

1. Εισαγωγή στο GPS

1.1. Γενικά για το G.P.S.

Η εποχή που διανύουμε χαρακτηρίζεται από σημαντικές εξελίξεις στον τομέα των εφαρμογών του διαστήματος. Ειδικά στην επιστήμη της Γεωδαισίας οι εφαρμογές του προσδιορισμού Θέσης με την χρήση δορυφόρων σε Παγκόσμια κλίμακα (GPS, GLONASS) πρόσφεραν πολύτιμες λύσεις σε χρόνια προβλήματα και παράλληλα δημιούργησαν καινούριες προοπτικές, αλλά και μεγαλύτερες απαιτήσεις.

Το **NAVSTAR/G.P.S. (NAVigation Satellite Timing And Ranging – Global Positioning System)** ή απλά **GPS**, είναι ένα δορυφορικό σύστημα με τη βοήθεια του οποίου μπορούμε να προσδιορίσουμε τη θέση ενός σημείου παρατήρησης X,Y,Z ως προς ένα κατάλληλο σύστημα αναφοράς.

Το νέο αυτό σύστημα άρχισε να αναπτύσσεται στις αρχές της δεκαετίας του '70 και να αξιοποιείται από τις αρχές της δεκαετίας του '80, υπό τον έλεγχο του υπουργείου άμυνας των ΗΠΑ. Αρχικά σχεδιάστηκε για την κάλυψη των αναγκών της ναυσιπλοΐας και για στρατιωτικούς σκοπούς, ο αρχικός στόχος ήταν να μπορούμε να έχουμε ακρίβεια $\pm 10-15$ m στο προσδιορισμό θέσης, σε πραγματικό χρόνο. Γρήγορα όμως έγινε αντιληπτό ότι θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε ακριβέστερους υπολογισμούς και επεκτάθηκε η χρήση του και σε γεωδαιτικές εφαρμογές. Στην πραγματικότητα το GPS κάλυψε ένα πραγματικό κενό που υπήρχε στον τομέα του προσδιορισμού θέσης.

Η βασική αρχή στην οποία στηρίζεται είναι ο προσδιορισμός θέσης με την μέτρηση τεσσάρων «ψευδοαποστάσεων» μεταξύ του παρατηρητή και του δορυφόρου. Για τον λόγο αυτό η σχεδίαση των τροχιών των δορυφόρων έγινε με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι δυνατή η παρατήρηση 4 τουλάχιστον δορυφόρων από οποιοδήποτε σημείο της γης για κάθε χρονική στιγμή. Για τον προσδιορισμό της θέσης ενός σημείου αγνώστων συντεταγμένων στο χώρο αρκούν οι μετρήσεις των αποστάσεων από τρία σημεία γνωστών συντεταγμένων (πλευρική οπισθοτομία στον χώρο), συνεπώς θα αρκούσαν και τρεις δορυφόροι για τον προσδιορισμό της θέσης ενός σημείου στο σύστημα αναφοράς των δορυφόρων. Ο λόγος που απαιτούνται τουλάχιστον τέσσερις δορυφόροι (αποστάσεις) είναι για προσδιορίσουμε τη διαφορά ανάμεσα στη ένδειξη του χρονομέτρου του χρήστη και την ένδειξη του χρονομέτρου του δορυφόρου, ακριβώς για αυτό τον λόγο την ύπαρξης αυτού του σφάλματος χρησιμοποιούμε και τον όρο «ψευδοαπόσταση» .

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα του GPS έναντι των άλλων παλαιότερων επίγειων και δορυφορικών μεθόδων είναι :

1. Δίνει απευθείας την θέση ενός σημείου στην επιφάνεια της γης, συνεπώς γνωρίζουμε κάθε στιγμή την θέση μας σε καρτεσιανές συντεταγμένες X, Y, Z.
2. Είναι ένα σύστημα παντός καιρού, δηλαδή μπορεί να χρησιμοποιηθεί κάτω από όλες τις καιρικές συνθήκες.
3. Για τον προσδιορισμό θέσης δεν απαιτείται αμοιβαία ορατότητα μεταξύ των σημείων παρατήρησης. Απαιτείται μόνο ορατότητα προς ικανοποιητικό αριθμό δορυφόρων (ανοιχτός ορίζοντας στα σημεία στάσης).
4. Μπορεί να συνεργαστεί με άλλα συστήματα προσδιορισμού θέσης (LORAN-C, Αδρανειακά συστήματα, κ.α.) καθώς και με άλλες σύγχρονες εφαρμογές και συστήματα (GIS, Φωτογραμμετρία κ.α.).
5. Η διαδικασία των μετρήσεων είναι αρκετά απλή και απαιτείται μικρός χρόνος μέτρησης. Η εκτέλεση των μετρήσεων είναι δυνατή όλο το 24ωρο με μικρό αριθμό προσωπικού (ένα άτομο ανά σημείο παρατήρησης ή και ένα άτομο σε πολλά σημεία παρατήρησης μιας και ο δέκτης αφού ξεκινήσει τις μετρήσεις δεν χρειάζεται επιπλέον επίβλεψη ή χειρισμό).
6. Δίνει καλή ακρίβεια προσδιορισμού θέσης με πολύ μικρότερο χρόνο μέτρησης σε σχέση με άλλες μεθόδους.

Αντίθετα τα μόνα μειονεκτήματα του GPS έναντι των άλλων μεθόδων είναι ότι:

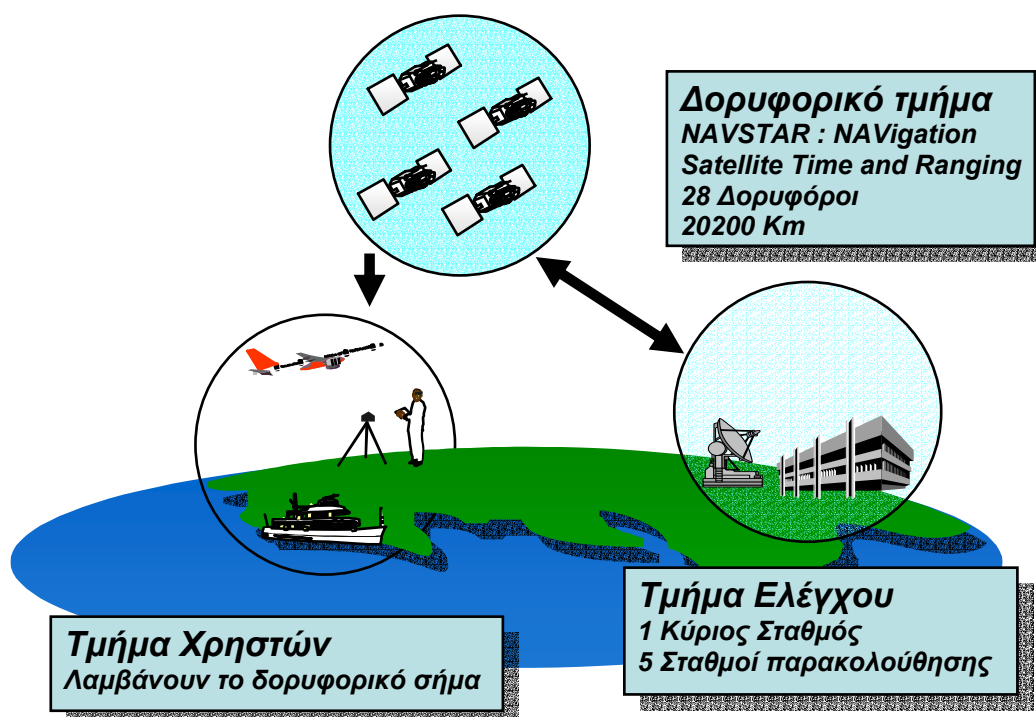
1. Απαιτεί ανοιχτό ορίζοντα για να έχει οπτική επαφή με δορυφόρους, γεγονός που κάνει δύσκολη την χρήση του μέσα σε πόλεις και ειδικά σε πυκνοκατοικημένες περιοχές.
2. Η μείωση της ακρίβειας του συστήματος και η εισαγωγή σφαλμάτων από πλευράς των ΗΠΑ κατά χρονικά διαστήματα λόγω του στρατιωτικού χαρακτήρα του συστήματος δεν εγγυώνται την απρόσκοπτη λειτουργία του.

Η ευρωπαϊκή ένωση αντιλαμβανόμενη την χρησιμότητα του συγκεκριμένου συστήματος και λαμβάνοντας υπόψη τον κατά βάση στρατιωτικό χαρακτήρα του GPS - αν και τελευταία οι ΗΠΑ προχώρησαν στην δημιουργία πολιτικού σκέλους του GPS - προχώρησε στο σχεδιασμό και την ανάπτυξη δικού της συστήματος εντοπισμού θέσης με την ονομασία **GALILEO** με αυξημένες δυνατότητες και πολιτικό χαρακτήρα.

1.2. Δομή του δορυφορικού συστήματος G.P.S.

Το δορυφορικό σύστημα **G.P.S.** περιλαμβάνει μια ολοκληρωμένη δομή συνεχούς λειτουργίας, παρακολούθησης, ελέγχου και συντήρησης των δορυφόρων με την ευθύνη του υπουργείου άμυνας των Η.Π.Α. (U.S. Department of Defense - DOD). Συγκεκριμένα αποτελείται από τρία κύρια τμήματα (Σχ.1.1) :

- Το δορυφορικό τμήμα.
- Το τμήμα ελέγχου.
- Το τμήμα χρηστών.

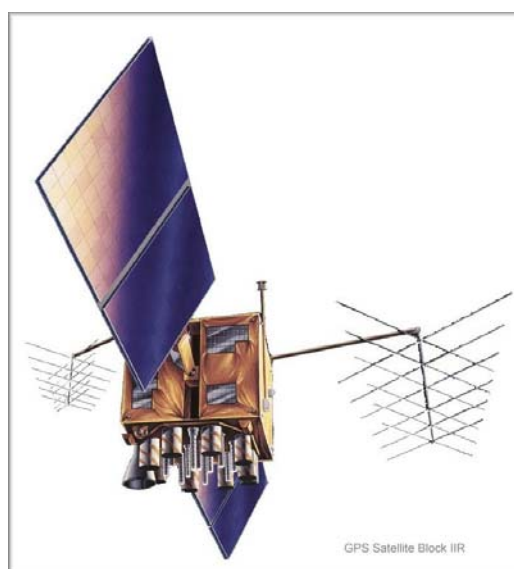
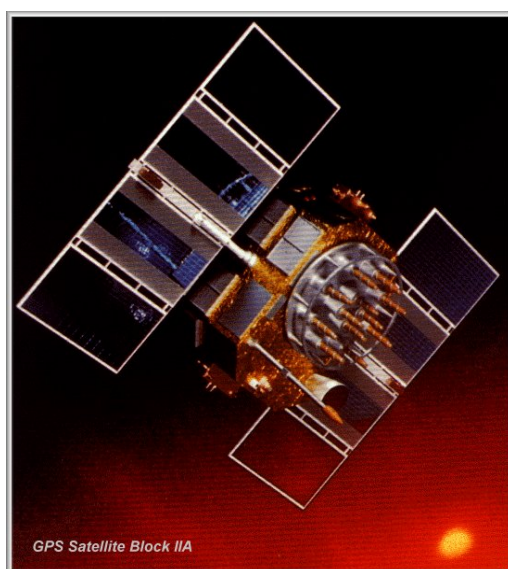


Σχήμα 1.1 Τα τρία τμήματα του συστήματος GPS.

1.2.1. Δορυφορικό τμήμα.

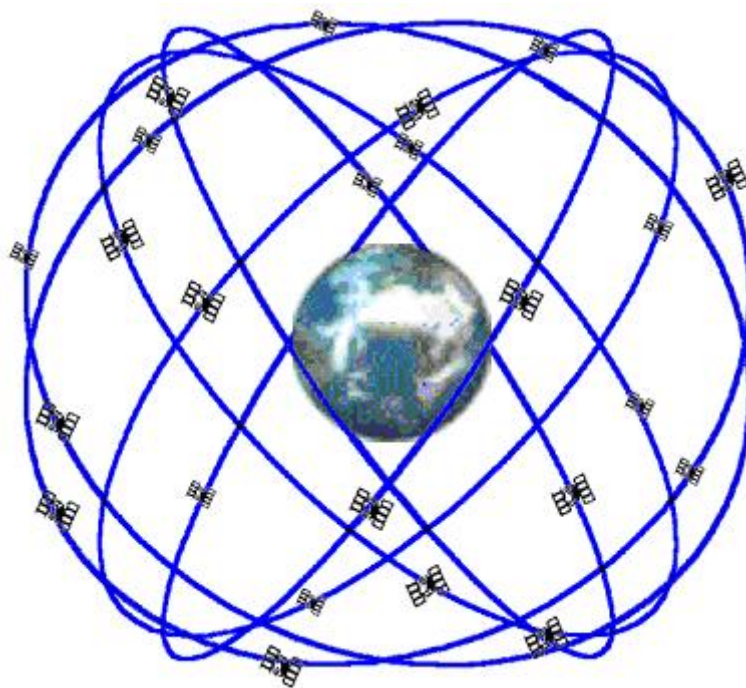
Σήμερα περιστρέφονται γύρω από τη γη περίπου 28 δορυφόροι των σειρών BLOCK II, IIA και IIR με τους τελευταίους να τείνουν να αντικαταστήσουν τους προηγούμενους (Σχ. 1.2). Οι δορυφόροι του συστήματος ταξινομούνται με διάφορους τρόπους: α) σύμφωνα με τη σειρά εκτόξευσης, β) σύμφωνα με τη θέση στην τροχιά, γ) σύμφωνα με έναν κώδικα της NASA, δ) με βάση ένα διεθνή κώδικα

και ε) με βάση έναν αριθμό που δείχνει ποια εβδομάδα του P-κώδικα εκπέμπει ο δορυφόρος (αριθμός PRN), που είναι και ο πιο συνηθισμένος τρόπος καταχώρισης. Οι δορυφόροι διαθέτουν ηλιακές μπαταρίες ως πηγή ηλεκτρικής ενέργειας για να τροφοδοτούν τα συστήματα υψηλής τεχνολογίας με τα οποία είναι εφοδιασμένοι. Επίσης διαθέτουν και καύσιμα που επιτρέπουν τη λειτουργία των συστημάτων ελέγχου της τροχιάς και ακόμη την αλλαγή τροχιακού επιπέδου, εάν και όποτε αυτό κριθεί αναγκαίο. Περισσότερες τεχνικές πληροφορίες για τους δορυφόρους του συστήματος δίνονται στο παράρτημα Α.

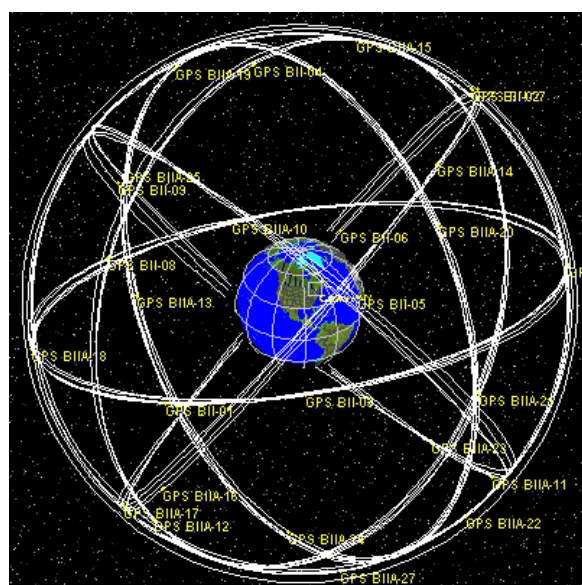


Σχήμα 1. 2 Οι γενιές των δορυφόρων GPS BLOCK IIA (αριστερά) και BLOCK IIR (δεξιά).

Οι δορυφόροι είναι **ισοκατανεμημένοι σε 6 τροχιακά επίπεδα** που σχηματίζουν **γωνία 60°** μεταξύ τους και καθένα από αυτά σχηματίζει **γωνία κλίσης (inclination) 55° μοιρών με το επίπεδο του ισημερινού της Γης** (Σχ 1.3 , 1.4). Από τους 28 αυτούς δορυφόρους οι 25 είναι οι άμεσα χρησιμοποιήσιμοι ενώ οι υπόλοιποι 3 βρίσκονται σε εφεδρεία ώστε να αντικαταστήσουν τους προηγούμενους σε περιπτώσεις δυσλειτουργίας ή/και βλάβης. Η περίοδος περιστροφής του κάθε δορυφόρου είναι 12 ώρες σε αστρικό χρόνο. Αυτό σημαίνει ότι οι δορυφόροι εμφανίζονται επάνω από τον ορίζοντα ενός τόπου περίπου 4 min νωρίτερα κάθε ημέρα.



Σχήμα 1. 3 Ο δορυφορικός σχηματισμός του συστήματος GPS.



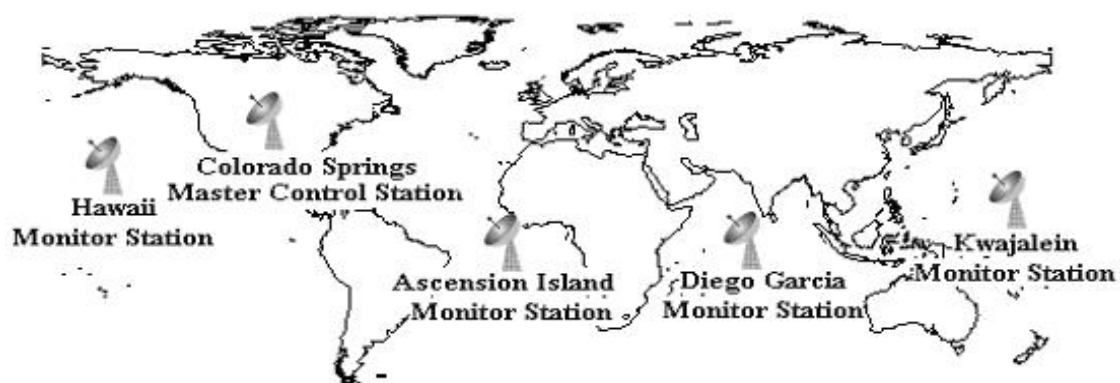
Σχήμα 1. 4 Ο δορυφορικός σχηματισμός του συστήματος GPS με τα ονόματα των δορυφόρων.

Οι δορυφόροι βρίσκονται σε **σχεδόν κυκλική τροχιά** (στην πραγματικότητα ελλείψεις με μέγιστη εκκεντρότητα $e=0.015$), περιστρέφονται σε **ύψος ~20200 km** και σε κάθε ένα από τα έξι τροχιακά επίπεδα βρίσκονται τέσσερις δορυφόροι. Ο σχεδιασμός του δορυφορικού σχηματισμού του συστήματος GPS επιτρέπει στον χρήστη να «βλέπει» πάντα μεταξύ πέντε και οκτώ δορυφόρων από οποιοδήποτε

σημείο πάνω στη Γη. Η “σχεδιασμένη” διάρκεια ζωής κάθε δορυφόρου είναι **7.5 χρόνια**

1.2.2. Τμήμα ελέγχου.

Το **τμήμα ελέγχου** αποτελείται από πέντε επίγειους σταθμούς ελέγχου και παρακολούθησης των δορυφορικών σημάτων από τους οποίους ο ένας που χαρακτηρίζεται ως κύριος σταθμός ελέγχου (Master Control Station) βρίσκεται στο **Colorado Springs** των Η.Π.Α. ενώ οι υπόλοιποι στα **Ascension Island, Diego Garcia, Kwajalein** και **Hawaii** (Σχ. 1.5). Σκοπός των σταθμών ελέγχου είναι να κάνουν πρόβλεψη για τις δορυφορικές θέσεις και για τις παραμέτρους των δορυφορικών χρονομέτρων. Η πρόβλεψη αυτή γίνεται σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο δημιουργείται η **εφημερίδα αναφοράς** προσεγγίζοντας τη δορυφορική τροχιά χρησιμοποιώντας τα δεδομένα των προηγούμενων 7 ημερών. Στο δεύτερο στάδιο γίνεται **πρόβλεψη εφημερίδων** με εκτίμηση και διόρθωση των δορυφορικών διαταραχών. Η τροφοδότηση των δορυφόρων από τους σταθμούς ελέγχου γίνεται κάθε 8 ώρες. Τα δεδομένα αυτά εκπέμπονται τελικά από τους δορυφόρους στους χρήστες G.P.S.



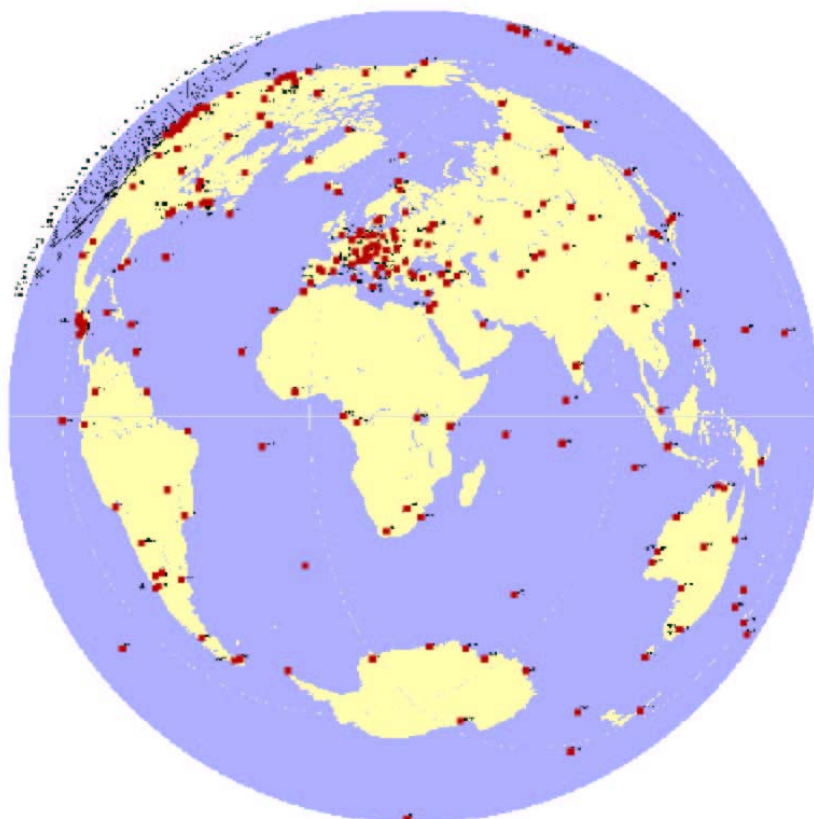
Σχήμα 1. 5 Οι τοποθεσίες των σταθμών έλεγχου του συστήματος GPS.

Λόγω του περιορισμένου αριθμού των σταθμών παρακολούθησης η ακρίβεια που παρέχει το δίκτυο είναι επαρκής για την ναυτιλία και πλοήγηση αλλά ανεπαρκής για γεωδαιτικές εφαρμογές. Για τον λόγο αυτό δημιουργήθηκαν και ανεξάρτητα δίκτυα παρακολούθησης με σκοπό να εμπλουτίσουν με ακριβέστερες παρατηρήσεις το δίκτυο GPS. Το σημαντικότερο ρόλο στον τομέα διαχείρισης και παρακολούθησης ανέλαβε από το 1994 η Διεθνής Υπηρεσία GPS (IGS, International GPS Service) με

ένα εκτεταμένο δίκτυο σε όλο τον κόσμο (Σχ. 1.6 και 1.7), και υπηρεσίες διάθεσης δεδομένων μέσω του διαδικτύου.

1.2.3. Τμήμα των Χρηστών.

Το **τμήμα των χρηστών** περιλαμβάνει τους δέκτες GPS οι οποίοι λαμβάνουν, επεξεργάζονται τα σήματα και καταγράφουν τις μετρήσεις. Ο δέκτης αποτελείται από την κεραία, τον κυρίως δέκτη και τον υπολογιστή (χειριστήριο-καταγραφικό). Μέσω της κεραίας μπορεί να κεντρώνεται σε σημεία για τον προσδιορισμό της θέσης τους όπως ακριβώς ένα κλασικό θεοδόλιχο. Ο σχεδιασμός των τροχιών είναι τέτοιος ώστε ανά πάσα χρονική στιγμή και σε οποιοδήποτε σημείο της γης, να υπάρχουν τουλάχιστον 4 ορατοί δορυφόροι που να λαμβάνονται ταυτόχρονα. Αυτός ο αριθμός δορυφόρων είναι απαραίτητος για να καταστεί δυνατός ο προσδιορισμός θέσης (X, Y, Z) ενός σημείου με έναν δέκτη (πρόβλημα πλευρικής οπισθοτομίας στο χώρο).



Σχήμα 1. 6 Κατανομή των σταθμών παρακολούθησης της IGS σε παγκόσμια κλίμακα.



Σχήμα 1. 7 Κατανομή των ευρωπαϊκών σταθμών παρακολούθησης της IGS.

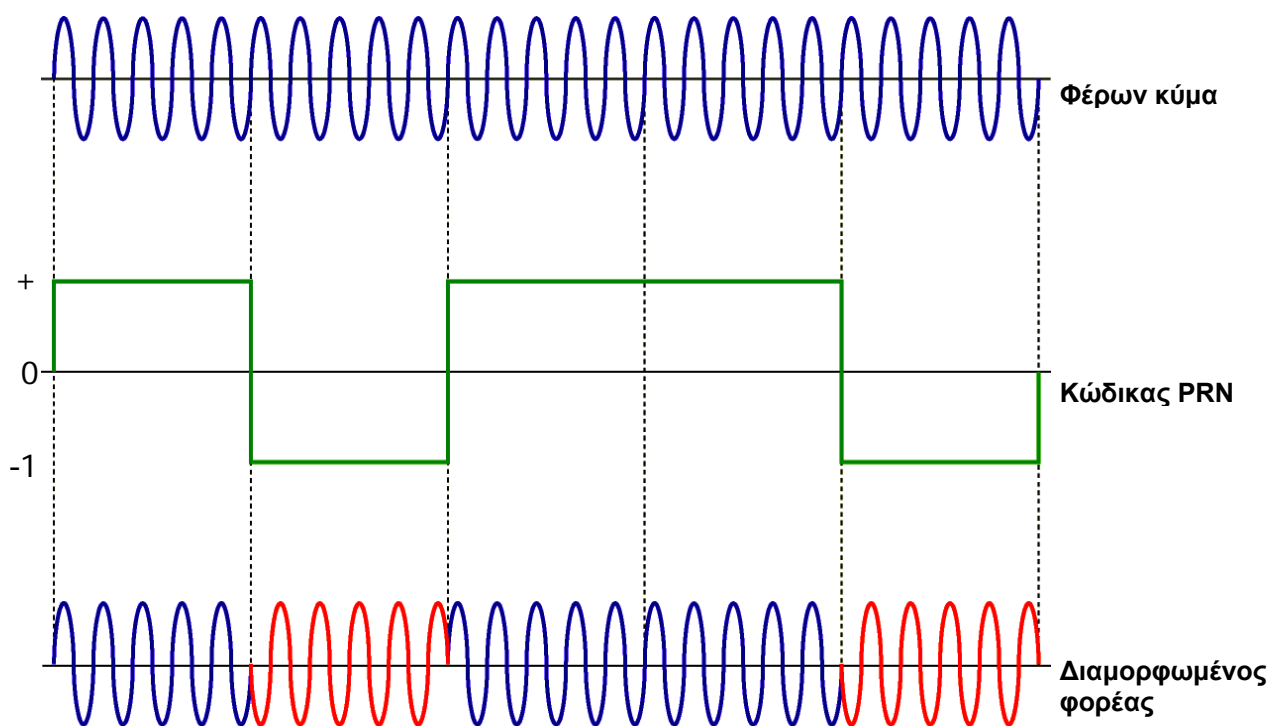
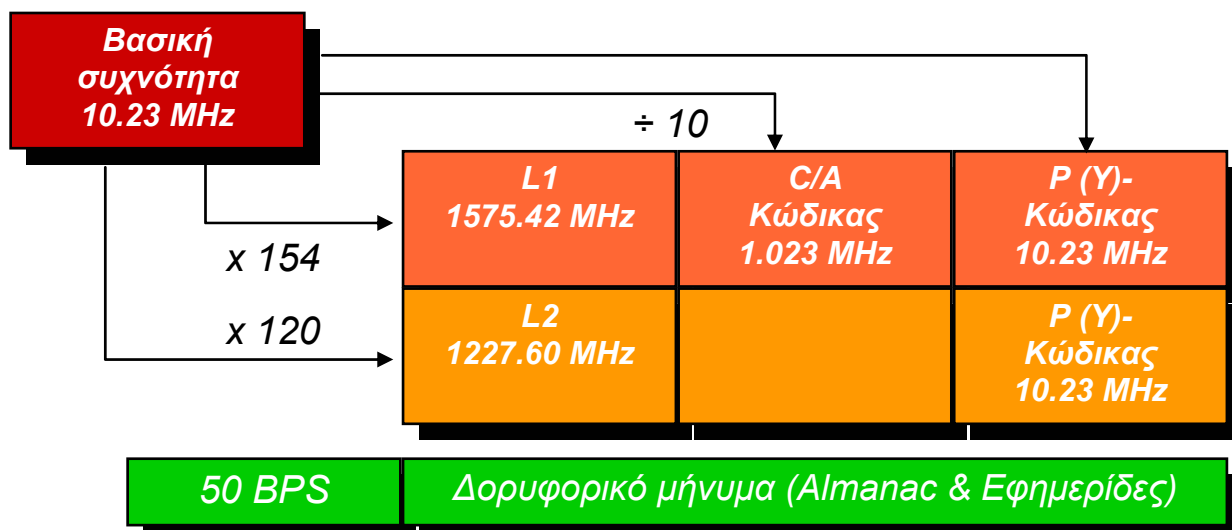
1.3. Δομή του σήματος του G.P.S.

Οι δορυφόροι του συστήματος G.P.S. εκπέμπουν σε δύο **φέρουσες συχνότητες** (carrier frequencies), την **L1** και **L2**, που παράγονται από την **θεμελιώδη** συχνότητα των **10,23 MHz** (Σχ. 1.8):

$$L1 : 154 \times 10,23 \text{ MHz} = 1575,42 \text{ MHz} (\approx 19,05 \text{ cm})$$

$$L2 : 120 \times 10,23 \text{ MHz} = 1227,60 \text{ MHz} (\approx 24,45 \text{ cm})$$

Η διαμόρφωση των φερουσών συχνοτήτων L1 και L2 (εκπεμπόμενων σημάτων) γίνεται με τον λεγόμενο κώδικα PRN (Pseudo Random Noise Code), ο οποίος αποτελείται από μια σειρά από +1 και -1 που μοιάζει τυχαία (Σχ. 1.9). Συγκεκριμένα υπάρχουν διαθέσιμοι τρεις κώδικες, οι P, C/A και D.

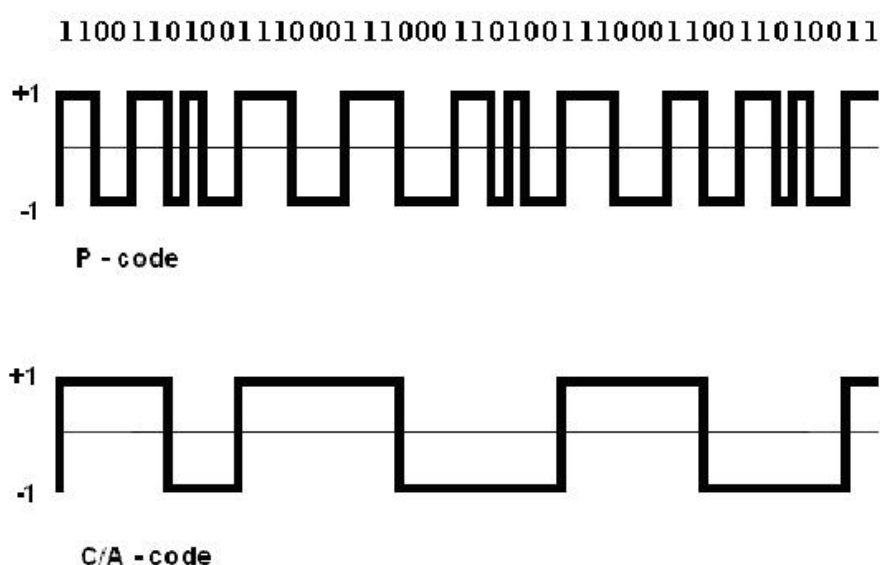


Σχήμα 1.8: Το εκπεμπόμενο σήμα και αρχή διαμόρφωσης φορέα από κώδικα.

- α) Ο πρώτος κώδικας ονομάζεται **P** – ακριβής κώδικας – (Precision code), έχει **συχνότητα** ίση με την θεμελιώδη **$f=10.23$ MHz**, **μήκος παλμού** ≈ 30 m και επαναλαμβάνεται κάθε περίπου **267 ημέρες**. Ο κώδικας P μεταδίδεται τόσο με την L1 όσο και με την L2 (λαμβάνεται δηλαδή και στις δύο συχνότητες). Ένα τμήμα του κώδικα διάρκειας 7 ημερών είναι αποθηκευμένο στην μνήμη του κάθε δορυφόρου. Το τμήμα αυτό ανανεώνεται τα μεσάνυχτα του Σαββάτου προς Κυριακή 0^h UT (Σχ. 1.8 και 1.9). Στην περίπτωση που έχουμε εσκεμμένη

παρέμβαση για μείωση της ακριβείας στην κατάσταση «μη-παρεμβολής» (Anti-Spoofing, AS – βλέπε παρακάτω) ο κώδικας P πολλαπλασιάζεται με έναν άγνωστο κώδικα W και μετατρέπεται σε ένα κρυπτογραφημένο κώδικα Y, στον οποίο έχουν πρόσβαση μόνο εξουσιοδοτημένοι χρήστες .

- β) Ο δεύτερος κώδικας ονομάζεται **κώδικας C/A** (Coarse/acquisition code), είναι **πολύ χαμηλότερης ακρίβειας** από τον P (10 φορές χαμηλότερη), έχει συχνότητα $f=1,023$ MHz και **επαναλαμβάνεται κάθε 1 msec** (Σχ. 1.8 και Σχ. 1.9). Διαμορφώνεται και κατά συνέπεια μεταδίδεται μόνο στη συχνότητα L1.

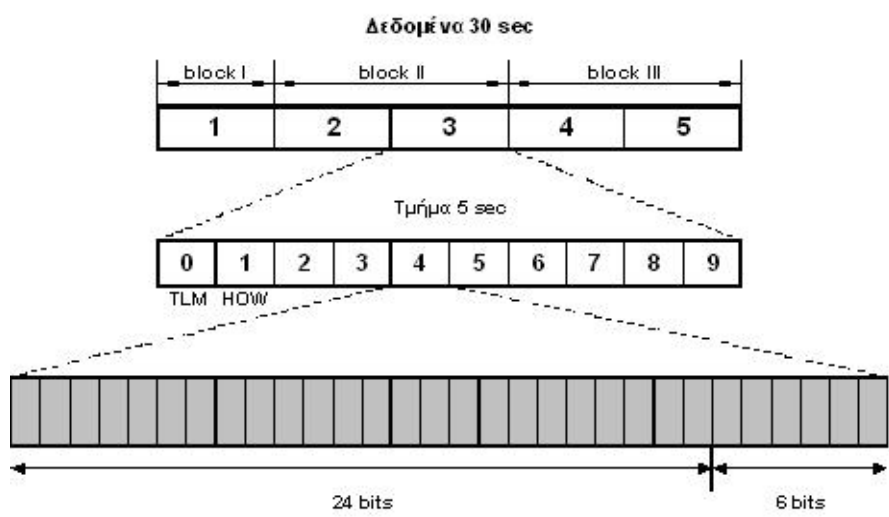


Σχήμα 1.9: Μορφή των κωδικών P και C/A.

- γ) Ο τρίτος κώδικας ονομάζεται **κώδικας D** (Data code) ή και μήνυμα ναυσιπλοΐας (navigation message). Αποτελείται από μια σειρά από bits και έχει συχνότητα 50 Hz ενώ παρέχει πληροφορίες για το χρόνο εκπομπής του σήματος από το δορυφόρο σε κάθε χρονική στιγμή, για τις διορθώσεις στις ατμοσφαιρικές καθυστερήσεις των δορυφορικών χρονομέτρων, για τα στοιχεία τροχιάς των δορυφόρων κ.λ.π. (Σχ. 1.10). Το κάθε ναυτιλιακό μήνυμα περιέχει πληροφορία 1500 bits συνολικής διάρκειας 30 sec και ρυθμό μετάδοσης 50 bps. Το μήνυμα περιέχει πέντε τμήματα 300 bits διάρκειας 5 sec το καθένα καταναμεμένα σε 3 block. Το κάθε τμήμα έχει 10 λέξεις των 30 bits από τα οποία τα έξι είναι σήματα ελέγχου. Οι δύο πρώτες λέξεις κάθε τμήματος είναι οι: α) **TLM (Telemetry)** που περιέχει ένα δείγμα συγχρονισμού με το οποίο διευκολύνεται η πρόσβαση στα στοιχεία της ναυτιλίας και β) **HOW (Hand Over Word)** που περιέχει στοιχεία για την μετάβαση στον κώδικα P και είναι απαραίτητο για τον άμεσο εντοπισμό του μέρους του P κώδικα που λαμβάνει ο δέκτης. Η δομή των τριών block που

περιλαμβάνονται στο σήμα ναυτιλίας φαίνονται στο σχήμα 3.1 και αναλυτικά περιλαμβάνουν:

1. Το block I περιλαμβάνει το πρώτο τμήμα και περιέχει πληροφορίες για την συμπεριφορά του χρονομέτρου του δορυφόρου.
2. Το block II περιλαμβάνει τα τμήματα 2 και 3 και περιέχει τις παραμέτρους που χρησιμεύουν για τον υπολογισμό των τροχιών των δορυφόρων.
3. Το block III περιλαμβάνει τα τμήματα 4 και 5 και περιέχει στοιχεία για την συμπεριφορά του χρονομέτρου, τις εφημερίδες όλων των δορυφόρων του συστήματος GPS και στοιχεία για την ιονοσφαιρική διόρθωση. Το μεγαλύτερο τμήμα του αφορά πληροφορίες για εξουσιοδοτημένους χρήστες.



Σχήμα 1.10: Δομή του μηνύματος ναυτιλιακού (navigation message).

Κάθε Σάββατο τα μεσάνυχτα όλοι οι κώδικες επαναλαμβάνονται από την αρχή. Για κάθε δορυφόρο αντιστοιχεί επίσης μία μοναδική δομή του κώδικα P. Πρέπει να σημειώσουμε εδώ ότι ο ακριβής κώδικας P δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πολιτικούς σκοπούς σε συνεχή βάση. Από την αρχή λειτουργίας του το G.P.S. χρησιμοποιήθηκε για στρατιωτικούς σκοπούς, με αποτέλεσμα, ελάχιστες να είναι οι φορές που ο ακριβής κώδικας P να αφήνεται σε ελεύθερη πολιτική χρήση.

1.3.1 Μέθοδοι παραποίησης του σήματος του G.P.S

Η παραποίηση του σήματος του GPS εφαρμόζεται από τις στρατιωτικές υπηρεσίες των Η.Π.Α. με σκοπό τη μείωση της ακρίβειας του συστήματος G.P.S, όταν αυτό χρησιμοποιείται από μη εξουσιοδοτημένους χρήστες. Οι παραποιήσεις είναι βέβαια γνωστές στους εξουσιοδοτημένους χρήστες, οι οποίοι μπορούν να

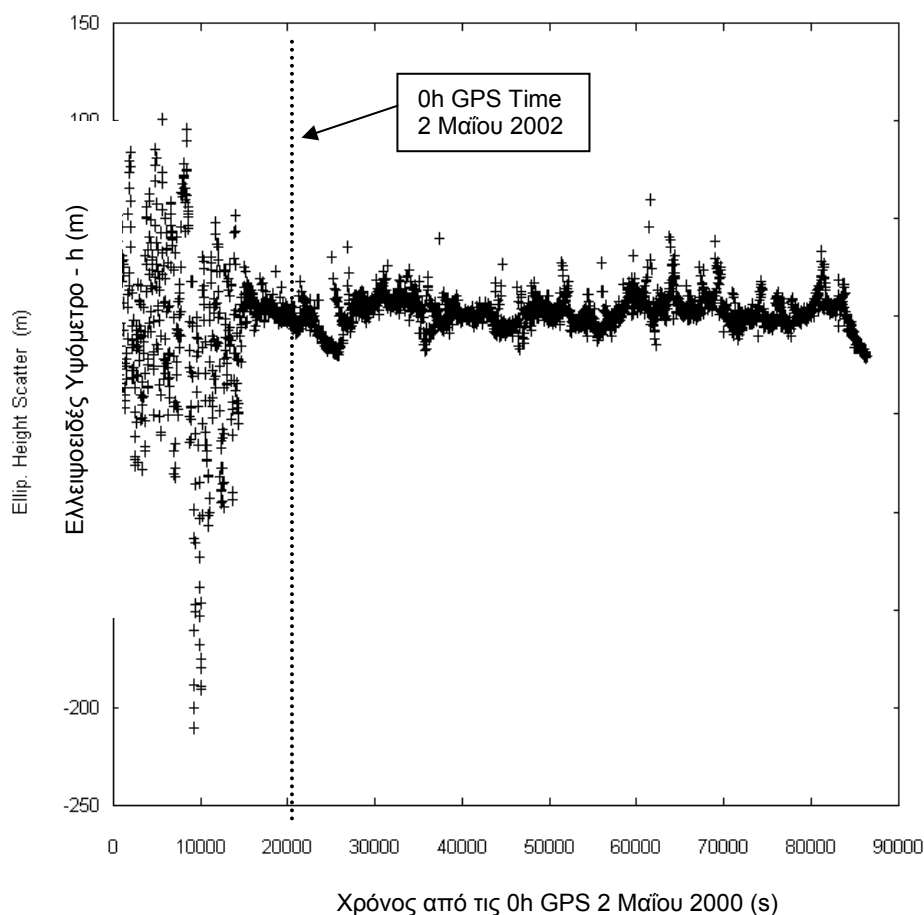
ανακτήσουν τις ορθές παραμέτρους. Η παραποίηση του σήματος επιτυγχάνεται με δύο μεθόδους :

1) Την μέθοδο Anti-Spoofing

Η μέθοδος **Anti-Spoofing**, “αποκρύπτει” τον κώδικα P, πολλαπλασιάζοντάς τον με κάποιον μυστικό **κώδικα W**. Αποτέλεσμα του παραπάνω συνδυασμού είναι η εμφάνιση ενός κρυφού **κώδικα Y**, συνεπώς ο μη εξουσιοδοτημένος χρήστης δεν μπορεί να έχει πρόσβαση στον κώδικα P με αποτέλεσμα εσφαλμένους υπολογισμούς. Η παραμόρφωση λόγω του Anti-Spoofing ενεργοποιήθηκε στις **00:00 UTC στις 31 Ιανουαρίου 1994** και παραμένει μέχρι σήμερα.

2) Την μέθοδο επιλεκτική διαθεσιμότητα (SA = Selective Availability).

Η μέθοδος **επιλεκτική διαθεσιμότητα** στηρίζεται σε δύο μεθόδους παραποίησης των πληροφοριών της μεταδιδόμενης εφημερίδας, στη **μέθοδο δ** που προστίθενται σφάλματα στις παραμέτρους του ρολογιού του δορυφόρου, και στη **μέθοδο ε** που προστίθενται σφάλματα στις παραμέτρους της τροχιάς του δορυφόρου. Με τον τρόπο αυτό, η αρχική ακρίβεια των 15-40 m που προκύπτει από ψευδοαποστάσεις μέσω του κώδικα C/A, μειώνεται σε ≈ 100 m (φ,λ) και ≈ 150 m (h). Η μέθοδος της επιλεκτικής διαθεσιμότητας για τη μείωση της ακρίβειας απενεργοποιήθηκε την 1^η Μαΐου 2002 οπότε και η αρχική ακρίβεια που προσφέρει το G.P.S. στον προσδιορισμό θέσης βελτιώθηκε (βλ. Σχ. 1.11).



Σχήμα 1.11: Διασπορά προσδιοριζόμενου με GPS ελλειψοειδούς υψόμετρου πριν και μετά τις 2 Μαΐου 2000.

1.4 Αρχή λειτουργίας του G.P.S.

Η αρχή λειτουργίας του G.P.S. είναι η ακόλουθη: Στο δέκτη G.P.S. γίνεται η λήψη και η ανάλυση του λαμβανομένου σήματος και μέσω μετρήσεων αποστάσεων μεταξύ δορυφόρων-δέκτη, προσδιορίζεται η θέση του δέκτη. Επειδή οι δέκτες G.P.S. διαθέτουν κατά κανόνα χρονόμετρα χαμηλής ή μέσης ακρίβειας και όχι ατομικά χρονόμετρα (ρουβιδίου ή καισίου) όπως οι δορυφόροι του συστήματος, εκτός των ατμοσφαιρικών χρονικών καθυστερήσεων έχουμε και τις χρονικές καθυστερήσεις που οφείλονται κυρίως στο χρονόμετρο του δέκτη, αλλά και δευτερευόντως, του δορυφόρου. Έτσι, κατά τον προσδιορισμό θέσης ενός δέκτη, στις **άγνωστες ποσότητες** εκτός από τις **τρεις συντεταγμένες του δέκτη (X,Y,Z ή φ,λ,η)** προστίθεται και ένας **επιπλέον άγνωστος dT**, που αντιπροσωπεύει τη **χρονική καθυστέρηση του χρονομέτρου του δέκτη σε σχέση με το χρόνο αναφοράς του G.P.S.** Ο χρόνος αναφοράς του G.P.S. έχει έναρξη την 0^h U.T.C. της 5^{ης} Ιανουαρίου

του 1980. Η προσδιοριζόμενη θέση (X,Y,Z) αναφέρεται στο Παγκόσμιο Γεωκεντρικό Σύστημα Αναφοράς 1984, γνωστό ως WGS84.

Οι μετρήσεις του G.P.S. διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες: σε μετρήσεις **ψευδοαποστάσεων** (pseudoranges) και σε μετρήσεις **φάσεων** (phase measurements). Ακριβέστερες από αυτές είναι οι μετρήσεις φάσεων. Υπάρχουν γενικά δύο μέθοδοι προσδιορισμού θέσης η **στατική** και η **κινηματική**. Στο στατικό προσδιορισμό ο δέκτης είναι στάσιμος και οι παρατηρήσεις διαρκούν από λίγα λεπτά μέχρι μερικές ώρες, ενώ στον κινηματικό ο δέκτης βρίσκεται σε κίνηση λαμβάνοντας συνεχώς το δορυφορικό σήμα. Λεπτομερέστερα για τις μετρήσεις και τις μεθόδους προσδιορισμού θέσης με το GPS θα αναφερθούμε σ' ένα από τα επόμενα κεφάλαια.

Ο τρόπος προσδιορισμού θέσης με G.P.S. μπορεί να είναι **απόλυτος** (absolute positioning), ή **σχετικός** (relative positioning). Στον **απόλυτο εντοπισμό** η θέση του δέκτη (X,Y,Z) **υπολογίζεται ως προς το γεωκεντρικό σύστημα αναφοράς** ενώ στο **σχετικό** η θέση του δέκτη καθορίζεται **σε σχέση με κάποιο άλλο δέκτη** (ΔX,ΔY,ΔZ). Στο σχετικό εντοπισμό αντί των πρωτογενών παρατηρήσεων είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν οι λεγόμενες διαφορές (ψευδοαποστάσεων, φάσεων), συνήθως απλές, διπλές ή και τριπλές διαφορές.

Στις εφαρμογές με απαιτήσεις μεγάλης ακριβείας, π.χ. αποτυπώσεις σε μεγάλες κλίμακες, γεωδαιτικά δίκτυα κάθε είδους, χρησιμοποιούνται οι τεχνικές του σχετικού προσδιορισμού (**διαφορικός εντοπισμός - differential positioning**).

Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα για το οποίο θα αναφερθούμε εκτενέστερα σε επόμενο κεφάλαιο είναι η λεγόμενη αρχική ασάφεια του αριθμού των ακεραίων κύκλων φάσης (αρχική ασάφεια φάσης – phase ambiguity) καθώς και η ολίσθηση αυτών (cycle slip). Υπάρχουν διάφορες τεχνικές που εφαρμόζονται για τον εντοπισμό και τη διόρθωση των παραπάνω σφαλμάτων. Τα αντίστοιχα προγράμματα (software) που διατίθενται από τις διάφορες εταιρείες δεκτών G.P.S. (π.χ. Leica Geosystems, Aztech, Trimble, κ.λπ.) έχουν καταφέρει να απαλείψουν σε ένα μεγάλο βαθμό όλα τα εμφανιζόμενα προβλήματα.