

# 7. Το GPS και άλλα συστήματα GNSS

## 7.1 GPS και άλλα συστήματα προσδιορισμού θέσης GNSS

Παράλληλα με το GPS η πρώην Σοβιετική Ένωση προχώρησε στη δημιουργία ενός παρόμοιου συστήματος προσδιορισμού θέσης με την ονομασία GLONASS. Αρχικά ο χαρακτήρας του συστήματος GLONASS ήταν στρατιωτικός, αντίστοιχα με το GPS, και κάλυπτε τις ανάγκες της πρώην Σοβιετικής Ένωσης και των συμμαχικών αυτής χωρών. Με την διάλυση της Σοβιετικής Ένωσης και τις αλλαγές σε πολιτικό επίπεδο, η χρήση του συστήματος GLONASS άρχισε να επεκτείνεται και έξω από τα σύνορα της Σοβιετικής Ένωσης. Τα τελευταία χρόνια γίνεται μια σημαντική προσπάθεια για τη συνεργασία των συστημάτων GPS και GLONASS η οποία θα δίνει μεγαλύτερη κάλυψη στην επιφάνεια της γης για τους χρήστες των συστημάτων αυτών και μεγαλύτερο πλήθος παρατηρήσεων λόγω του μεγάλου αριθμού των παρατηρούμενων δορυφόρων. Ήδη από το 1999, που είναι σε εξέλιξη το πιλοτικό πρόγραμμα συνεργασίας των δύο συστημάτων, οι νέοι δέκτες έχουν τη δυνατότητα υποστήριξης και των δύο συστημάτων.

Ο σχεδιασμός του GLONASS περιλαμβάνει την ύπαρξη 21 ενεργών δορυφόρων (και τριών εφεδρικών) σε τροχιά, κατανεμημένων σε τρία τροχιακά επίπεδα με οχτώ δορυφόρους σε κάθε ένα από αυτά (Σχ. 7.1<sup>1</sup>). Οι δορυφόροι (Σχ. 7.2<sup>1</sup>) διατηρούν μία σχεδόν κυκλική τροχιά (εκκεντρότητα  $0.004 < e < 0.00006$ ) με κλίση  $64.6^\circ$  ως προς τον ισημερινό και περίοδο περιστροφής 11h 16m. Περιστρέφονται σε ύψος 11900 km πάνω από της μέση στάθμη της θάλασσας και τα ίχνη των δορυφορικών τροχιών στη Γη επαναλαμβάνονται μετά από 15 περιστροφές, δηλαδή μετά από οχτώ αστρικές ημέρες (οχτώ ηλιακές ημέρες μείον 32m και 32s). Η κάλυψη που προσφέρει το GLONASS (τουλάχιστον όταν ο αστερισμός των δορυφόρων είναι πλήρης) είναι παγκόσμια και προσφέρει ακρίβεια στον απόλυτο προσδιορισμό θέσης μεταξύ 57-70 m για τις οριζόντιες συντεταγμένες και 70 m για την κάθετη. Ο κάθε ένας δορυφόρος εκπέμπει στις δικές του συχνότητες βάσει του αριθμού PRN που έχει στο σύστημα. Όλες οι συχνότητες εκπομπής προκύπτουν από τις δύο βασικές συχνότητες του συστήματος L1 και L2 προσθέτοντας τον αριθμό PRN του κάθε δορυφόρου, δηλαδή

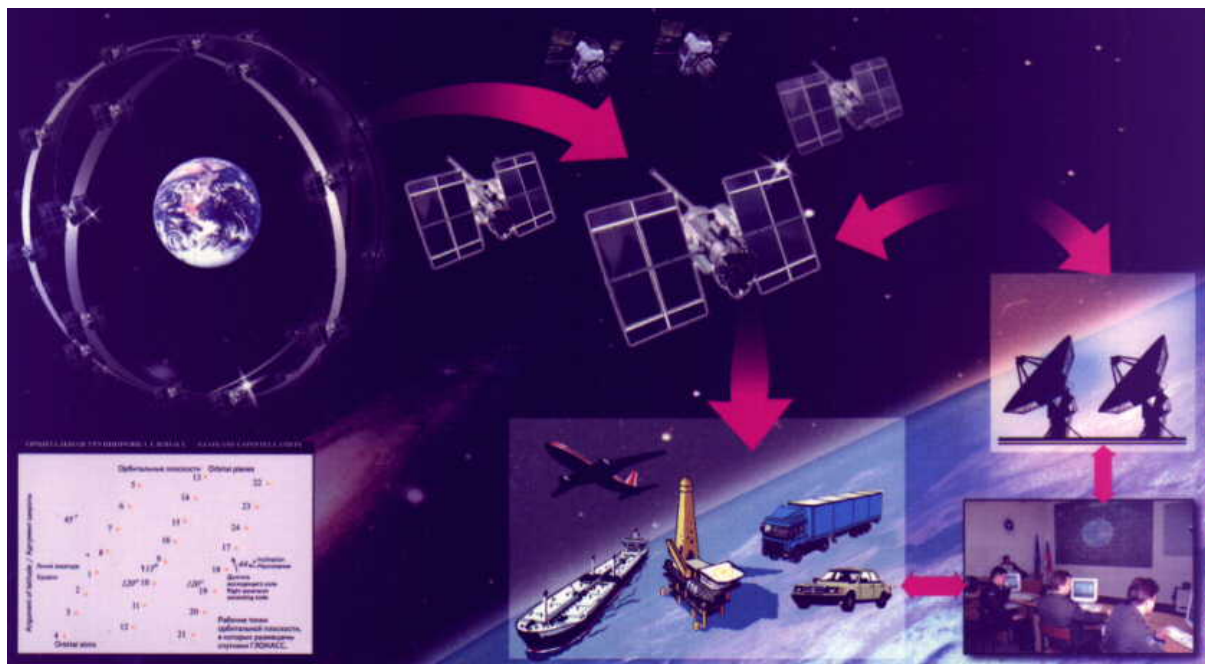
$$f_{L1} = 1602 \text{ MHz} + m \cdot \Delta f_{L1} \quad (7.1)$$

όπου  $m=1, 2, 3, 4, \dots, 24$  ανάλογα με τον αριθμό του δορυφόρου και  $\Delta f_{L1} = 562.5 \text{ KHz}$ . Η συχνότητα L2 προκύπτει ως ένα κλασματικό μέρος της L1

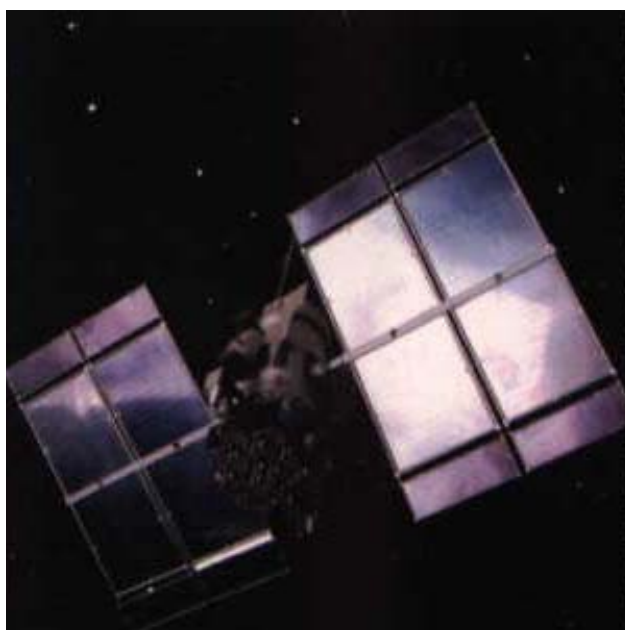
$$f_{L1} / f_{L2} = 9/7 \quad (7.2)$$

<sup>1</sup> Εικόνα από <http://www.rssi.ru/SFCSIC/english.html>.

Με βάση τα παραπάνω διαπιστώνεται ότι οι συχνότητες που χρησιμοποιούνται από το GLONASS διατρέχουν ένα μέρος του φάσματος των ραδιοκυμάτων από **1602.5625 έως 1615.5 MHz** και από **1246.4375 έως 1256.5 MHz**.



Σχήμα 7.1: Ο αστερισμός των 24 δορυφόρων του συστήματος GLONASS και τα τμήματά του.



Σχήμα 7.2: Ο δορυφόρος του συστήματος GLONASS.

Επειδή όμως αυτές οι συχνότητες έχουν πολύ μεγάλη ζήτηση τόσο από τους ραδιοαστρονόμους όσο και από παροχές συστημάτων κινητής επικοινωνίας, η ρωσική υπηρεσία δέχθηκε να αλλάξει βαθμιαία τις συχνότητες εκπομπής στην μπάντα των ραδιοκυμάτων από **1598.0625 έως 1605.5 MHz**. Όπως γίνεται όμως κατανοητό εξαιτίας του σχεδιασμού του συστήματος να εκπέμπει ο κάθε δορυφόρος σε ξεχωριστές συχνότητες, δεν

είναι δυνατόν να εξυπηρετηθούν όλοι οι δορυφόροι με τη χρήση ενός τόσο περιορισμένου φάσματος συχνοτήτων. Η λύση στο πρόβλημα αυτό μπορεί να δοθεί αν οι ίδιες συχνότητες χρησιμοποιούνται από δύο δορυφόρους οι οποίοι θα βρίσκονται σε αντιδιαμετρικές θέσεις, δηλαδή ο ένας θα είναι ο αντίποδας του άλλου. Τέλος πρέπει να τονιστεί ότι οι δύο κώδικες, C/A και P, που μεταδίδονται από τους δορυφόρους του συστήματος GLONASS είναι διαμορφωμένοι και στις δύο συχνότητες. Με συνέπεια να προσφέρουν πολύ μεγαλύτερη ακρίβεια από το GPS που έχει τον κώδικα C/A διαμορφωμένο μόνο στην L1 και τον κώδικα P κρυφό. Οι συχνότητες των κωδικών είναι μισές αυτών του GPS δηλαδή στα 511 KHz για τον C/A και στα 5.11 MHz για τον P. Επίσης, στο σύστημα GLONASS δεν έχει εφαρμοστεί και ούτε προβλέπεται να εφαρμοστεί επιλεκτική διαθεσιμότητα.

Το σύστημα GLONASS ξεκίνησε με φιλόδοξους στόχους αντίστοιχους αυτούς του GPS και κατάφερε να διατηρήσει υψηλά επίπεδα εξυπηρέτησης και διαθεσιμότητας δορυφόρων μέχρι και το 1995 περίπου οπότε και οι δορυφόροι που είχαν εκτοξευθεί μέχρι το 1991 άρχισαν να μην λειτουργούν. Από το σημείο αυτό μέχρι και σήμερα, η δυσμενής οικονομική κατάσταση που επικρατεί στην Ρωσική Ομοσπονδία δεν επιτρέπει τη χρηματοδότηση τέτοιων προγραμμάτων. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα σήμερα να βρίσκονται σε λειτουργία μόνο οκτώ δορυφόροι (οι PRN 07, 08, 10, 05, 03, 09, 12, 02) από τον αστερισμό του GLONASS. Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται η κατάσταση του δορυφορικού σχηματισμού του GLONASS.

**Πίνακας 7.1** Κατάσταση δορυφορικού σχηματισμού του συστήματος GLONASS (26/12/02)

Αριθμός GLONASS	Τροχιακό επίπεδο / Θέση	Κανάλι συχνοτήτων	Ημερομηνία εκτόξευσης	Κατάσταση	Απόσυρση
249	---	---	08/12/1990	Αποσύρθηκε	15/08/1996
750	---	---	04/04/1991	Αποσύρθηκε	14/10/1994
753	---	---	04/04/1991	Αποσύρθηκε	04/06/1993
754	---	---	04/04/1991	Αποσύρθηκε	16/06/1992
768	---	---	29/01/1992	Αποσύρθηκε	29/06/1993
769	---	---	29/01/1992	Αποσύρθηκε	25/06/1997
771	---	---	29/01/1992	Αποσύρθηκε	21/12/1996
774	---	---	30/07/1992	Αποσύρθηκε	26/07/1996
756	---	---	30/07/1992	Αποσύρθηκε	04/07/1994
772	---	---	30/07/1992	Αποσύρθηκε	27/07/1994
773	---	---	17/02/1993	Αποσύρθηκε	17/07/1994
757	---	---	17/02/1993	Αποσύρθηκε	23/07/1997
759	---	---	17/02/1993	Αποσύρθηκε	04/07/1997
760	---	---	11/04/1994	Αποσύρθηκε	09/09/1999
761	---	---	11/04/1994	Αποσύρθηκε	29/08/1997
758	---	---	11/04/1994	Αποσύρθηκε	15/01/2000
767	---	---	11/08/1994	Αποσύρθηκε	03/02/1999

Αριθμός GLONASS	Τροχιακό επίπεδο / Θέση	Κανάλι συχνοτήτων	Ημερομηνία εκτόξευσης	Κατάσταση	Απόσυρση
775	---	---	11/08/1994	Αποσύρθηκε	28/09/2000
770	---	---	11/08/1994	Αποσύρθηκε	15/01/2000
763	---	---	20/10/1994	Αποσύρθηκε	05/10/1999
764	---	---	20/10/1994	Αποσύρθηκε	30/11/1999
762	---	---	20/10/1999	Αποσύρθηκε	19/10/1999
765	---	---	07/03/1995	Αποσύρθηκε	19/10/1999
766	---	---	07/03/1995	Αποσύρθηκε	05/02/2001
777	---	---	07/03/1995	Αποσύρθηκε	26/12/1997
780	---	---	24/07/1995	Αποσύρθηκε	06/04/1999
781	---	---	24/07/1995	Αποσύρθηκε	15/10/2001
785	---	---	24/07/1995	Αποσύρθηκε	06/04/2001
776	---	---	14/12/1995	Αποσύρθηκε	28/10/2000
778	---	---	14/12/1995	Αποσύρθηκε	30/12/2001
782	---	---	14/12/1995	Αποσύρθηκε	15/10/2001
786	1/07	07	30/12/1998	Σε λειτουργία	Ok
784	1/08	08	30/12/1998	Σε λειτουργία	Ok
779	---	---	30/12/1998	Αποσύρθηκε	08/07/2002
783	3/10	10	13/10/2000	Σε λειτουργία	Ok
787	3/05	05	13/10/2000	Σε λειτουργία	Ok
788	3/03	03	13/10/2000	Σε λειτουργία	Ok
790	1/09	09	01/12/2001	Σε λειτουργία	Ok
789	1/12	12	01/12/2001	Σε λειτουργία	Ok
711	01/02	02	01/12/2001	Σε λειτουργία	Ok

### Συνδυασμός συστημάτων GPS - GLONASS - SLR

Στα πλαίσια ενός Πιλοτικού προγράμματος υπό την αιγίδα του International GPS Service (IGS) για τη χρονική περίοδο 1999-2003, γίνεται προσπάθεια για τον υπολογισμό ακριβέστερων τροχιών του συστήματος GLONASS και για τη σύνδεση του συστήματος GLONASS με το GPS. Κατά το παραπάνω πρόγραμμα :

- α. Χρησιμοποιήθηκε ένα δίκτυο από 60 σταθμούς μετρήσεων GLONASS και 30 σταθμούς SLR σε 25 χώρες.
- β. Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις έξι μηνών από του παραπάνω σταθμούς οι οποίες και αρχειοθετήθηκαν από το Goddard Space Flight Center (GSFC) στις Ηνωμένες Πολιτείες και στο Institut Geographique National (IGN) στη Γαλλία. Τα δεδομένα αυτά είναι διαθέσιμα σε κάθε ενδιαφερόμενο.

- γ. Τροχιές ακριβείας υπολογίστηκαν από 11 κέντρα ανάλυσης χρησιμοποιώντας SLR και GLONASS δεδομένα αυξάνοντας την ακρίβεια σε 20 έως 50 cm.
  - δ. Δέκτες οι οποίοι δέχονται και παρατηρήσεις GLONASS κατασκευάστηκαν από μεγάλες εμπορικές βιομηχανίες δεκτών.
  - ε. Ένας σημαντικός αριθμός από πακέτα software (π.χ., BAHN, Bernese, GIPSY) που σχεδιάστηκαν για δεδομένα GPS μπορούν τώρα να επιλύουν και δεδομένα GLONASS .
  - στ. Τα format RINEX και SP3 επεκτείνονται έτσι ώστε να περιέχουν και δεδομένα για το σύστημα GLONASS.
  - η. Υπολογίστηκαν σχέσεις μετασχηματισμού μεταξύ των Datum PZ-90, WGS 84 και ITRF.
- Σε συνδυασμό με το GPS, το GLONASS προσφέρει επιπλέον δορυφόρους, οι οποίοι εξασφαλίζουν περισσότερο διαθέσιμο χρόνο για μετρήσεις μικρών και μεγάλων βάσεων (αριθμός διαθέσιμων δορυφόρων 35-40).

## Πρόγραμμα GALILEO

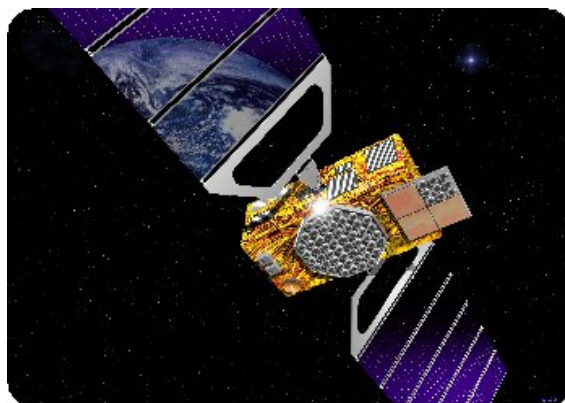
Το σημαντικότερο ίσως γεγονός στον τομέα των συστημάτων προσδιορισμού θέσης αποτελεί η προσπάθεια της Ευρώπης να προχωρήσει στη δημιουργία ενός νέου παγκόσμιου συστήματος προσδιορισμού θέσης, του GALILEO. Το νέο σύστημα θα έχει πολιτικό χαρακτήρα και θα καλύπτει με μεγάλη ακρίβεια σχεδόν το 99% της γήινης επιφάνειας.

Λόγω του ότι τα συστήματα GPS και GLONASS έχουν κατά βάση στρατιωτικό χαρακτήρα και τα κράτη που έχουν τον έλεγχό τους επιβάλλουν κατά καιρούς επιλεκτική διαθεσιμότητα, δεν παρέχουν την εγγύηση μιας σίγουρης και αξιόπιστης λειτουργίας σε πολιτικές εφαρμογές. Για τους λόγους αυτούς αναπτύσσεται από την Ευρωπαϊκή Ένωση και την Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Διαστήματος (European Space Agency - ESA) το σύστημα GALILEO, ένα φιλόδοξο ευρωπαϊκό διαστημικό πρόγραμμα με στόχο την δημιουργία ενός παγκόσμιου συστήματος προσδιορισμού θέσης για πολιτική χρήση. Υποστηρίζεται από την Ευρωπαϊκή επιτροπή και την ESA, η πρώτη έχει την πολιτική ευθύνη και τον έλεγχο της δομής του συστήματος και η δεύτερη την κατασκευή και εφαρμογή του προγράμματος. Ο συνολικός προϋπολογισμός του προγράμματος ανέρχεται στο ύψος των 3.2 δισ. €. Το σύστημα θα αποτελείται συνολικά από 30 δορυφόρους (βλ. Σχ. 7.3<sup>12</sup> και 7.4<sup>2</sup>) σε μέση γήινη τροχιά (MEO medium earth orbit ) και από ένα δίκτυο επίγειων σταθμών παρακολούθησης (βλ. Σχ. 7.5<sup>12</sup>). Το υψόμετρο της τροχιάς των δορυφόρων θα είναι περίπου 23000 Km.

<sup>2</sup> Εικόνες από [http://europa.eu.int/comm/dgs/energy\\_transport/galileo/index\\_en.htm](http://europa.eu.int/comm/dgs/energy_transport/galileo/index_en.htm).



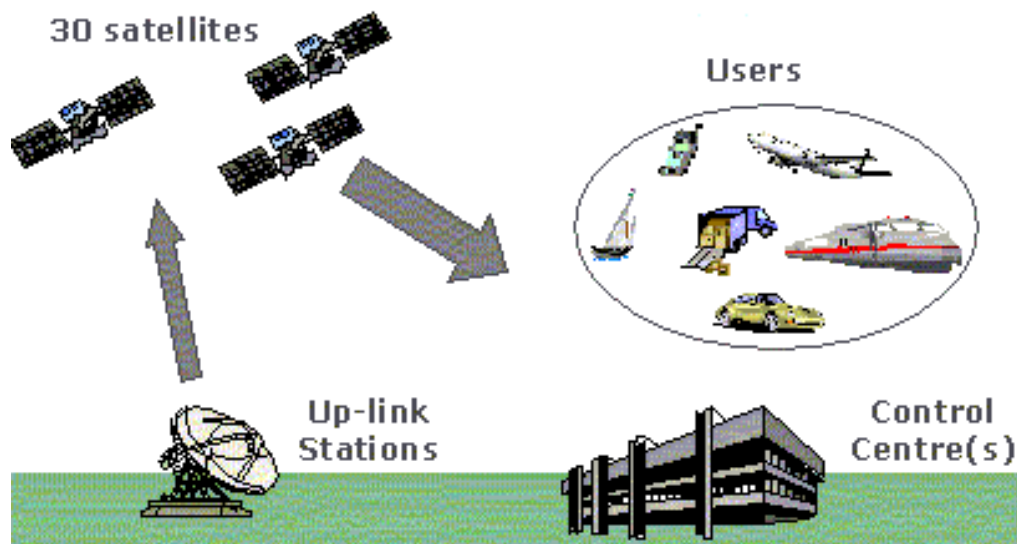
**Σχήμα 7.3:** Ο αστερισμός των 30 δορυφόρων του συστήματος GALILEO



**Σχήμα 7.4:** Ο δορυφόρος του συστήματος GALILEO

Τα εκπεμπόμενα σήματα θα εξυπηρετούν τρεις κατηγορίες χρηστών. Το βασικό σήμα θα είναι διαθέσιμο χωρίς χρέωση σε όλους του χρήστες. Όσοι απαιτούν ένα ακριβέστερο σύστημα με εγγυημένη διαθεσιμότητα θα πρέπει να πληρώνουν ένα επιπλέον ποσό προκειμένου να έχουν πρόσβαση σε ένα σύστημα δεδομένων προσαρμοσμένο στο βασικό σήμα. Τέλος ένα υψηλής ακρίβειας σήμα θα είναι διαθέσιμο στις δημόσιες αρχές για διάφορες εφαρμογές ασφαλείας, όπως για παράδειγμα η διεύθυνση των εναέριων, θαλάσσιων και χερσαίων μεταφορών. Το συνολικό κόστος του προγράμματος εκτιμάται σε 3.2 δις €, 1.1 δις € θα στοιχίσει η φάση της ανάπτυξης του η οποία θα ολοκληρωθεί στο τέλος του 2005, ενώ τα υπόλοιπα χρήματα θα

απορροφηθούν μεταξύ των ετών 2006 και 2008, οπότε οι περισσότεροι δορυφόροι θα έχουν τεθεί σε τροχιά. Πρέπει να σημειωθεί ότι προβλέπεται η εκτόξευση περισσότερων του ενός (μέχρι οκτώ) δορυφόρων ταυτόχρονα με χρήση προωθητικών οχημάτων τύπου Ariane 10 (βλ. Σχ. 7.6).



Σχήμα 7.5: Τα τμήματα του συστήματος GALILEO

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι προβλεπόμενες ακρίβειες και η διαθεσιμότητα στη φάση της κανονικής λειτουργίας του προγράμματος

Πίνακας 7.2: Προβλεπόμενες ακρίβειες του συστήματος Galileo

	Βασικό σήμα	Σήμα υψηλής ακριβείας
Γωνία αποκρίσης του χρήστη (Masking Angle)	25°	5°
Ακρίβεια (95% εμπιστοσύνη)	10 m Οριζοντιογραφικά	4 m. Κατακόρυφη
Κάλυψη	Παγκόσμια	Παγκόσμια
Διαθεσιμότητα	Καλύτερη από 70%	Καλύτερη από 99%
Άδεια χρήσης	Δεν απαιτείται γενικά	Υποχρεωτικά



**Σχήμα 7.6:** Εκτόξευση περισσότερων του ενός δορυφόρου του συστήματος GALILEO<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> Σχήμα από [http://jobsbeiastrium.de/DownloadArea\\_e.htm](http://jobsbeiastrium.de/DownloadArea_e.htm).