επειδή προκαλεί μια αξιοπρόσεχτη αύξηση στο προκύπτον multipath περιβάλλον. Ο δέκτης ακολουθεί μια διαδρομή κατά μήκος του πεζοδρομίου σε μια πλευρά του «φαραγγιού» (που παρουσιάζεται με κίτρινο).

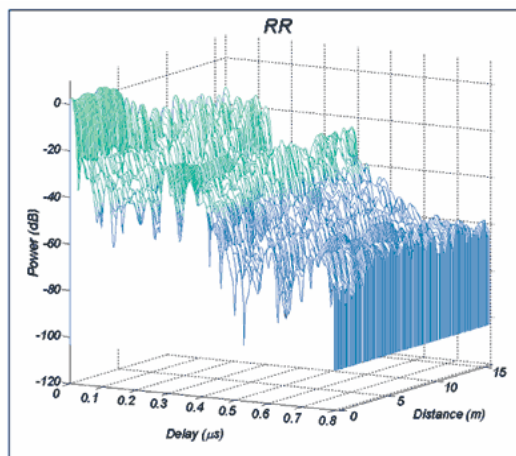


FIGURE 7 Sample power delay profiles (PDPs) using a circularly polarized antenna

Για αυτό το παράδειγμα, εκτελέστηκε ηλεκτρομαγνητική προσομοίωση με μια δορυφορική γωνία ανύψωσης  $25^\circ$ , επιλέγοντας την πορεία δεκτών κάθε 0,095 μέτρα (το μισό του L1 μήκος κύματος). Σε κάθε σημείο δειγμάτων, το PDP υπολογίζεται για να δώσει την γραφική αναπαράσταση «καταρράκτη» (waterfall plot) που παρουσιάζεται στο προηγούμενο σχήμα.

Τα PDPs καταδεικνύουν ότι ο δέκτης βρίσκεται σε ένα αυστηρό multipath περιβάλλον. Το άμεσο σήμα χάνεται γρήγορα καθώς ο δέκτης κινείται κατά μήκος του άξονα απόστασης στο φάραγγι, και παρουσιάζεται σημαντικό multipath με καθυστερήσεις μέχρι 400ns.

Επιπλέον, τα PDPs που φαίνονται από μια γραμμικά πολωμένη κεραία είναι χειρότερα από εκείνα που φαίνονται από μια κυκλικά πολωμένη κεραία. Κατά μέσον όρο, η μεταστροφή από μία κυκλικά πολωμένη κεραία λήψης σε μία γραμμικά πολωμένη κεραία λήψης οδηγεί σε μια αύξηση, στις μέσες «υπερβολικές» τιμές καθυστέρησης, της τάξης του 35%. Οι μέσες RMS τιμές της καθυστέρησης διάδοσης αυξάνονται κατά 21%.

Αυτό είναι σημαντικό επειδή οι κατασκευαστές των μικρών mass-market GNSS δεκτών θα απαιτήσουν μια απλή, χαμηλού κόστους λύση κεραίων. Το μέγεθος και οι διαστημικοί περιορισμοί επιβάλλουν η κεραία να είναι για πολλές χρήσεις, ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για λήψη άλλων συχνοτήτων (π.χ. GSM). Κατά συνέπεια, η κεραία είναι ιδιαίτερα πιθανό να πολωθεί γραμμικά. Η υποβάθμιση στην ποιότητα σήματος κατά τη χρησιμοποίηση μιας γραμμικά πολωμένης κεραίας προβάλλει την ανάγκη για το καινοτόμο σχέδιο δεκτών και κεραίων για τα GNSS, για να εκμεταλλευθεί πλήρως αυτή η mass-market δυνατότητα.

### **Εσωτερική διαμόρφωση καναλιών**

Έγινε διαμόρφωση του δορυφορικού-σε-εσωτερικού multipath καναλιού με έναν συνδυασμό αιτιοκρατικής και στατιστικής διαμόρφωσης. Το εργαλείο διαμόρφωσης υπολογίζει το multipath περιβάλλον μεταξύ του δορυφόρου και των σημείων οικοδόμησης εισόδου (παραδείγματος χάριν, ένα παράθυρο). Τα σήματα, έπειτα, μειώνονται και εφαρμόζεται ένα στατιστικό εσωτερικό πρότυπο. Αυτό προορίζεται να αντιπροσωπεύσει τα γενικευμένα εσωτερικά περιβάλλοντα, δεδομένου ότι η εσωτερική δομή είναι πάρα πολύ σύνθετη για να διαμορφωθεί αποτελεσματικά. Εντούτοις, κάναμε επίσης πραγματικές μετρήσεις των συγκεκριμένων θέσεων.

### **Εσωτερικές μετρήσεις καναλιών**

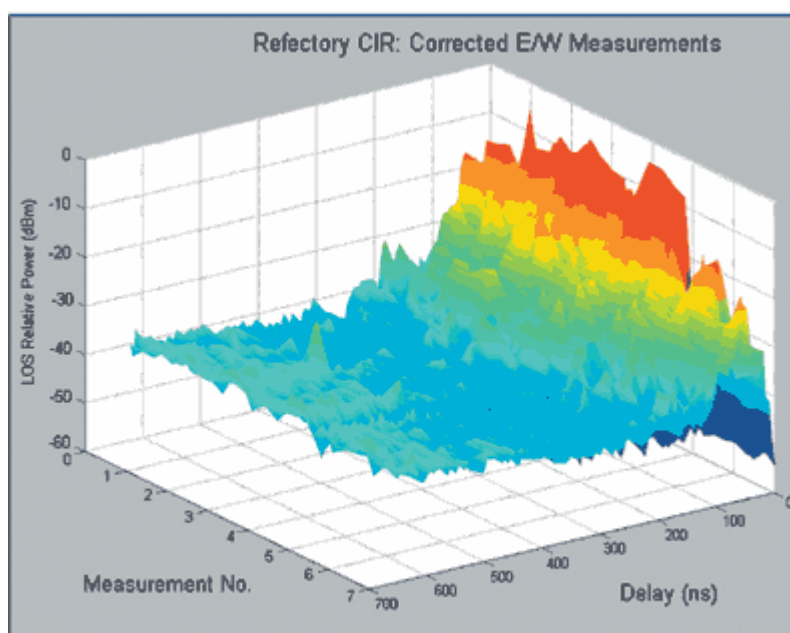
Ένα ηχοβοληστικό κανάλι 100MHz που αναπτύσσεται στο πανεπιστήμιο του Λιντς τροποποιήθηκε για να λειτουργήσει στις συχνότητες του GPS L1 για τις μετρήσεις. Η διαδικασία εξέτασε τρία περιβάλλοντα: φράκτης κι εστιατόριο, λεωφόρος και γραφείο, κλειστό πάρκινγκ αυτοκινήτων. Οι μετρήσεις προσομοίωσαν την επίπεδη ακτινοβολία μιας μετάδοσης του αστερισμού του Galileo ελαχιστοποιώντας την επίδραση των αντανάκλασεων σημείο-πηγής (point-source) με μια ευρείας ζώνης, κυκλικά πολωμένη, ιδιαίτερα κατευθυντική κεραία



μετάδοσης (έναν twin phased axial mode helix), με την πηγή να βρίσκεται όσο το δυνατόν περισσότερο σε μια σειρά.

Χαρακτηρίσαμε κάθε περιοχή μέτρησης επιλέγοντας θέσεις δοκιμής ανά διαστήματα 2 μέτρων. Σε κάθε θέση έγιναν τέσσερις μετρήσεις, χωρίζοντας ένα σημείο αναφοράς σε κάθε  $\frac{1}{4}$  του X, του Y, και του Z. Αυτό δείχνει τα αποτελέσματα της εποικοδομητικής και καταστρεπτικής παρέμβασης (constructive and destructive interference) και ως εκ τούτου παρέχει μια περιεκτική εικόνα του multipath περιβάλλοντος σε κάθε θέση.

Το επόμενο σχήμα παρουσιάζει το μετρημένο PDPs κατά μήκος μιας πορείας στην περιοχή εστιατορίων.



**FIGURE 8** Power delay profiles for restaurant

Δίνει έμφαση στο ενδεχομένως υψηλό επίπεδο μείωσης των σημάτων L1 σε μια δομή τσιμέντου/γυαλιού. Οι θέσεις δοκιμής προχωρούν και έξω από το επίπεδο του χαρτιού, και το πλάτος μηδενικής καθυστέρησης αυξάνεται και μειώνεται ανάλογα με την αύξηση και τη μείωση της Los (line of sight). Για τα μη-Los διαγράμματα, οι αυξήσεις στο σχετικό πλάτος των σημάτων multipath είναι εμφανείς, λόγω των σημάτων που φθάνουν μέσω διαδρομών χαμηλότερης μείωσης από αυτή της άμεσης πορείας. Αυτό είναι ένα πρόβλημα που πρέπει να αναμένεται για τα σήματα μη-Los σε ένα εσωτερικό περιβάλλον.

#### 4.7.4 Γενική απόδοση

Το βρετανικό Civil Aviation Authority Institute of Satellite Navigation (CAA-ISN), του πανεπιστημίου του Λιντς, ανέπτυξε έναν υψηλής απόδοσης προσομοιωτή βασισμένο στο λογισμικό signal/channel/receiver (software). Ο προσομοιωτής μπορεί να παραγάγει μια σειρά σημάτων εισόδου που μπορούν έπειτα να τροποποιηθούν σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά καναλιών. Όλες οι hardware διαδικασίες δεκτών όπως οι συσχετιστές (correlators), το μίγμα

απορριμάτων εικόνας (Image Reject Mix-IRM), και ο αυτόματος έλεγχος κέρδους (Automatic Gain Control-AGC) προσομοιώνονται προκειμένου να αξιολογηθεί η απόδοση των διαφορετικών εφαρμογών. Το τμήμα δεκτών του προσομοιωτή εκτελεί όλη την επεξεργασία σήματος από την απόκτηση (acquisition) ως την ευθυγράμμιση της κατάστασης-σταθερότητας του δέκτη (steady-state tracking).

Τα αρχικά αποτελέσματα της προσομοίωσης στην έξοδο είναι μετρήσεις κώδικα- και φέρουσα-φάσης, σύνολα συσχέτισης, αναλογία φέρουσας προς θόρυβο (CNR), και εντοπισμός θέσης, όλα σε μια βάση «εποχή-με-εποχή» (1 ms). Ο προσομοιωτής αξιολόγησε δύο βασικούς τομείς της απόδοσης δεκτών: την ικανότητα απόκτησης (acquisition capability) και την απόδοση ανίχνευσης (tracking performance).

### **Τα σήματα BOC εναντίον των σημάτων BPSK**

Εξετάστηκε εάν υπάρχουν οποιεσδήποτε διαφορές απόδοσης επιλέγοντας διαφορετικές δομές σημάτων. Έτσι μπήκαν σε διαδικασία άμεσης σύγκρισης ο GPS C/A κώδικας και το Galileo L1 data-carrying σήμα. Οι βασικές παράμετροι σημάτων που χρησιμοποιούνται για το data-carrying σήμα Galileo L1 είναι το chipping rate (ποσοστό σμιλεύσεων) (2.046 Mc/s) και το ποσοστό διαμόρφωσης (BOC(2,2)) του δυαδικού offset φέροντος (BOC). Δεδομένου ότι κανένας κώδικας δεν έχει δημοσιευθεί ακόμα για το Galileo, ένας Χρυσός κώδικας μήκους 2047 bits, που περικλύπεται σε 2046 bits, έχει χρησιμοποιηθεί. Οι ιδιότητες συσχέτισμού του εν λόγω κώδικα είναι παρόμοιες με εκείνες των χρυσών κωδικών GPS. Αυτό εξασφαλίζει μια σύγκριση 'like-for-like', ελλείψει των δημοσιευμένων ακολουθιών κώδικα του Galileo. Υπάρχουν φυσικά πολλοί διαφορετικοί τρόποι να γίνουν επεξεργάσιμα τα διαφορετικά σήματα GPS και Galileo σε έναν δέκτη. Ειδικότερα, λαμβάνοντας υπόψη τη γνώση του περιβάλλοντος του χρήστη και της επιθυμητής απόδοσης, είναι δυνατό να βελτιστοποιηθεί η απόδοση αποκτήσεων και ανίχνευσης αναλόγως.

Στόχος της μελέτης, σε αυτή τη φάση, είναι ο καθορισμός, αρχικά, των διαφορών στην απόδοση που οφείλονται καθαρά στις ιδιότητες συστημάτων, και όχι τις διαμορφώσεις δεκτών. Επομένως, οι διαμορφώσεις δεκτών είχαν ως σκοπό να είναι όσο το δυνατόν πιο όμοιες.

Συγκεκριμένα, τα ποσοστά δειγμάτων του δέκτη και τα εύρη ζώνης επιλέχθηκαν για να ταιριάζουν με τη λαμβανόμενη ισχύ σημάτων. Εξετάζοντας τα εύρη ζώνης όλου του συστήματος, η ελάχιστη λαμβανόμενη ισχύς του Galileo L1 data carrying σήμα είναι ουσιαστικά η ίδια με αυτήν του GPS C/A κώδικα. Ως εκ τούτου τα εύρη ζώνης των σημάτων GPS και Galileo μπορούν εύκολα να επιλεχθούν έτσι ώστε η ίδια ισχύς να παραλαμβάνεται και για τα δύο. Το εύρος ζώνης δεκτών πρέπει επομένως να είναι αρκετά μεγάλο για να επιτρέψει τη χρήση του στενού συσχετισμού, αλλά δεν πρέπει να είναι τόσο μεγάλο έτσι ώστε το απαραίτητο ποσοστό δειγμάτων είναι πάρα πολύ υψηλό. Ο ακόλουθος Πίνακας παρουσιάζει διαμορφώσεις που επιλέγονται για τις αρχιτεκτονικές δεκτών Galileo και GPS:

**TABLE 2** Key receiver parameters

	<b>GPS C/A code</b>	<b>Galileo BOC(2,2)</b>
<b>Sampling</b>	9 MHz, 3-bit	22 MHz, 3-bit
<b>IF Filter BW</b>	6.5 MHz	18 MHz
<b>IRM</b>	3-bit	3-bit
<b>Correlator Spacing</b>	0.23 chips	0.19 chips
<b>Code Discriminator</b>	Early minus Late Power	Early minus Late Power
<b>Integration Period</b>	1 ms	1 ms

Για να καθοριστεί ο CNR στην είσοδο του δέκτη έπρεπε να καθορίσουμε τα χαρακτηριστικά των κεραιών. Για τους εξεταζόμενους δέκτες, έγινε υπόθεση της χρήσης μιας ενεργού κεραίας RHCP, με έναν χαρακτηριστικό LNA θόρυβο της τάξης των 2dB. Οι προσομοιώσεις σχεδιαγραμμάτων καθυστέρησης ισχύος αστικού φαραγγίου που περιγράφηκαν νωρίτερα παρήχθησαν στις γωνίες ανύψωσης 25°, 45°, και 80°. Με τα υποτιθέμενα κέρδη κεραιών -1dB, +1dB και +3dB σε αυτές τις τρεις γωνίες αντίστοιχα, το ελάχιστο CNR δεκτών υπολογίστηκε για να είναι 44.6dBHz, 47.1dBHz, και 47.4dBHz τόσο για το GPS όσο και για το Galileo (το Galileo θα μεταδίδει σε μια υψηλότερη ελάχιστα διευκρινισμένη EIRP [Effective Isotropic Radiated Power] από το GPS αλλά διαιρεί την ισχύ του φέροντος μεταξύ τριών σημάτων).

Έχοντας καθοριστεί το ονομαστικό CNR για αυτές τις τρεις γωνίες ανύψωσης, μπορούν να εφαρμοστούν οι προσομοιώσεις σχεδιαγραμμάτων καθυστέρησης ισχύος σε σωστά επίπεδα σημάτων.

#### 4.7.5 Συμπεράσματα

Η ανάλυση της δυνατότητας του Galileo να εξυπηρετήσει τους χρήστες mass-market στα περιβάλλοντα υψηλής γωνίας μασκών δείχνει ότι το Galileo έχει μια ελαφρώς καλύτερη διαθεσιμότητα στην Ευρώπη από το GPS, αλλά κανένα σύστημα από μόνο του δεν παρέχει αξιόπιστη διαφάνεια των δορυφόρων. Υποθέτοντας τη συνέχιση του αστερισμού GPS ,η προσθήκη των δορυφόρων του Galileo μπορεί να αυξήσει σημαντικά την αστική διαθεσιμότητα. Ο ελάχιστος αριθμός δορυφόρων που απαιτείται είναι λίγο χαμηλότερος από τον πλήρη αστερισμό 27 (συν τρεις εφεδρείες).

Οι εσωτερικές μετρήσεις καταδεικνύουν ότι τα επίπεδα εξασθένησης μπορούν να είναι τόσο υψηλά όσο τα 25dB, ποικίλοντας αρκετά ακόμη και σε μια μικρή κλίμακα απόστασης. Οι εκτενείς προσομοιώσεις για τον καθορισμό της απόδοσης των δεκτών κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι οι συνθήκες προσομοίωσης πολλαπλών διαδρομών(multipath) έχουν μια σημαντική επίδραση στον tracking bias κώδικα, καθώς επίσης και στα σήματα GPS C/A και Galileo BOC. Η ακρίβεια ανίχνευσης για την BOC (2,2) είναι ουσιαστικά καλύτερη από αυτή της BPSK (1) σε όλα τα σενάρια.

Οι προβλέψεις στην απόδοση συστημάτων δείχνουν ότι ένα διαλειτουργικό GPS / Galileo μπορεί να προσφέρει σημαντικά βελτιωμένη ακρίβεια και διαθεσιμότητα σε σχέση με το GPS μόνο, ιδιαίτερα στις αστικές περιοχές. Η προσθήκη των δορυφόρων Galileo, ακόμη και ως υποσύνολο του τελικού ελέγχου, φέρνει ένα μεγαλύτερο όφελος στη λειτουργία της L1 από αυτό που προσδοκείται από το μελλοντικό εκσυγχρονισμό του GPS. Επίσης διαφαίνεται ότι θα υπάρξει περαιτέρω ανάπτυξη για τα συστήματα αύξησης ώστε να βελτιωθεί η ακρίβεια ή/και η διαθεσιμότητα, αν και η υιοθέτησή τους για τις εφαρμογές mass-market θα έπρεπε να αξιολογήσει εάν το συμπληρωματικό κόστος των τερματικών υποδομής και χρηστών δικαιολογείται, λόγω του ότι η αύξηση στην προσπελάσιμη αγορά θα μπορούσε να περιοριστεί στις περιοχές πολυόροφων κτιρίων όπου η δορυφορική (μόνο) διαθεσιμότητα είναι ανεπαρκής.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] U.S. Dept of Agriculture, “DGPS in aerial spraying in forestry demonstration and testing”, Final report (SuDoc A 13.137:9534-2848-MTDC).
- [2] Dick Karsky, “Evaluation of the trimble ProXRS GPS receiver using satellite real-time DGPS corrections”, (SuDoc A 13.137/2:9971-2318-MTDC).
- [3] J. R. Hoffman, “Field strength measurements of DGPS and FAA beacons in the 285- to 325-kHz band”, (SuDoc C 60.10:97-337).
- [4] Elliott D. Kaplan (Editor), “Understanding GPS: Principles and Applications”, Artech House.

## ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΗ ΑΡΘΡΟΓΡΑΦΙΑ

[www.premierelect.co.uk/gpsengine.html](http://www.premierelect.co.uk/gpsengine.html)  
[www.noordersoft.com/handl-en.htm](http://www.noordersoft.com/handl-en.htm)  
<ftp://iasi.roedu.net/mirrors/ftp.tapr.org/gps/dgps.assembly.manual.pdf>  
[www.efdlant.navfac.navy.mil/Lantops\\_15/documents/P-Pub/P-990/Index%20from%20P-990](http://www.efdlant.navfac.navy.mil/Lantops_15/documents/P-Pub/P-990/Index%20from%20P-990)  
[gpsinformation.net/main/poordgps.htm](http://gpsinformation.net/main/poordgps.htm)  
[www.trimble.com/gps/dgps.html](http://www.trimble.com/gps/dgps.html) (pk)  
[gpsinformation.net/main/dgps.htm](http://gpsinformation.net/main/dgps.htm)  
[www.voilelec.com/notes/lien\\_gps.php](http://www.voilelec.com/notes/lien_gps.php)  
[home.san.rr.com/bix/DGPS\\_Project.htm](http://home.san.rr.com/bix/DGPS_Project.htm)(pk)  
[www.abnormal.com/dgps/](http://www.abnormal.com/dgps/) (pk)  
[www.wsrcc.com/wolfgang/gps/dgps-ip.html](http://www.wsrcc.com/wolfgang/gps/dgps-ip.html)  
[navcity.co.uk/catalog/product\\_info.php+products\\_id+280](http://navcity.co.uk/catalog/product_info.php+products_id+280)  
[www.gpseducationresource.com/about\\_waas.htm](http://www.gpseducationresource.com/about_waas.htm)  
[www.premierelect.co.uk/gpsengine.html](http://www.premierelect.co.uk/gpsengine.html)  
[www.noordersoft.com/handl-en.htm](http://www.noordersoft.com/handl-en.htm)  
<ftp://iasi.roedu.net/mirrors/ftp.tapr.org/gps/dgps.assembly.manual.pdf>  
[gpsinformation.net/main/poordgps.htm](http://gpsinformation.net/main/poordgps.htm)  
[www.trimble.com/gps/dgps.html](http://www.trimble.com/gps/dgps.html) (pk)  
[gpsinformation.net/main/dgps.htm](http://gpsinformation.net/main/dgps.htm)  
[www.voilelec.com/notes/lien\\_gps.php](http://www.voilelec.com/notes/lien_gps.php)  
[home.san.rr.com/bix/DGPS\\_Project.htm](http://home.san.rr.com/bix/DGPS_Project.htm)(pk)  
[www.abnormal.com/dgps/](http://www.abnormal.com/dgps/) (pk)  
[www.wsrcc.com/wolfgang/gps/dgps-ip.html](http://www.wsrcc.com/wolfgang/gps/dgps-ip.html)  
[navcity.co.uk/catalog/product\\_info.php+products\\_id+280](http://navcity.co.uk/catalog/product_info.php+products_id+280)  
[www.unwired.gr/forum/viewtopic.php?t=11950](http://www.unwired.gr/forum/viewtopic.php?t=11950)  
[www.garmin.com/aboutGPS/waas.html](http://www.garmin.com/aboutGPS/waas.html)

[gps.faa.gov/Programs/WAAS/waas.html](http://gps.faa.gov/Programs/WAAS/waas.html)

[gpsinformation.net/exe/waas.html](http://gpsinformation.net/exe/waas.html)

[www.lowrance.com/Support/glossary\\_frames.asp?Term=WAAS](http://www.lowrance.com/Support/glossary_frames.asp?Term=WAAS)

[www.stanford.edu/group/GPS/](http://www.stanford.edu/group/GPS/)

[www.gpscentral.ca/whatiswaas.html](http://www.gpscentral.ca/whatiswaas.html)

[www.waasperformance.raytheon.com/sis/sis.html](http://www.waasperformance.raytheon.com/sis/sis.html)

[www.navlabs.com/waas.html](http://www.navlabs.com/waas.html)

[members.aol.com/kfcas/](http://members.aol.com/kfcas/)

[www.gpsoz.com.au/WAAS.html](http://www.gpsoz.com.au/WAAS.html)

[www.edu-observatory.org/gps/dgps.html](http://www.edu-observatory.org/gps/dgps.html)

[www.erols.com/dlwilson/gpswaas.html](http://www.erols.com/dlwilson/gpswaas.html)

[iono.jpl.nasa.gov/waas.html](http://iono.jpl.nasa.gov/waas.html)

[cyberthought.com/tonytex/faq/waas.html](http://cyberthought.com/tonytex/faq/waas.html)

[www.onecallmapping.com/products/WAAS.html](http://www.onecallmapping.com/products/WAAS.html)

[www.gpseducationresource.com/about\\_waas.htm](http://www.gpseducationresource.com/about_waas.htm)

[www.esa.int/export/esaSA/GGG63950NDC\\_navigation\\_0.html](http://www.esa.int/export/esaSA/GGG63950NDC_navigation_0.html)

[www.esa.int/esaNA/](http://www.esa.int/esaNA/)

[europa.eu.int/comm/dgs/energy\\_transport/galileo/intro/steps\\_en.html](http://europa.eu.int/comm/dgs/energy_transport/galileo/intro/steps_en.html)

[www.pocketgps.co.uk/egnos.php](http://www.pocketgps.co.uk/egnos.php)

[dret.net/glossary/egnos](http://dret.net/glossary/egnos)

[www.environmental-studies.de/Precision\\_Farming/EGNOS\\_WAAS\\_E/body\\_egnos\\_waas\\_e.html](http://www.environmental-studies.de/Precision_Farming/EGNOS_WAAS_E/body_egnos_waas_e.html)

[encyclopedia.thefreedictionary.com/EGNOS](http://encyclopedia.thefreedictionary.com/EGNOS)

[avnwww.jccbi.gov/icas/gnss\\_egnos\\_and\\_galileo.html](http://avnwww.jccbi.gov/icas/gnss_egnos_and_galileo.html)

[www.essp.be/egnos\\_new.htm](http://www.essp.be/egnos_new.htm)

[www.linuxworks.com/solutions/telecom/in-action/egnos.php3](http://www.linuxworks.com/solutions/telecom/in-action/egnos.php3)

[www.novatel.com/Customer\\_Support/faq18.html](http://www.novatel.com/Customer_Support/faq18.html)

[www.alcatel.com/atr/abstract.jhtml?repositoryItem=tcm:172-15511635](http://www.alcatel.com/atr/abstract.jhtml?repositoryItem=tcm:172-15511635)

[www.inov.pt/eng/systems/project/project25.html](http://www.inov.pt/eng/systems/project/project25.html)

[www.globaltechnoscan.com/15Nov-21Nov/navigation.html](http://www.globaltechnoscan.com/15Nov-21Nov/navigation.html)

[esamultimedia.esa.int/docs/egnos/estb/Publications/GNSS%202003/ESTB%20to%20EGNOS%20Presentation.pdf](http://esamultimedia.esa.int/docs/egnos/estb/Publications/GNSS%202003/ESTB%20to%20EGNOS%20Presentation.pdf)

[esamultimedia.esa.int/docs/egnos/estb/Publications/GNSS%202000/GNSS2000\\_rims.pdf](http://esamultimedia.esa.int/docs/egnos/estb/Publications/GNSS%202000/GNSS2000_rims.pdf)

[www.europe.alcatel.fr/space/pdf/navigation/egnosgb.pdf](http://www.europe.alcatel.fr/space/pdf/navigation/egnosgb.pdf)

[www.eurocontrol.fr/Newsletter/2002/November/EGNOS/Version%2004b/NewsletterArticle4b.html](http://www.eurocontrol.fr/Newsletter/2002/November/EGNOS/Version%2004b/NewsletterArticle4b.html)

[www.spaceref.com/news/viewpr.html?pid=11603](http://www.spaceref.com/news/viewpr.html?pid=11603)

[avnwww.jccbi.gov/icas/gnss\\_egnos\\_and\\_galileo.html](http://avnwww.jccbi.gov/icas/gnss_egnos_and_galileo.html)

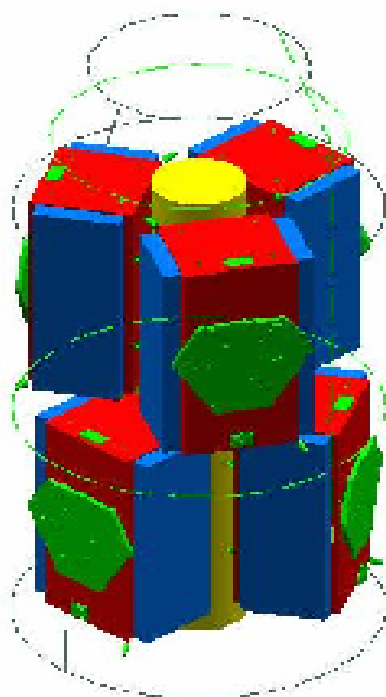
[esapub.esrin.esa.it/pff/pffv12n1/espada.pdf](http://esapub.esrin.esa.it/pff/pffv12n1/espada.pdf)

[www.cage.curtin.edu.au/~npenna/egtrop.html](http://www.cage.curtin.edu.au/~npenna/egtrop.html)

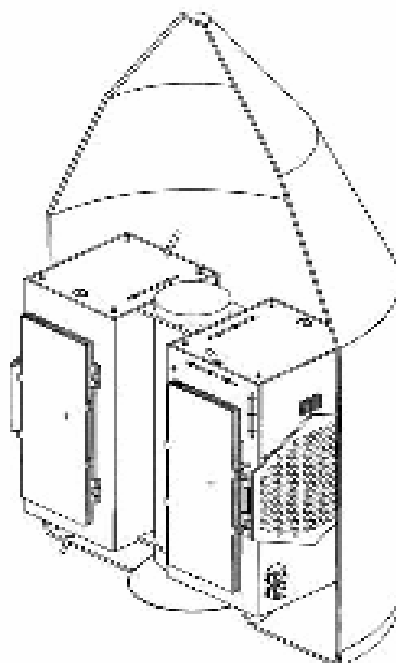
[www.esa.int/export/esaSA/GGGMX650NDC\\_navigation\\_0.html](http://www.esa.int/export/esaSA/GGGMX650NDC_navigation_0.html)  
[www.esa.int/esaNA/](http://www.esa.int/esaNA/)  
[www.galileo-pgm.org/](http://www.galileo-pgm.org/)  
<http://www.galileosworld.com/galileosworld/>  
[www.esrin.esa.it/export/esaSA/GGG0H750NDC\\_navigation\\_0.html](http://www.esrin.esa.it/export/esaSA/GGG0H750NDC_navigation_0.html)  
[europa.eu.int/comm/dgs/energy\\_transport/galileo/index\\_en.html](http://europa.eu.int/comm/dgs/energy_transport/galileo/index_en.html)  
[www.esrin.esa.it/export/esaCP/SEMBOBS1VED\\_index\\_0.html](http://www.esrin.esa.it/export/esaCP/SEMBOBS1VED_index_0.html)  
[europa.eu.int/comm/dgs/energy\\_transport/galileo/partners/esa\\_en.html](http://europa.eu.int/comm/dgs/energy_transport/galileo/partners/esa_en.html)  
[www.space.com/business/technology/business/esa\\_galileo\\_funding\\_001221.html](http://www.space.com/business/technology/business/esa_galileo_funding_001221.html)  
[www.eurekalert.org/pub\\_releases/2003-06/esa-ews061703.php](http://www.eurekalert.org/pub_releases/2003-06/esa-ews061703.php)  
[www.rin.org.uk/pooled/articles/BF\\_NEWSART/view.asp?Q=BF\\_NEWSART\\_57476](http://www.rin.org.uk/pooled/articles/BF_NEWSART/view.asp?Q=BF_NEWSART_57476)  
[www.estec.esa.nl/conferences/01C14/papers/3.2.pdf](http://www.estec.esa.nl/conferences/01C14/papers/3.2.pdf)  
[www.telecom.esa.int/telecom/www/object/index.cfm?fobjectid=2497](http://www.telecom.esa.int/telecom/www/object/index.cfm?fobjectid=2497)  
[www.galileosworld.com/galileosworld/article/articleDetail.jsp?id=75617](http://www.galileosworld.com/galileosworld/article/articleDetail.jsp?id=75617)  
[www.gpsworld.com/gpsworld/article/articleDetail.jsp?id=47027](http://www.gpsworld.com/gpsworld/article/articleDetail.jsp?id=47027)  
[www.abc.net.au/science/news/scitech/SciTechRepublish\\_865038.html](http://www.abc.net.au/science/news/scitech/SciTechRepublish_865038.html)  
[www.mike-warren.com/links/esa-to-launch-galileo.html](http://www.mike-warren.com/links/esa-to-launch-galileo.html)  
[www.fdc.fr/oregin/fifthmeeting/WorkshopOregonOnGNSSApplications\\_introduction.pdf](http://www.fdc.fr/oregin/fifthmeeting/WorkshopOregonOnGNSSApplications_introduction.pdf)  
[www.electronicstimes.com/tech/news/dev/OEG20030528S0011](http://www.electronicstimes.com/tech/news/dev/OEG20030528S0011)  
[www.galileoju.com/](http://www.galileoju.com/)  
[t2wesa.r3h.net/export/esaCP/SEMGMZUZJND\\_index\\_0.html](http://t2wesa.r3h.net/export/esaCP/SEMGMZUZJND_index_0.html)  
[www.eubusiness.com/imported/2002/09/91344](http://www.eubusiness.com/imported/2002/09/91344)  
[extids.estec.esa.nl/CGForum/get/AO/72.html](http://extids.estec.esa.nl/CGForum/get/AO/72.html)

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΣΧΕΔΙΑ ΔΟΡΥΦΟΡΟΥ GALILEO

### Launcher Accomodation

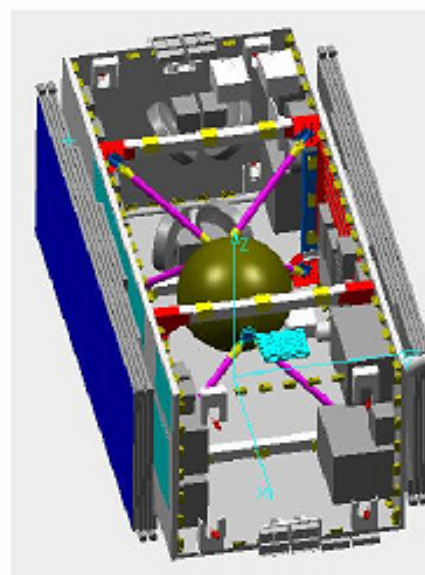
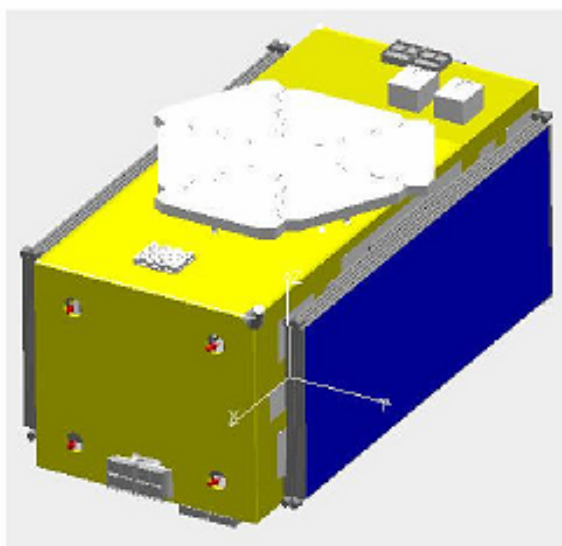


Example Solution for MEO



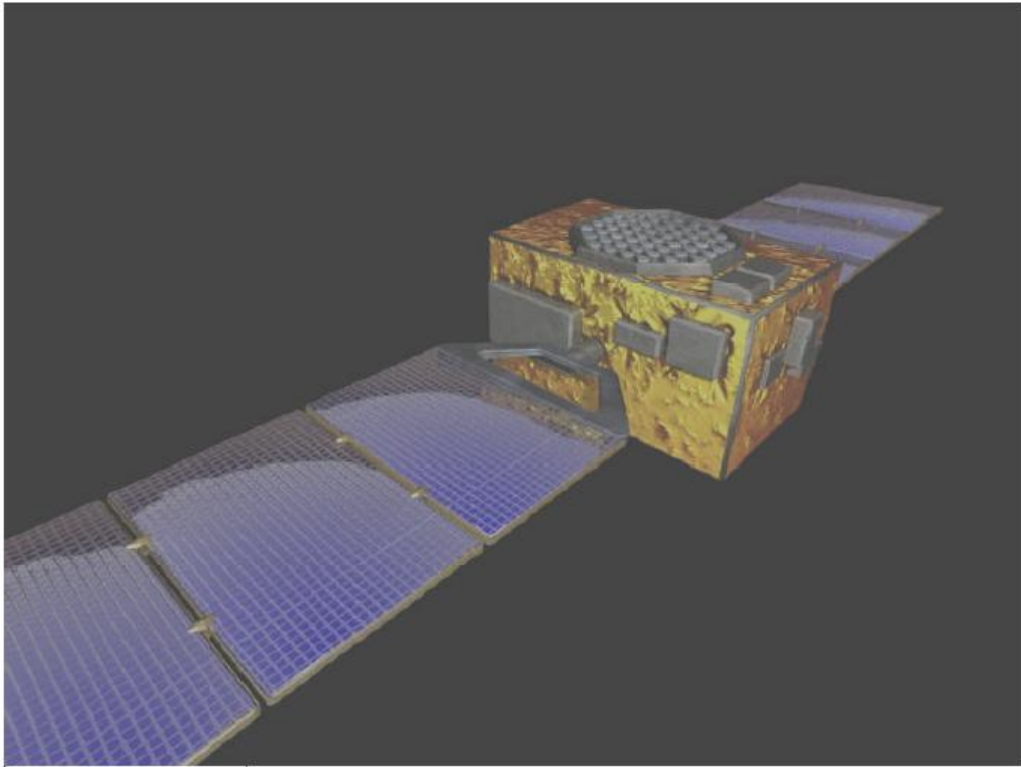
Example Solution for GEO

### Spacecraft Design





# Spacecraft Design



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

### ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ

AUTONAV	Auto-navigation
C/A	Course Acquisition
CFSP	Common Foreign and Security Policy
CS	Commercial Service
CTS	Command Tracking Stations
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency
DoD	Department of Defence
EC	European Commission
EGNOS	European Geostationary Navigation Overlay Service
ESA	European Space Agency
ESTEC	ESA's Technical Centre
EHF	Extremely High Frequency
ESDP	European Security and Defence Policy
EUROCONTROL	European Organisation for the Safety of Air Navigation
EUROPOL	European Police Office
FAA	Federal Aviation Administration
FOC	Full Operational Capability
GCS	Ground-based Control Complex
GNP	Gross National Product
GNSS	Global Navigation Satellite System
GOC	Galileo Operating Company
GPS	Global Positioning System
GSA	Galileo Security Authority
GSS	Galileo Sensor Station
ICAO	International Civil Aviation Organisation
ICBM	Intercontinental Ballistic Missile
IGEB	Interagency GPS Executive Board
INS	Inertial Navigation System
ITU	International Telecommunications Union
JDAM	Joint Direct Attack Munition
JPO	Joint Programme Office
JU	Joint Undertaking
LAAS	Local Area Augmentation System
MEO	Medium Earth Orbit

MSA	Maritime Safety Agency
NASA	National Aeronautics and Space Administration
OLAF	European Anti-Fraud Office
OREGIN	Organisation of European GNSS Industry
OS	Open Service
PNT	Positioning, Navigation and Timing
PPP	Public-Private Partnership
PPS	Precise Positioning System
PRS	Public Regulated Service
PwC	Pricewaterhouse Coopers
QMV	Qualified Majority Voting
RF	Radio Frequency
RRF	Rapid Reaction Force
SA	Selected Availability
SAR	Search and Rescue
SME	Small and Medium-sized Enterprise
SoL	Safety-of-Life
SPS	Standard Positioning Service
SV	Satellite Vehicle
USERE	User Equivalent Range Error
VLF	Very Low Frequency
WAAS	Wide Area Augmentation System
WRC	World Radiocommunication Conference