

# ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

ΣΧΟΛΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ ΚΑΙ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ



ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΔΙΠΜΣ

«Διοίκηση στη Ναυτική Επιστήμη και  
Τεχνολογία»

**GPS: Βασικές αρχές λειτουργίας και εφαρμογές  
στη Ναυτιλία**

Γεώργιος Ζήσης (ΑΜ: ΜΝΣΝΔ20023)

Διπλωματική Εργασία

που υποβλήθηκε στο Τμήμα Ναυτιλιακών Σπουδών

του Πανεπιστημίου Πειραιώς ως μέρος των

απαιτήσεων για την απόκτηση του Μεταπτυχιακού

Διπλώματος Ειδίκευσης στην 'Διοίκηση

στη Ναυτική Επιστήμη και Τεχνολογία'

Πειραιάς

Μάρτιος 2022





## ΔΗΛΩΣΗ ΑΥΘΕΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ / ΖΗΤΗΜΑΤΑ COPYRIGHT

«Το άτομο το οποίο εκπονεί την Διπλωματική Εργασία φέρει ολόκληρη την ευθύνη προσδιορισμού της δίκαιης χρήσης του υλικού, η οποία ορίζεται στην βάση των εξής παραγόντων: του σκοπού και χαρακτήρα της χρήσης (εμπορικός, μη κερδοσκοπικός ή εκπαιδευτικός), της φύσης του υλικού, που χρησιμοποιεί (τμήμα του κειμένου, πίνακες, σχήματα, εικόνες ή χάρτες), του ποσοστού και της σημαντικότητας του τμήματος, που χρησιμοποιεί σε σχέση με το όλο κείμενο υπό copyright, και των πιθανών συνεπειών της χρήσης αυτής στην αγορά ή στη γενικότερη αξία του υπό copyright κειμένου».



«Η παρούσα Διπλωματική Εργασία εγκρίθηκε ομόφωνα από την Τριμελή Εξεταστική Επιτροπή που ορίστηκε από τη ΕΔιΕ του ΔΠΜΣ σύμφωνα με τον Κανονισμό Λειτουργίας του ΔΠΜΣ ‘Διοίκηση στη Ναυτική Επιστήμη και Τεχνολογία’.

Τα μέλη της Επιτροπής ήταν:

- Δρ. Χ. Βαζούρας (Επιβλέπων)
- Δρ. Α. Τσιγκόπουλος
- Δρ. Μ. Φαφαλιός

Η έγκριση της Διπλωματικής Εργασίας από το Τμήμα Ναυτιλιακών Σπουδών του Πανεπιστημίου Πειραιώς δεν υποδηλώνει αποδοχή των γνώμων του συγγραφέα.»



## **Ευχαριστίες**

Θα ήθελα να απευθύνω τις θερμές μου ευχαριστίες στον καθηγητή μου Δρ. Χ. Βαζούρα για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε καθ' όλη τη διάρκεια της συνεργασίας μας από την έναρξη μέχρι και το πέρας της διπλωματικής μου εργασίας, καθώς επίσης και για την άρτια εκπαίδευση που έλαβα από αυτόν, αλλά και για την καθοδήγηση και την υπομονή του κατά τη διάρκεια υλοποίησης της παρούσας εργασίας.

Επιπρόσθετα, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια που μου στάθηκε σε όλα τα βήματα της φοίτησης μου σε προπτυχιακό και μεταπτυχιακό επίπεδο, καθώς και για την καθημερινή τους στήριξη σε όλες τις πτυχές της ζωής μου.

## **Πρόλογος**

Με την πάροδο των ετών, η τεχνολογία συνδέθηκε άρρηκτα με την καθημερινότητα των ανθρώπων. Πλέον, αποτελεί εξαίρεση το να μην διαθέτει κάποιος ένα «έξυπνο» κινητό, μια «έξυπνη» τηλεόραση ή ακόμη και ένα «έξυπνο» σπίτι. Μια από τις σημαντικότερες όμως τεχνολογικές καινοτομίες που βρίσκει εφαρμογή σε διάφορους τομείς της ζωής μας, είναι το Παγκόσμιο Δορυφορικό Σύστημα Πλοήγησης (GNSS).

Στην παρούσα διπλωματική θα ασχοληθούμε με τις βασικές αρχές λειτουργίας του πρώτου συστήματος GNSS γνωστό και ως GPS (Global Positioning System). Αρχικά στο πρώτο μέρος θα πραγματοποιηθεί μια σύντομη ιστορική αναδρομή όπου θα παρουσιαστεί το πως ξεκίνησε το GPS. Στη συνέχεια θα γίνει μια θεωρητική ανάλυση του τρόπου με τον οποίο λειτουργεί. Ακολούθως θα παρουσιαστούν οι εφαρμογές στη Ναυτιλία και τέλος θα γίνει μια σύντομη αναφορά στα υπόλοιπα συστήματα GNSS. Σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι να γίνει μια σύντομη ανάλυση με την οποία ο δέκτης μπορεί να κατανοήσει τη λειτουργία του εν λόγω συστήματος, δίχως να εμβαθύνει σε μαθηματικούς υπολογισμούς.



## Περιεχόμενα

Ευχαριστίες .....	iii
Πρόλογος .....	iii
Περιεχόμενα .....	iv
Περίληψη .....	vi
Λέξεις κλειδιά – key words .....	vi
Κεφάλαιο 1 <sup>ο</sup> : Εισαγωγή - Περιγραφή του προβλήματος .....	1
Κεφάλαιο 2 <sup>ο</sup> : Ιστορική Αναδρομή και Περιγραφή Βασικών Εννοιών [4], [5], [6].....	2
2.1 Γιατί ο άνθρωπος ενδιαφέρεται για τον προσδιορισμό της θέσης του; .....	2
2.2 Η ιστορία της πλοήγησης (navigation) .....	2
2.3 Σύντομο ιστορικό του GPS .....	3
2.4 Βασικές έννοιες .....	4
Κεφάλαιο 3: Αρχιτεκτονική του GPS [1], [4], [5], [10], [11].....	6
3.1 Τμήμα του διαστήματος (Space Segment) .....	6
3.2 Τμήμα Ελέγχου (Control Segment).....	7
3.3 Τμήμα Χρήστη (User Segment).....	7
Κεφάλαιο 4 <sup>ο</sup> : Το σήμα του GPS [1] έως [11] .....	8
4.1 Βασικές αρχές. ....	8
4.2 Αρχικό σχέδιο – Κώδικες – Διαμόρφωση σήματος .....	8
4.2.1 Ranging Codes .....	8
4.2.2 Navigation Message .....	10
4.2.3 Almanac .....	11
4.2.4 Σήματα και διαμόρφωση.....	11
4.2.5 Νέες συχνότητες .....	12
Κεφάλαιο 5: Αρχές λειτουργίας Δέκτη – Αποδιαμόρφωση σήματος [13].....	15
5.1 Επιλογή του Δορυφόρου.....	15
5.2 Εντοπισμός σήματος .....	16
5.3 Εντοπισμός Κώδικα (Code Tracking).....	16
5.4 Εντοπισμός της φέρουσας.....	16
5.5 Δεδομένα – Αποδιαμόρφωση .....	17
5.6 Εντοπισμός του P(Y) κώδικα .....	17
5.7 Υπολογισμών των PVT στοιχείων .....	17
Κεφάλαιο 6: Κατηγοριοποίηση δεκτών GPS [1] .....	18
6.1 Διαχωρισμός ως προς τη λήψη σημάτων .....	18



6.2 Διαχωρισμός βάσει καναλιών λήψης.....	19
6.3 Διαχωρισμός ανάλογα τη χρήση .....	19
Κεφάλαιο 7: Σφάλματα του GPS [1].....	21
7.1 Σφάλματα που οφείλονται στον δορυφόρο.....	21
7.1.1 Σφάλμα δορυφορικής εφημερίδας.....	21
7.1.2 Σφάλμα στο ατομικό ρολόι του δορυφόρου.....	21
7.1.3 Επιλεκτική διαθεσιμότητα.....	22
7.2 Σφάλμα που προκύπτει από τον δέκτη.....	22
7.3 Σφάλματα κατά τη διάδοση του σήματος.....	22
7.3.1 Διάδοση στην Ιονόσφαιρα.....	22
7.3.2 Διάδοση στην τροπόσφαιρα.....	22
7.4 Σφάλμα πολυανακλάσεως – multipath effect.....	23
Κεφάλαιο 8: Χρήση του GPS στη Ναυτιλία [1], [12].....	24
8.1 Προσδιορισμός θέσης – Προετοιμασία πλου – Εκτέλεση πλου .....	24
8.2 Υπολογισμός ταχύτητας ως προς τον βυθό – πορείας πλοίου ως προς τον βυθό .....	24
8.3 Σύστημα AIS .....	25
8.4 Διασύνδεση GPS με συστήματα ηλεκτρονικού χάρτη (ECS) – ολοκληρωμένα συστήματα απεικόνισης και πληροφοριών (ECDIS).....	26
8.5 Ασφάλεια Αγκυροβολίου.....	27
8.6 Fleet Tracking .....	27
8.7 Υδρογραφικές – Υποθαλάσσιες εργασίες .....	28
Κεφάλαιο 9 <sup>ο</sup> : Λοιπά συστήματα GNSS [1].....	29
9.1 Σύστημα GLONASS .....	29
9.2 Σύστημα Galileo .....	29
9.3 Σύστημα BeiDou .....	30
Συμπεράσματα .....	31
Πηγές.....	32



## Περίληψη

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας εξετάζεται η τεχνολογία του Παγκόσμιου Συστήματος Προσδιορισμού Θέσης (Global Positioning System) και οι εφαρμογές του στη Ναυτιλία. Η ιστορική αναδρομή αναφέρεται στη μορφή και τη χρήση του συστήματος και έχει ως στόχο την ανάδειξη της σημασίας του GPS στη σχέση του ανθρώπου με την πλοήγηση. Στη συνέχεια γίνεται αναφορά στο σήμα του GPS από το κομμάτι παραγωγής του μέχρι και την τελική αποδιαμόρφωσή του από τον δέκτη, και στην επίλυση της εξίσωσης προσδιορισμού των στοιχείων του δέκτη. Αναφέρονται τα βασικά χαρακτηριστικά του σήματος, όπως οι κώδικες που διαμορφώνουν το φέρον σήμα και πως ο κάθε κώδικας χρησιμοποιείται από το δέκτη. Τέλος, παρουσιάζονται κάποια συστήματα GPS που χρησιμοποιούνται από άλλες χώρες και αναφέρονται κάποιες πρακτικές εφαρμογές ενός συστήματος GPS στην καθημερινότητα μας.

## Abstract

This dissertation is dedicated to an analysis of the Global Positioning System (GPS) and its applications in Seafaring. The historical timeline refers to the system's principles and utilization and aims to highlight the influence that GPS has implemented between humans and navigation. Then, reference is made to the GPS signal from its composition until its final demodulation by the receiver, and to the solution of the receiver's position equation. The key characteristics of the signal are mentioned, such as the codes that modulate the carrier wave and how each code is used by the receiver. Finally, some GPS systems used by other countries are presented and some practical applications of a GPS system in our daily life are mentioned.

## Λέξεις κλειδιά – key words

Ναυτιλία, πλοήγηση, Παγκόσμιο σύστημα προσδιορισμού θέσης, δορυφόρος





## **Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup> : Εισαγωγή - Περιγραφή του προβλήματος**

Το Παγκόσμιο Δορυφορικό Σύστημα Εντοπισμού Θέσης (GPS) αποτελεί ένα σύστημα προσδιορισμού θέσης και κατεύθυνσης το οποίο βασίζεται στην τεχνολογία των δορυφόρων. Στην πραγματικότητα αναφερόμαστε σε μια τεχνολογία η οποία με συγκεκριμένες τεχνικές καταφέρνει να προσδιορίσει τη θέση κάποιου χρήστη σε σχέση με ένα σύστημα δορυφόρων οι οποίοι περιστρέφονται γύρω από τη Γη. Η βασική αρχή λειτουργίας με μια πολύ απλή προσέγγιση μπορεί να αναλυθεί ως ακολούθως: ο χρήστης προσπαθεί να προσδιορίσει τη θέση του, ενώ το σύνολο των δορυφόρων βρίσκεται σε γνωστές θέσης. Μετρώντας τις αποστάσεις μεταξύ του χρήστη και των δορυφόρων, μπορούμε να προσδιορίσουμε τη θέση του πρώτου.

Η ανωτέρω ανάλυση όμως είναι υπεραπλουστευμένη. Στην πραγματικότητα το πρόβλημα του προσδιορισμού θέσης απαιτεί γνώση ηλεκτρονικών, μηχανικής, γεωδαισίας, μαθηματικών, προγραμματισμού μέχρι και μελέτη των ατμοσφαιρικών στρωμάτων.

Στόχος της διπλωματικής, είναι να παρουσιάσουμε τις βασικές αρχές λειτουργίας του GPS, του τρόπου διάδοσης των σημάτων μεταξύ δορυφόρων και δέκτη, αλλά και να αναλύσουμε συνοπτικά μερικές από τις παραμέτρους που επηρεάζουν τη διαδικασία προσδιορισμού θέσης. Θα γίνει αναφορά στα συστήματα τα οποία αποτελούν το GPS, τη λειτουργία τους αλλά και στον τρόπο με τον οποίο προσδιορίζεται η θέση του χρήστη. Τέλος, θα γίνει μια σύντομη παρουσίαση των κυριότερων εφαρμογών της αναφερόμενης τεχνολογίας στην καθημερινότητα μας.



## Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup>: Ιστορική Αναδρομή και Περιγραφή Βασικών Εννοιών [4], [5], [6]

### 2.1 Γιατί ο άνθρωπος ενδιαφέρεται για τον προσδιορισμό της θέσης του;

Από αρχαιοτάτων χρόνων, ο προσδιορισμός της θέσης ήταν ένα μείζον θέμα που απασχολούσε τον άνθρωπο, κυρίως για τις μετακινήσεις του. Είτε αναφερόμαστε στο δια θαλάσσης εμπόριο είτε σε χερσαίες μεταφορές, τα ερωτήματα που γεννώνται είναι τα ίδια. Πόσο χρόνο χρειάζεται η μετακίνηση από το σημείο Α στο σημείο Β, ποια διαδρομή πρέπει να ακολουθηθεί και πόσο χρόνο απαιτεί αυτή η μετακίνηση; Σε ποιο σημείο της διαδρομής βρισκόμαστε μια δεδομένη χρονική στιγμή; Άλλωστε η σημασία του προσδιορισμού της ακριβούς θέσης δεν περιορίζεται μόνο στην «πλοήγηση», αλλά βρίσκει και πολλές στρατιωτικές εφαρμογές.

### 2.2 Η ιστορία της πλοήγησης (navigation)

Στη βάση της η πλοήγηση αποτελείται από ένα σημείο αφετηρίας και ένα σημείο προορισμού και στόχος της είναι να μεταβούμε από το ένα στο άλλο με τον πιο γρήγορο και ασφαλή τρόπο. Σήμερα, ο πιο εύκολος τρόπος είναι η χρήση ενός έντυπου ή ηλεκτρονικού χάρτη πάνω στον οποίο μπορούμε να χαράξουμε πορείες, να βρούμε διαφορετικές διαδρομές, ακόμα και να υπολογίσουμε τάχιστα τον χρόνο άφιξης και τη διανυόμενη απόσταση.

Ξεκινώντας από τα πρώιμα χρόνια της ναυτιλίας, ο άνθρωπος χρησιμοποιούσε κυρίως την παρατήρηση των ουράνιων σωμάτων ώστε να καταφέρει να προσδιορίσει τη θέση του. Έτσι, η ενασχόληση του με την κίνηση και τη θέση των πλανητών και των αστεριών του κίνησε το ενδιαφέρον για περαιτέρω έρευνα και μελέτη.

Για να μπορέσουμε όμως να προσδιορίσουμε τη θέση μας θα πρέπει να έχουμε ένα σύστημα αναφοράς. Στην πραγματικότητα, οι Αρχαίοι Έλληνες είχαν ήδη επινοήσει το σύστημα του μήκος και πλάτους πάνω στη γήινη σφαίρα. Ο προσδιορισμός του πλάτους ήταν πολύ εύκολος, καθώς επιτυγχανόταν με τον προσδιορισμό του ύψους του Πολικού Αστέρη, είτε ακόμη και του Ηλίου, μια τεχνική που μέχρι και σήμερα διασώζεται για ιστορικούς λόγους. Το πρόβλημα δημιουργείται στον προσδιορισμό του μήκους καθώς δεν υπάρχει κάποιο σημείο αναφοράς ώστε να προσδιοριστεί η ακριβής θέση.

Αργότερα, η τεχνική που χρησιμοποιήθηκε ήταν αυτή της αναμέτρησης. Ο ναυτίλος, ανάλογα με την πορεία που είχε χαράξει αλλά και τον χρόνο που είχε παρέλθει, υπολόγιζε τη θέση του πάνω σε ένα χάρτη. Φυσικά, αυτή η μέθοδος ελλοχεύει πολλούς κινδύνους,



καθώς ήταν αδύνατο να προσδιοριστεί ο ρυθμός που εκπίπτει το πλοίο λόγω των φυσικών φαινομένων που επικρατούσαν στην περιοχή (λ.χ ύπαρξη ρεύματος, ισχυρών ανέμων).

Έτσι λοιπόν, καταλήγουμε στη σημερινή εποχή όπου πλέον υπάρχουν αυτόματα συστήματα προσδιορισμού θέσης επάνω σε ένα χάρτη, βασιζόμενα στην τεχνολογία του GPS.

### 2.3 Σύντομο ιστορικό του GPS

Το Παγκόσμιο Σύστημα Προσδιορισμού Θέσης δημιουργήθηκε από την Αμερικανική Κυβέρνηση με σκοπό τον προσδιορισμό θέσης σε τρεις διαστάσεις. Στην πραγματικότητα, η πρώτη προσπάθεια είχε γίνει με ένα άλλο σύστημα γνωστό ως Transit. Το Transit δημιουργήθηκε με σκοπό τον προσδιορισμό της θέσης των αμερικάνικων υποβρυχίων, αλλά παρατηρήθηκε ότι η ακρίβεια που προσέφερε δεν ήταν αρκετή. Έτσι, παρουσιάστηκε η ανάγκη για δημιουργία ενός δορυφορικού συστήματος που θα χαρακτηριζόταν από ακρίβεια στον προσδιορισμό θέσης, υψηλή διαθεσιμότητα και κάλυψη ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί με ασφάλεια. Το πρόγραμμα του GPS ξεκίνησε το 1973 από το Υπουργείο Άμυνας των ΗΠΑ ενώ ο πρώτος δορυφόρος εκτοξεύθηκε το 1978. Μέχρι το 1995 ένα σύνολο από είκοσι τέσσερις λειτουργικούς δορυφόρους βρισκόταν ήδη σε τροχιά θέτοντας έτσι το GPS σε πλήρη λειτουργία. Βέβαια η χρήση του ήταν περιορισμένη καθώς ανέκαθεν ήταν ελεγχόμενη από τον Αμερικάνικο στρατό. Από τη δεκαετία του 1980 λοιπόν, το GPS γίνεται διαθέσιμο και για πολιτική χρήση. Τη δεκαετία του 1990, η Αμερικανική Κυβέρνηση αποφάσισε την υποβάθμιση της απόδοσης του εν λόγω συστήματος, με ένα πρόγραμμα καλούμενο «Επιλεκτική Διαθεσιμότητα». Η επιλεκτική αυτή διαθεσιμότητα, σήμαινε ότι η Αμερικανική Κυβέρνηση μπορούσε να επιλέξει αν ο χρήστης που βρίσκεται σε οποιαδήποτε μέρος του πλανήτη, θα μπορεί να χρησιμοποιεί την συγκεκριμένη υπηρεσία ή ακόμα και να μειώνει επιλεκτικά την ακρίβεια κατά τον προσδιορισμό της θέσης, με σκοπό τον αποπροσανατολισμό του χρήστη. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η μη διαθεσιμότητα για χρήση από τον Ινδικό στρατό το 1999. Αυτό σταμάτησε το 2000 όπου ψηφίστηκε και ο νόμος κατά της επιλεκτικής διαθεσιμότητας του GPS.

Με την πάροδο των ετών το GPS εξελίχθηκε σε όλους τους τομείς του έως ότου λάβει τη σημερινή μορφή του, με αποτέλεσμα σήμερα να μιλάμε για ένα σύστημα υψηλής ακρίβειας κατά τον προσδιορισμό θέσης το οποίο μπορεί να φτάσει μέχρι και τα μερικά εκατοστά του μέτρου. Όπως είναι φυσικό, το σύστημα αυτό θα συνεχίσει να αναπτύσσεται διαρκώς καθώς καθημερινά δημιουργούνται νέες ανάγκες.



## 2.4 Βασικές έννοιες

α. Προσδιορισμός της θέσης σε δύο διαστάσεις: Ας υποθέσουμε ότι έχουμε έναν άνθρωπο ο οποίος θέλει να προσδιορίσει τη θέση του. Γύρω του υπάρχουν ηχεία τα οποία παράγουν ήχους σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές. Έστω ότι το πρώτο ηχείο εκπέμπει τον ήχο την χρονική στιγμή  $t_0=0$  sec και ότι ο άνθρωπος διαθέτει ένα υψηλής ακρίβειας ρολόι. Χρονομετρώντας τον χρόνο που έκανε για να φτάσει ο ήχος, και λαμβάνοντας υπόψιν ότι ταξίδεψε με την ταχύτητα του ήχου, μπορεί να προσδιορίσει την απόσταση του από το συγκεκριμένο σημείο, δεδομένου φυσικά ότι το σημείο αυτό είναι εξ' αρχής γνωστό. Αν το επαναλάβει για το δεύτερο ηχείο τότε θα έχει μια δεύτερη μέτρηση απόστασης από ένα δεύτερο σταθερό σημείο. Το σημείο τομής των δύο αυτών γραμμών θέσεως θα είναι η πιθανή θέση του ανθρώπου. Επειδή όμως οι γραμμές θέσεως που δημιουργούνται είναι δύο τεμνόμενοι κύκλοι, η πιθανή θέση δεν είναι μοναδική. Συνεπώς χρειάζεται και μια τρίτη γραμμή θέσεως η οποία θα τέμνει σε ένα συγκεκριμένο σημείο τους δύο προηγούμενους κύκλους, και το σημείο αυτό θα αποτελεί την πραγματική θέση του ανθρώπου.

Στην παραπάνω μέθοδο έχει γίνει η παραδοχή ότι το ρολόι του χρήστη με το θεωρητικό ρολόι των πομπών έχουν συγχρονιστεί με υψηλή ακρίβεια. Στην περίπτωση όπου τα ρολόγια είχαν ρυθμιστεί διαφορετικά μεταξύ τους, τότε θα ήταν αδύνατο να προσδιοριστεί η θέση του χρήστη σωστά. Στην πραγματικότητα, οι γραμμές θέσεως που αναφέρθηκαν (στην περίπτωση μας κύκλοι) θα είχαν μεγαλύτερη διάμετρο από την πραγματική, καθώς δεδομένου ότι η ταχύτητα του ήχου είναι σταθερή, αλλά ο μετρούμενος χρόνος είναι μεγαλύτερος, η τελική υπολογιζόμενη απόσταση θα ήταν μεγαλύτερη από την πραγματική. Οι τρεις τεμνόμενοι κύκλοι, αντί για ένα σημείο, θα είχαν δημιουργήσει ένα τρίγωνο γνωστό στη ναυτιλία ως τρίγωνο αβεβαιότητας. Μέσα σε αυτό το τρίγωνο θα βρίσκεται η θέση του ανθρώπου, χωρίς όμως να υπάρχει μεγάλη ακρίβεια.

β. Προσδιορισμός θέσης σε τρεις διαστάσεις: Πέρα από τον προσδιορισμό θέσης σε δύο διαστάσεις, είναι εφικτό να πραγματοποιηθεί η ίδια μέτρηση και σε τρεις διαστάσεις. Στην πρώτη περίπτωση, οι γραμμές θέσεως ήταν κύκλοι ενώ τώρα αναφερόμαστε σε σφαίρες. Ας υποθέσουμε ότι έχουμε έναν δορυφόρο ο οποίος εκπέμπει ένα σήμα (ranging signal όπως θα αναφερθεί παρακάτω). Αυτός ο δορυφόρος διαθέτει ένα δικό του ρολόι ρυθμισμένο να μετράει με ακρίβεια τον χρόνο. Αντίστοιχα, ο τελικός δέκτης (λ.χ μια συσκευή κινητής τηλεφωνίας) έχει και αυτός ένα ρολόι ακριβείας



συγχρονισμένο με του πομπού με το οποίο θα μετρήσει τον χρόνο που έκανε να ταξιδέψει το σήμα. Υπολογίζοντας την απόσταση, δημιουργείται η πρώτη σφαίρα. Επαναλαμβάνοντας το συγκεκριμένο πείραμα με άλλους δορυφόρους, δημιουργούνται περισσότερες σφαίρες οι οποίες τέμνουν την αρχική σε κάποια σημεία. Προφανώς, όσο περισσότερες είναι οι σφαίρες τόσο πιο ακριβής θα είναι ο προσδιορισμός της θέσης. Στον αντίποδα, αν χρησιμοποιήσουμε μόνο τρεις μετρήσεις, είναι πιθανό να μην γνωρίζουμε σε ποια θέση βρίσκεται ο δέκτης καθώς οι τρεις αυτές σφαίρες θα τέμνονται σε δύο σημεία.



### Κεφάλαιο 3: Αρχιτεκτονική του GPS [1], [4], [5], [10], [11]

Το GPS αναλύεται σε τρία βασικά τμήματα: Το διαστημικό, το τμήμα ελέγχου και το τμήμα του τελικού χρήστη. Κάθε ένα από αυτά αποτελεί σημαντικό και αναπόσπαστο τμήμα του συνόλου και είναι υπεύθυνο να εκτελεί μια διαφορετική λειτουργία. Έτσι, το διαστημικό αποτελείται από το σύνολο των δορυφόρων που βρίσκονται σε τροχιά και είναι υπεύθυνο για την αποστολή των σημάτων προς τους επίγειους χρήστες με σκοπό τον προσδιορισμό του χρόνου και της θέσης. Το τμήμα ελέγχου είναι υπεύθυνο για τον έλεγχο της ορθής λειτουργίας και διαθεσιμότητα των συστημάτων με σκοπό την παροχή μιας αδιάλειπτης και αξιόπιστης υπηρεσίας. Τέλος, το τμήμα του τελικού χρήστη (user segment) αποτελείται από το σύνολο των συσκευών που χρησιμοποιούνται για να μεταφραστεί η πληροφορία που λαμβάνεται από το space segment σε πληροφορίες θέσης, χρόνου ή για οποιαδήποτε άλλη χρήση προορίζεται. Στη βιβλιογραφία είναι δυνατόν τα τρία αυτά τμήματα να παρουσιάζονται με διαφορετική ορολογία, όμως σε οποιαδήποτε περίπτωση μεταφράζονται στις ίδιες εκτελούμενες λειτουργίες.

#### 3.1 Τμήμα του διαστήματος (Space Segment)

Το συγκεκριμένο τμήμα αποτελείται από το σύνολο των δορυφόρων που βρίσκονται σε τροχιά και από τους οποίους ο κάθε χρήστης θα καταφέρει να προσδιορίσει τη θέση του. Είναι αυτοί που μεταδίδουν το κωδικοποιημένο μήνυμα το οποίο περιέχει πληροφορίες (λ.χ τη θέση του δορυφόρου). Στο συγκεκριμένο τμήμα, η Αμερικανική Κυβέρνηση έχει δεσμευθεί να έχει πάντα σε λειτουργία τουλάχιστον είκοσι τέσσερις δορυφόρους.

Ως προς την τροχιά τους, οι δορυφόροι αυτοί ακολουθούν μια κυκλική κίνηση η οποία έχει ως αποτέλεσμα να περιστρέφονται γύρω από τη Γη δύο φορές μέσα στην ημέρα. Φυσικά, οι δορυφόροι δεν λειτουργούν αυτόνομα αλλά ως ένα σύστημα, καθώς ένας και μόνο δορυφόρος δεν μπορεί να βοηθήσει στον προσδιορισμό θέσης του δέκτη. Έτσι, η κίνηση τους είναι τέτοια ώστε κατά κύριο λόγο να είναι ορατοί έξι με οκτώ δορυφόροι σε κάθε χρήστη. Θεωρητικά υπάρχουν τουλάχιστον είκοσι τέσσερις διαθέσιμοι όπως αναφέρθηκε, ενώ οι επιπλέον μπορούν να προσδώσουν μεγαλύτερη ακρίβεια αλλά δεν θεωρούνται κομμάτι του συστήματος. Βέβαια τον 2011 η Αμερικανική Πολεμική Αεροπορία κατάφερε να επεκτείνει το πρόγραμμα των είκοσι τεσσάρων «θέσεων» των δορυφόρων στις τροχιές γύρω από τη Γη σε είκοσι επτά πετυχαίνοντας έτσι καλύτερη κάλυψη σχεδόν σε όλη την επιφάνεια της Γης. Φτάνοντας στο σήμερα, υπάρχουν τριάντα



λειτουργικοί δορυφόροι οι οποίοι βρίσκονται σε τροχιά (δεν υπολογίζονται αυτοί οι οποίοι έχουν τεθεί εκτός λειτουργίας).

### **3.2 Τμήμα Ελέγχου (Control Segment)**

Το τμήμα ελέγχου του GPS αποτελείται από ένα σύνολο επίγειων σταθμών οι οποίοι βρίσκονται σε διάφορα μέρη του πλανήτη. Οι σταθμοί αυτοί είναι υπεύθυνοι για τον έλεγχο των δορυφόρων, τον εντοπισμό τους, τον έλεγχο των εκπεμπόμενων σημάτων αλλά μπορούν μέχρι και να αλλάξουν την τροχιά κίνησης αυτών. Στην πραγματικότητα, υπάρχει ένας κεντρικός σταθμός ελέγχου, ένας εφεδρικός, έντεκα κεραίες ελέγχου αλλά και δεκαέξι άλλες τοποθεσίες που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο των δορυφόρων.

### **3.3 Τμήμα Χρήστη (User Segment)**

Το τμήμα αυτό αποτελείται από τους δέκτες του GPS οι οποίοι λαμβάνουν σήματα στην L μπάντα συχνοτήτων, και μπορούν να τα ερμηνεύουν με σκοπό τον προσδιορισμό της θέσης τους αλλά και ακριβή προσδιορισμό του χρόνου. Σήμερα, σχεδόν όλες οι συσκευές με δυνατότητα προσδιορισμού θέσης χρησιμοποιούν έναν δέκτη GPS (πιθανόν να τον συνδυάζουν και με άλλου τύπου δέκτες GNSS).



## Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup>: Το σήμα του GPS [1] έως [11]

### 4.1 Βασικές αρχές.

Η αρχή λειτουργίας του GPS στηρίζεται στη διάδοση ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος από τον δορυφόρο προς τον επίγειο χρήστη. Το εν λόγω σήμα δημιουργείται μέσω ταλάντωσης του ηλεκτρικού πεδίου. Το παραγόμενο λοιπόν σήμα θα διαδοθεί προς τον δέκτη στον οποίο και θα «μεταφραστεί».

Κατά τη διάρκεια όμως της διάδοσης, το σήμα υφίσταται σε κάποιο βαθμό εξασθένηση η οποία εξαρτάται από την απόσταση την οποία έχει διανύσει και μετριέται σε decibel. Συνεπώς, όσο πιο μακριά ταξιδεύει, τόσο πιο πολύ θα εξασθενήσει.

Τα βασικά μεγέθη τα οποία εμπλέκονται στη μελέτη μας είναι η συχνότητα του σήματος, η ταχύτητα του φωτός στο κενό, η φάση του σήματος, το μήκος κύματος και η περίοδος του σήματος. Ενδέχεται να εισέλθουν μερικές ακόμη παράμετροι όπως η ταχύτητα του δέκτη (σε περίπτωση που μιλάμε για κινούμενο σώμα), οι οποίοι δεν απαιτούνται για να κατανοηθεί η βασική αρχή λειτουργίας του συστήματος.

### 4.2 Αρχικό σχέδιο – Κώδικες – Διαμόρφωση σήματος

Το σήμα του GPS περιλαμβάνει πληροφορίες οι οποίες μπορούν να ερμηνευθούν ως απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη, πληροφορίες για την τρέχουσα θέση των δορυφόρων αλλά και για τον χρόνο και την κατάσταση του κάθε δορυφόρου. Για να μεταφερθούν αυτές οι πληροφορίες χρησιμοποιούμε κάποιες συγκεκριμένες συχνότητες οι οποίες μετά από διαμόρφωση περιλαμβάνουν την πληροφορία. Τα διαμορφωμένα σήματα βρίσκονται στην L μπάντα συχνοτήτων, με σκοπό να καταφέρουν να υπερνικήσουν τα φαινόμενα της ατμόσφαιρας και να διαδοθούν μέχρι τον τελικό δέκτη.

Τα σήματα που εκπέμπονται αποτελούνται από δύο ή περισσότερες φέρουσες συχνότητες στην L μπάντα, από ένα ranging code (σειρές από δυαδικά ψηφία που επιτρέπουν στον δέκτη να προσδιορίσει τον χρόνο που ταξίδεψε το σήμα από το δορυφόρο μέχρι αυτόν) καθώς και από navigation data (στοιχεία όπως η θέση των δορυφόρων την τρέχουσα στιγμή, στοιχεία από το ρολόι του δορυφόρου, την κατάσταση του και άλλα).

#### 4.2.1 Ranging Codes

Το αρχικό πλάνο του GPS αποτελείται από δύο PRN ranging codes: τον C/A και τον P-κώδικα, εκ των οποίων ο πρώτος είναι δημόσιος ενώ ο δεύτερος είναι περιορισμένης χρήσης και χρησιμοποιείται συνήθως σε στρατιωτικές εφαρμογές.





Coarse/Acquisition: Αποτελείται από 1023 δυαδικά ψηφία τα οποία εκπέμπονται με ρυθμό 1,023mbit/s με αποτέλεσμα να επαναλαμβάνεται η εκπομπή τους κάθε ένα millisecond. Ως προς τον προσδιορισμό της απόστασης, έχει μικρότερη ακρίβεια από τον P- κώδικα, ενώ κάθε δορυφόρος έχει τον δικό του C/A κώδικα ο οποίος δημιουργείται με τέτοιο τρόπο ώστε ο δέκτης να μπορεί να ξεχωρίζει το ποιος έχει εκπέμψει το λαμβανόμενο σήμα. Υπάρχουν διαθέσιμοι τριάντα δύο κώδικες C/A οι οποίοι είναι συσχετισμένοι με τους δορυφόρους, ενώ υπάρχουν ακόμη πέντε διαθέσιμοι για άλλες χρήσεις (λ.χ για επίγειους πομπούς).

Precision code: Αποτελεί μια PRN ακολουθία, μεγαλύτερη σε μέγεθος από τον C/A κώδικα. Εκπέμπεται μόνο μια φορά την εβδομάδα με σκοπό την αύξηση της ακρίβειας στην απόσταση.

Στην πραγματικότητα υπάρχει ένας κυρίαρχος κώδικας μεγέθους  $2,35 \cdot 10^{14}$  chips<sup>1</sup> ο οποίος χωρίζεται σε τριάντα οκτώ (38) μικρότερα τμήματα. Στους δορυφόρους, έχουν ανατεθεί τα τριάντα δύο (32) από όλα αυτά τα τμήματα, με κάθε δορυφόρο να αναλαμβάνει την αποστολή ενός τμήματος κάθε εβδομάδα. Έτσι λοιπόν, κάθε δορυφόρος θα στείλει το δικό του τμήμα την Κυριακή και ώρα μηδέν. Έτσι για παράδειγμα, ο δορυφόρος που έχει ID 12, θα εκπέμψει το 12<sup>ο</sup> εβδομαδιαίο κομμάτι του συνολικού κώδικα. Η χρήση του ήταν περιορισμένη μέχρι και την 31 Ιανουαρίου του 1994, όπου και έπειτα ήταν διαθέσιμος για όλους τους χρήστες.

Το GPS όμως παρουσίαζε κάποιες αδυναμίες όταν κάποιοι κακόβουλοι χρήστες προσπαθούσαν να μειώσουν την ακρίβειά του με τη χρήση παρεμβολών (jamming). Δημιουργήθηκε λοιπόν, η ανάγκη να αντιμετωπίσουμε το GPS spoofing. Ως GPS spoofing ορίζουμε την επίθεση κατά την οποία ένας πομπός στέλνει ισχυρότερο σήμα GPS από αυτό του δορυφόρου με αποτέλεσμα να επηρεάζεται η σχέση χρόνου και χώρου. Αυτό συμβαίνει γιατί ο δέκτης είναι κατασκευασμένος ώστε να ερμηνεύει το δυνατότερο σήμα που εντοπίζει και να παρακάμπτει τα υπόλοιπα. Έτσι, χρησιμοποιώντας μια λογική πράξη (XOR) μεταξύ του P – κώδικα και μιας ακόμη κρυπτογραφημένης ακολουθίας bit, γνωστή και ως W-κώδικας, παράγουμε τον Y- κώδικα ο οποίος είναι αυτός που τελικά θα εκπεμφθεί από τον δορυφόρο και είναι γνωστός ως P(Y)-κώδικας. Στην πραγματικότητα όμως, μόνο οι στρατιωτικοί δέκτες έχουν γνώση του «κλειδιού» αποκρυπτογράφησης του

---

<sup>1</sup> Η λέξη chips χρησιμοποιείται πολλές φορές αντί του bit για να υποδηλώσει ότι οι PRN κώδικες δεν περιέχουν δεδομένα



P(Y) κώδικα, ενώ οι πολιτικοί δέκτες δεν έχουν πρόσβαση. Έτσι, ο P(Y) κώδικας έχει στρατιωτικές εφαρμογές όπου είναι σημαντικό το αδιάβλητο της ακρίβειας του GPS.

#### 4.2.2 Navigation Message

Πέραν όμως των ανωτέρω, για να μπορέσει να προσδιορίσει τη θέση του ένας δέκτης, χρειάζεται να γνωρίζει ακριβή στοιχεία για το χρόνο και τη θέση του κάθε δορυφόρου με τον οποίο αλληλοεπιδρά. Έτσι λοιπόν, θα πρέπει να κωδικοποιήσει τις πληροφορίες αυτές, αλλά και να τις διαμορφώσει μέσα στους προαναφερθέντες κώδικες.

Το navigation message αποτελείται από ένα κύριο πλαίσιο με μέγεθος 37.500 bits το οποίο χωρίζεται σε είκοσι πέντε πλαίσια τα οποία περιλαμβάνουν 1500 bits το κάθε ένα. Επιπλέον, το κάθε πλαίσιο χωρίζεται σε πέντε υποπλαίσια τα οποία αποτελούνται από 300 bits το κάθε ένα. Ο χρόνος που απαιτείται για τη λήψη κάθε πλαισίου είναι τριάντα δευτερόλεπτα, ενώ συνολικά απαιτούνται δωδεκάμιση λεπτά για τη λήψη ολόκληρου του μηνύματος. Οι πληροφορίες που περιλαμβάνει είναι η ώρα, η ημερομηνία, η κατάσταση του δορυφόρου, η ακριβής τροχιά που ακολουθεί, καθώς και πληροφορίες για την κατάσταση και την τροχιακή θέση των υπόλοιπων δορυφόρων, το almanac και άλλα.

Αναλυτικότερα, το κάθε subframe, ξεκινά με την Telemetry Data (TLM) και την Handover Word (HOW) (όπως αναλύονται στην παράγραφο 5.5) και καλύπτουν τα πρώτα εξήντα bits δεδομένων. Τα πρώτο subframe, περιλαμβάνει τις πληροφορίες για το χρόνο του GPS, την κατάσταση και την υγεία του δορυφόρου αλλά και στοιχεία για τη διόρθωση του χρόνου του δορυφόρου (όπως θα αναφερθεί στα σφάλματα που προκύπτουν από το δορυφόρο). Το δεύτερο και το τρίτο subframe περιλαμβάνουν πληροφορίες από την δορυφορική εφημερίδα, ενώ το τέταρτο περιλαμβάνει στοιχεία από το almanac, παραμέτρους για τη διόρθωση ιονοσφαιρικών σφαλμάτων (όπως αναλύεται στα σφάλματα λόγω ιονόσφαιρας) και άλλες πληροφορίες που βοηθούν τον εξοπλισμό του χρήστη να συσχετίσει την συντονισμένη παγκόσμια ώρα με το χρόνο αναφοράς του συστήματος. Το πέμπτο υποτιμήμα περιλαμβάνει πληροφορίες από το almanac και την κατάσταση και υγεία των υπόλοιπων δορυφόρων (για το σύνολο των τριάντα δύο δορυφόρων, οι πληροφορίες χωρίζονται μεταξύ του τέταρτου και του πέμπτου subframe).

Πρωτού όμως προχωρήσουμε σε περαιτέρω ανάλυση, είναι σημαντικό να προσδιορίσουμε τι είναι το almanac (ημερολόγιο) και γιατί είναι τόσο σημαντικό.



### 4.2.3 Almanac

Όπως και στην αστρονομική ναυτιλία, έτσι και στην τεχνολογία του δορυφορικού συστήματος προσδιορισμού θέσης, το almanac αποτελεί ένα πολύ σημαντικό εργαλείο. Οι τρεις κυριότερες χρήσεις του είναι οι εξής:

α. Παρέχει πληροφορίες για τους δορυφόρους και τις θέσεις τους έτσι ώστε όταν ο δέκτης ενεργοποιηθεί, να μπορεί να εντοπίσει πιο γρήγορα τους κοντινούς δορυφόρους και να γλιτώσουμε τους μεγάλους χρόνους αναμονής για τον προσδιορισμό της θέσης μας.

β. Συσχετίζει τον χρόνο του GPS με τον χρησιμοποιούμενο χρόνο σε κάθε σημείο της Γης (λόγου χάριν UTC).

γ. Τέλος, επειδή περιέχει πληροφορίες για τα ιονοσφαιρικά στρώματα, δίνει τη δυνατότητα σε έναν δέκτη που λαμβάνει μόνο μια συχνότητα (όπως θα αναφερθεί παρακάτω), να προσδιορίσει με ακρίβεια τη θέση του εξαλείφοντας το σφάλμα λόγω της ιονοσφαιρικής καθυστέρησης στη διάδοση (σημαντικό αφού στην πραγματικότητα ο δέκτης μετρά χρόνο για να προσδιορίσει την απόσταση).

### 4.2.4 Σήματα και διαμόρφωση

Για να είναι εφικτή η διάδοση του κώδικα προσδιορισμού της απόστασης αλλά και του navigation message από τον δορυφόρο προς τον δέκτη, θα πρέπει να έχει διαμορφωθεί πάνω σε ένα φέρον κύμα. Στην περίπτωση λοιπόν που μελετάμε, δηλαδή του αρχικού σχεδιασμού του GPS, χρησιμοποιήθηκαν δύο βασικές συχνότητες, η L1 και η L2. Η πρώτη έχει συχνότητα 1575,42 MHz, ενώ η δεύτερη 1227,60MHz. Οι δύο αυτές συχνότητες έχουν παραχθεί από μια βασική συχνότητα  $f_0$  η οποία είναι ίση με 10.23 MHz, δηλαδή αποτελούν πολλαπλάσια αυτής. Οι φέρουσες L1 (κύρια συχνότητα) και L2 (δευτερεύουσα συχνότητα) διαμορφώνονται με τη μέθοδο Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)<sup>2</sup> με κώδικες εξάπλωσης φάσματος (Spread Spectrum) που σχετίζονται με κάθε ένα δορυφόρο καθώς και με ένα μοναδικό navigation message. Όλοι οι δορυφόροι θα εκπέμπουν τα σήματα τους χρησιμοποιώντας τη μέθοδο CDMA<sup>3</sup>. Για να καταφέρει ο δέκτης να αναγνωρίσει τον δορυφόρο που έστειλε το σήμα θα πρέπει να αναγνωρίσει την PRN ακολουθία που βρίσκεται μέσα στο σήμα αυτό ταυτίζοντας το με ένα άλλο σήμα –

---

<sup>2</sup> Αποτελεί μέθοδο διαμόρφωσης εξάπλωσης φάσματος με σκοπό να μειώσει τις παρεμβολές μεταξύ διαφορετικών σημάτων. Το εύρος ζώνης (bandwidth) του εκπεμπόμενου σήματος είναι ευρύτερο από το εύρος ζώνης της πληροφορίας που μεταφέρεται.

<sup>3</sup> Code division multiple access (CDMA): Είναι μια μέθοδος στην οποία πολλοί πομποί μπορούν να χρησιμοποιήσουν ένα κοινό τηλεπικοινωνιακό κανάλι. Δίνει τη δυνατότητα χρησιμοποίησης μιας μπάνας συχνοτήτων σε πολλούς χρήστες.



αντίγραφο που παράγεται στον δέκτη. Για να μπορέσει ο δέκτης να μειώσει τα σφάλματα λόγω της ιονόσφαιρας, θα πρέπει να λάβει δύο φέροντα κύματα, συνεπώς οι δέκτες μονής συχνότητας θα πρέπει να χρησιμοποιήσουν κατάλληλα μοντέλα έναντι μιας δεύτερης συχνότητας. Η ανωτέρω διαδικασία περιγράφεται αναλυτικότερα στη συνέχεια της παρούσας διπλωματικής.

Και οι δύο συχνότητες διαμορφώνονται από τον κώδικα «ακρίβειας», ενώ ο C/A κώδικας χρησιμοποιείται μόνο στη διαμόρφωση της L1. Και στις δύο περιπτώσεις, χρησιμοποιείται διαμόρφωση BPSK (Binary Phase Shift Keying), με τη διαφορά όμως ότι η φέρουσα του P-code έχει διαφορά φάσης ενενήντα (90) μοιρών σε σχέση με του C/A.

#### 4.2.5 Νέες συχνότητες

Καθώς βέβαια η τεχνολογία εξελίσσεται, δημιουργήθηκε η ανάγκη για τη δημιουργία νέων συχνοτήτων με σκοπό την επαύξηση των δυνατοτήτων αλλά και της ακρίβειας του GPS. Η μελέτη είναι διαρκής και αποσκοπεί στη βελτιστοποίηση της απόδοσης του εν λόγω συστήματος. Οι συχνότητες παρουσιάζονται συνοπτικά ως ακολούθως:

##### 4.2.5.1 Συχνότητα L2C

Η συγκεκριμένη συχνότητα, αποτελεί τη δεύτερη πολιτική συχνότητα που χρησιμοποιείται και δημιουργήθηκε για να εξυπηρετήσει καθαρά εμπορικούς σκοπούς. Όπως φαίνεται από το όνομα της δεν είναι κάτι διαφορετικό από την ήδη γνωστή L2 συχνότητα, με τη διαφορά ότι το γράμμα C υποδηλώνει τη χρήση της (εκ του civilian). Η συχνότητα αυτή, χρησιμοποιείται κυρίως μεγαλύτερη ακρίβεια στον προσδιορισμό της θέσης. Το μοναδικό πρόβλημα όμως, είναι ότι η συγκεκριμένη συχνότητα εκπέμπεται μόνο από συγκεκριμένους δορυφόρους που έχουν την δυνατότητα αυτή, ενώ παράλληλα θα πρέπει και ο χρήστης να έχει αναβαθμισμένο δέκτη ώστε να μπορεί να εκμεταλλευτεί αυτή τη συχνότητα. Την τρέχουσα εποχή η L2C εκπέμπεται από είκοσι τρεις δορυφόρους ενώ εκτιμάται ότι μέχρι το 2023 θα έχουν γίνει είκοσι τέσσερις.

Ειδικότερα, χρησιμοποιεί δύο ακολουθίες PRN κώδικα για να μεταδώσει την πληροφορία. Η μία ονομάζεται civil – moderate code και η άλλη civil – long length code. Το μήκος της πρώτης είναι 10230 bits ενώ της δεύτερης 767250 bits. Όσον αφορά την πρώτη ακολουθία, η κωδικοποίηση γίνεται με το CNAV μήνυμα το οποίο στην πραγματικότητα είναι μια εξελιγμένη μορφή του NAV και περιέχει μεγαλύτερη ακρίβεια στα δεδομένα που περιέχει. Αντίθετα, ο δεύτερος κώδικας δεν περιλαμβάνει



κωδικοποιημένα δεδομένα και καλείται *dataless sequence*, δηλαδή μια ακολουθία που δεν περιέχει δεδομένα. Βέβαια, αν και δεν περιέχει δεδομένα, προσφέρει αρκετά υψηλό συσχετισμό στο δέκτη.

Αναλυτικότερα για το CNAV, αποτελεί εξελιγμένη μορφή του παλιού *navigation message*, παρέχοντας αρκετά υψηλότερη ακρίβεια εκπέμποντας όμως τα ίδια δεδομένα. Αυτό που αλλάζει, είναι ο τρόπος με τον οποίον στέλνει τα δεδομένα. Τα δεδομένα χωρίζονται σε ψευδοπακέτα τα οποία αποτελούνται από μηνύματα δώδεκα δευτερολέπτων των τριακοσίων bits. Τα σημαντικότερα οφέλη του CNAV είναι ότι χρησιμοποιεί FEC (Forward Error Correction)<sup>4</sup>, ο αριθμός της εβδομάδας παρουσιάζεται με τέτοιο τρόπο (σε 13 bits) ώστε οι εβδομάδες μηδενίζουν κάθε εκατόν πενήντα επτά έτη, δίνει τη δυνατότητα διαλειτουργικότητας με άλλα συστήματα GNSS και το σύστημα σχεδιάστηκε για να λειτουργήσει με εξήντα τρεις δορυφόρους εν αντιθέσει με το NAV message το οποίο λειτουργεί με τριάντα δύο. Η κατάσταση του CNAV message θεωρείται ακόμη υπό δοκιμή.

#### 4.2.5.2 Η L5 συχνότητα

Ουσιαστικά, αναφερόμαστε στην τρίτη κατά σειρά συχνότητα που βρίσκει εφαρμογές στην καθημερινότητά μας. Βέβαια, κύριος στόχος της είναι η επαύξηση της ασφάλειας στις μεταφορές, ενώ μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε περισσότερο απαιτητικές εφαρμογές σε σύγκριση με τις προηγούμενες συχνότητες. Η συχνότητα αυτή είναι στα 1176 MHz όπου η μπάντα συχνοτήτων που χρησιμοποιείται είναι δεσμευμένη για χρήση μόνο για λόγους ασφαλείας.

Μελλοντικά, φαίνεται να βρίσκει εφαρμογή στο σύνολο των μεταφορών (αεροπορικές μεταφορές, δια θαλάσσης, μέσω σιδηρόδρομου κ.α.) αυξάνοντας την ασφάλεια αφού συνδυάζοντας την με την L1 C/A η ακρίβεια θα είναι ακόμη πιο υψηλή. Αν δε χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό και με την L2C, υπόσχεται να προσφέρει ακρίβεια που ξεπερνά το υπό του μέτρο.

Από το 2019 λοιπόν, η αεροπορία της Αμερικής, ξεκίνησε να εκπέμπει την αναφερόμενη συχνότητα, χωρίς όμως να θεωρείται αξιόπιστη η χρήση της καθώς βρίσκεται σε δοκιμαστικό στάδιο και η εκμετάλλευσή της έγκειται στον χρήστη. Στην τρέχουσα χρονική περίοδο, μόνο δεκαέξι δορυφόροι εκπέμπουν τη συγκεκριμένη συχνότητα και αναμένεται να έχουν γίνει είκοσι τέσσερις μέχρι το 2027.

---

<sup>4</sup> Τεχνική κατά την οποία υπάρχει δυνατότητα μείωσης περιορισμένου αριθμού σφαλμάτων χωρίς να απαιτείται η επανεκπομπή του σήματος



Οι βασικές διαφοροποιήσεις που την καθιστούν εξελιγμένη σε σχέση με τις L1 C/A και L2 είναι ότι προσφέρει βελτιωμένη δομή του σήματος, εκπέμπει μεγαλύτερη ισχύ, έχει μεγαλύτερο εύρος δεδομένων (bandwidth) και χρησιμοποιεί την ARNS (Aeronautical RadioNavigation Services) μπάντα συχνοτήτων<sup>5</sup>.

Στην τρέχουσα φάση, θεωρείται ότι η λειτουργία της είναι δοκιμαστική, αποτελείται από δεκαέξι δορυφόρους και χρησιμοποιείται από το GPS Block IIF.

#### 4.2.5.3 M-code signal

Η συγκεκριμένη συχνότητα πήρε το όνομα της από τη λέξη military. Σχεδιάστηκε για καθαρά στρατιωτικές εφαρμογές και χρησιμοποιείται από το στρατό για να αυξηθεί ασφάλεια και ο διαχωρισμός από τις υπόλοιπες πολιτικές συχνότητες ώστε να υπερνικήσει πιθανές παρεμβολές. Ακόμη, προσφέρει ευκολότερη αποδιαμόρφωση από τον δέκτη, καθώς και μεγαλύτερη ευκολία στον εντοπισμό της πράγμα που σημαίνει ότι ο στρατιωτικός δέκτης μπορεί να την χρησιμοποιήσει με μεγαλύτερη ευκολία. Η χρήση της βασίζεται στις ήδη γνωστές δύο συχνότητες L1 και L2.

---

<sup>5</sup> Από 960 MHz έως 1215 MHz



## Κεφάλαιο 5: Αρχές λειτουργίας Δέκτη – Αποδιαμόρφωση σήματος [13]

Για να καταφέρει ο δέκτης να υπολογίσει στοιχεία θέσης, ταχύτητας και χρόνου (Position Velocity Time – PVT) θα πρέπει να ακολουθήσει μια σειρά από βήματα από τον προσδιορισμό του δορυφόρου έως και την τελική επίλυση του προβλήματος προσδιορισμού θέσης.

### 5.1 Επιλογή του Δορυφόρου

Για να ξεκινήσει η διαδικασία προσδιορισμού θέσης, θα πρέπει ο δέκτης αρχικά να προσδιορίσει ποιοι δορυφόροι είναι «ορατοί» από τη θέση στην οποία βρίσκεται. Για τον εντοπισμό του πρώτου ορατού δορυφόρου, χρησιμοποιεί πληροφορίες από το Almanac και από την εκτιμώμενη δική του θέση (προσδιορίζεται είτε από τον δέκτη είτε εισάγεται χειροκίνητα από τον χρήστη). Με αυτόν τον τρόπο, θα αναγνωρίσει ποιοι είναι οι ορατοί δορυφόροι ώστε να επιτύχει τον «εγκλωβισμό» που απαιτείται. Υπάρχει η πιθανότητα βέβαια ο εντοπισμός να είναι άμεσος και η διαδικασία να ξεκινήσει απευθείας. Στην περίπτωση όμως όπου ο δέκτης δεν διαθέτει στοιχεία από το Almanac και την εκτιμώμενη τρέχουσα θέση του, θα πρέπει να μπει σε διαφορετικό mode λειτουργίας, γνωστό ως «έρευνα στον ουρανό» (Search the sky). Αυτό σημαίνει ότι ο δέκτης ψάχνει να εντοπίσει μια PRN ακολουθία και να την ταυτίσει με τον δορυφόρο στον οποίο αντιστοιχεί. Μόλις γίνει αυτή η ταύτιση, ξεκινάει η διαδικασία στην οποία ο δέκτης θα αποδιαμορφώσει την ακολουθία του μηνύματος πλοήγησης (navigation message) με σκοπό να λάβει το Almanac και την κατάσταση των υπόλοιπων ορατών δορυφόρων.

Η αρχιτεκτονική του GPS βασίζεται στο σκεπτικό ότι έχει ο δέκτης κατ' ελάχιστο τέσσερις (4) δορυφόρους εν όψει από τους οποίους μπορεί να λάβει δεδομένα προσδιορισμού θέσης. Ανάλογα την αρχιτεκτονική του δέκτη είναι δυνατόν να επιλέξει να χρησιμοποιήσει ένα επαρκές «δείγμα» από τους πιο χρηστικά καλούς δορυφόρους, να χρησιμοποιήσει το σύνολο των ορατών δορυφόρων είτε να χρησιμοποιήσει μόνο τους τέσσερις κατ' ελάχιστον δορυφόρους όπως αναφέρθηκε. Βέβαια, το αποτέλεσμα δεν θα είναι ίδιο καθώς με τη χρήση όλο και περισσότερων δορυφόρων επιτυγχάνουμε τα εξής:

- α. Αυξάνεται η ακρίβεια κατά τον προσδιορισμό των PVT στοιχείων
- β. Σε περίπτωση όπου υπάρχει στιγμιαία απώλεια ζεύξης με έναν ή περισσότερους δορυφόρους, δεν θα σταματήσει η ροή των PVT στοιχείων προς τον χρήστη καθώς θα υπάρχουν οι ελάχιστοι απαιτούμενοι σε αριθμό δορυφόροι για τον προσδιορισμό τους.



## 5.2 Εντοπισμός σήματος

Για να επιτευχθεί ο προσδιορισμός της θέσης και των στοιχείων από έναν δέκτη GPS, είναι απαραίτητο αυτός να έχει λάβει το σήμα από το δορυφόρο. Το σήμα το οποίο φθάνει είναι αρκετά ασθενέστερο από το θερμικό θόρυβο του ίδιου του δέκτη και αυτό οφείλεται στη διαμόρφωση διασποράς φάσματος (spread spectrum) του σήματος, το τροχιακό ύψος του δορυφόρου (δηλαδή την απόσταση του από τον δέκτη) αλλά και από την ισχύ εκπομπής από τον δορυφόρο.

Για να καταφέρει ο δέκτης να μεταφράσει τις πληροφορίες του λαμβανόμενου σήματος, χρησιμοποιεί ένα δεύτερο σήμα το οποίο είναι παρόμοιο με το πρώτο. Με code correlation τεχνικές, προσπαθεί να ταυτίσει το αρχικό με το δεύτερο σήμα κάνοντας τις κατάλληλες τροποποιήσεις και αλλαγές. Όταν οι κώδικες των δύο σημάτων ταυτιστούν, ο δέκτης παρατηρεί μια καθυστέρηση μεταξύ των δύο αυτών σημάτων. Η καθυστέρηση αυτή είναι ο χρόνος ο οποίος παρήλθε από την στιγμή εκπομπής του σήματος μέχρι την λήψη από την κεραία του δέκτη. Τελικά, αυτός ο χρόνος μεταφράζεται και σε απόσταση μεταξύ δορυφόρου και δέκτη.

## 5.3 Εντοπισμός Κώδικα (Code Tracking)

Για να προσδιοριστούν οι ψευδοαποστάσεις μεταξύ πομπού – δέκτη, χρησιμοποιείται μια επαναλαμβανόμενη διαδικασία εντοπισμού του κώδικα του σήματος. Ο δέκτης δημιουργεί ένα αντίγραφο του C/A κώδικα του δορυφόρου από τον οποίο λαμβάνουμε το σήμα. Με μια συνεχόμενη διαδικασία προσπαθεί να τον ταυτίσει και να μετρήσει τη διαφορά μεταξύ τους (την χρονική καθυστέρηση όπως αναφέρθηκε). Πολλαπλασιάζοντας αυτή την «καθυστέρηση» με την ταχύτητα του ήχου το αποτέλεσμα είναι η ψευδοαπόσταση. Αυτή η διαδικασία αν και πολύπλοκη, μας δίνει τη δυνατότητα να έχουμε αρκετά ακριβείς μετρήσεις απόστασης μεταξύ του δορυφόρου και του τελικού δέκτη.

## 5.4 Εντοπισμός της φέρουσας

Ο δέκτης για να εντοπίσει τη φέρουσα του δορυφόρου, χρησιμοποιεί τους frequency synthesizers οι οποίοι παράγουν μια στατική φάση (stationary phase) στην έξοδο του βρόγχου εντοπισμού του κώδικα. Οι in-phase και quadrature συνιστώσες είναι αυτές που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της φάσης της φέρουσας του δορυφόρου αλλά και του φαινομένου Doppler. Ο εντοπισμός ενός bit δεδομένων γίνεται όταν εντοπιστεί μια ξαφνική αλλαγή στη φάση του λαμβανόμενου σήματος.





Το φαινόμενο Doppler δίνει μια εκτίμηση της σχετικής κίνησης μεταξύ πομπού – δέκτη και έτσι ο υπολογισμός του φαινομένου αυτού με τη χρήση τεσσάρων ή περισσότερων δορυφόρων, μας δίνει στοιχεία για την κίνηση του δέκτη σε τρεις διαστάσεις.

### 5.5 Δεδομένα – Αποδιαμόρφωση

Αφού λοιπόν έχει τελειώσει η διαδικασία εντοπισμού της φέρουσας συχνότητας, τότε το navigation message είναι πλέον διαθέσιμο στον δέκτη. Κάθε κομμάτι του μηνύματος αυτού ξεκινάει με την Telemetry Word (TLM). Επιπλέον, κάθε υποτιμήμα ταυτοποιείται από τα bits που εμπεριέχονται στην Handover Word (HOW), και έτσι αποκωδικοποιούνται επιτυχώς τα μηνύματα. Η Telemetry Word (TLM) είναι η πρώτη λέξη που περιέχεται στο κάθε υποτιμήμα και είναι αυτή που περιέχει πληροφορίες για την παλαιότητα των δεδομένων εφημερίας (ephemeris data), ενώ βοηθά τον δέκτη να αναγνωρίσει την αρχή του υποτιμήματος. Η HOW περιλαμβάνει πληροφορίες για τον χρόνο του GPS, καθώς και τον αριθμό του υποτιμήματος.

### 5.6 Εντοπισμός του P(Y) κώδικα

Για να επιτευχθεί ο εντοπισμός του P(Y) κώδικα, είναι απαραίτητο να γνωρίζει ο δέκτης τον ακριβή χρόνο. Όπως αναφέρθηκε, η HOW περιλαμβάνει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για τον χρόνο του δορυφόρου και έτσι και πληροφορίες για τη φάση του P(Y) κώδικα.

Είναι δυνατόν, ένας κατάλληλα διαμορφωμένος δέκτης να προσπαθήσει να εντοπίσει τον συγκεκριμένο κώδικα, χωρίς ακόμη να έχει προσδιορίσει τον C/A κώδικα, αν ξέρει την ακριβή θέση, χρόνο και τη δορυφορική εφημερία από έναν πρόσφατο υπολογισμό που έχει κάνει σε προγενέστερο χρόνο.

### 5.7 Υπολογισμών των PVT στοιχείων

Αφού ο δέκτης έχει ολοκληρώσει τη διαδικασία συλλογής των απαραίτητων δεδομένων, καλείται να επιλύσει το πρόβλημα προσδιορισμού των PVT στοιχείων. Στην πραγματικότητα ο δέκτης θα λύσει την ίδια εξίσωση κατ' ελάχιστον τέσσερις φορές ώστε να καταφέρει να προσδιορίσει τη θέση του (ο αριθμός των τεσσάρων διαφορετικών επιλύσεων με τέσσερις διαφορετικούς δορυφόρους βασίζεται στο ότι χρησιμοποιώντας τρεις σφαίρες έχουμε δύο σημεία τομής άρα και πιθανές θέσεις του δέκτη. Η τέταρτη σφαίρα είναι αυτή που θα δείξει που βρίσκεται ο δέκτης και όσο περισσότεροι δορυφόροι χρησιμοποιηθούν τόσο αυξημένη θα είναι και η ακρίβεια στον προσδιορισμό της θέσης).



## Κεφάλαιο 6: Κατηγοριοποίηση δεκτών GPS [1]

Η τεχνολογική εξέλιξη με την πάροδο των ετών, έχει επιφέρει πολλαπλές μεταβολές στους δέκτες του GPS. Ενώ αρχικά υπήρχε μόνο ένας τύπος δέκτη με πολύ υψηλό κόστος, σήμερα εντοπίζονται στο εμπόριο πληθώρα δεκτών με διαφορετικές δυνατότητες και διαφορετικό κόστος. Είναι πολύ σημαντικό ο χρήστης να επιλέξει τον κατάλληλο δέκτη με σκοπό να επιτελέσει το έργο που αυτός επιθυμεί. Για να είναι εφικτό αυτό, οι δέκτες κατηγοριοποιούνται σε διάφορες κατηγορίες. Οι κύριες παράμετροι που λαμβάνονται υπόψιν είναι η δυνατότητα λήψης ενός ή περισσότερων σημάτων, ο αριθμός των διαθέσιμων καναλιών λήψης των δορυφορικών σημάτων και τέλος η προοριζόμενη χρήση του.

### 6.1 Διαχωρισμός ως προς τη λήψη σημάτων

1. Δέκτες που λαμβάνουν μια συχνότητα με μέτρηση ψευδοαπόστασης μέσω του κώδικα C/A. Χρησιμοποιούν τη συχνότητα L1 (πολιτική συχνότητα) – (δέκτες ναυτιλιακών εφαρμογών)

2. Δέκτες που λαμβάνουν μια συχνότητα με επιπλέον χρήση της μεθόδου σύγκρισης φάσεως (δέκτες γεωδαιτικών εφαρμογών)

3. Δέκτες δύο συχνοτήτων που λαμβάνουν δύο διαφορετικές συχνότητες. (λ.χ L1 και L2). Τέτοιου τύπου δέκτες προσδίδουν μεγαλύτερης ακρίβειας υπολογισμούς.

4. Δέκτες στρατιωτικών εφαρμογών που χρησιμοποιούν τον M-κώδικα για μέτρηση ψευδοαποστάσεων.

5. Διαφορικοί δέκτες: Έχουν τη δυνατότητα λήψης σημάτων από διαφορικούς σταθμούς ώστε να παρέχουν μεγαλύτερη ακρίβεια. Μια άλλη κατηγορία είναι οι Real Time Kinematic δέκτες οι οποίοι μπορούν και λαμβάνουν στοιχεία από τέσσερις ή περισσότερους διαφορικούς σταθμούς και δίνουν μεγαλύτερη ακρίβεια σε πραγματικό χρόνο.

6. Δέκτες συμβατοί με διαφορετικά συστήματα προσδιορισμού θέσης. Αποτελούν δέκτες που λαμβάνουν την ίδια στιγμή στοιχεία από διαφορετικούς δορυφόρους με σκοπό την επαύξηση της ακρίβειας (λ.χ από το σύστημα GPS, Glonass και Galileo)<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup> Συστήματα GNSS (Global Navigation Satellite Systems)



## 6.2 Διαχωρισμός βάσει καναλιών λήψης

Οι περισσότεροι σημερινοί δέκτες που είναι διαθέσιμοι στο εμπόριο, χρησιμοποιούν από δώδεκα έως και σαράντα κανάλια λήψης και επεξεργασίας του δορυφορικού σήματος. Η διαθεσιμότητα περισσότερων καναλιών δίνει τη δυνατότητα στο δέκτη να παρακολουθεί ξεχωριστούς δορυφόρους. Ανάλογα την υποκατηγορία στην οποία ανήκει ο κάθε δέκτης βάσει των καναλιών έχει και διαφορετικές δυνατότητες. Διακρίνουμε τους πολυκάναλους, τους πολυπλέκτες και τους ακολουθιακούς δέκτες. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν δέκτες οι οποίοι έχουν πολλά κανάλια και πολλές μονάδες επεξεργασίας και έτσι είναι δυνατή η ταυτόχρονη παρακολούθηση και λήψη δεδομένων από διάφορους δορυφόρους. Στη δεύτερη περίπτωση ο δέκτης έχει λιγότερα κανάλια (λ.χ ένα ή δύο) αλλά διαθέτει περισσότερες μονάδες επεξεργασίας συνεπώς υπάρχει εναλλαγή μεταξύ των δορυφόρων ώστε να υπάρχει αδιάκοπη λήψη δεδομένων με πολύ γρήγορες εναλλαγές. Στην τελευταία κατηγορία ανήκουν οι πολύ απλοί δέκτες που διαθέτουν ένα μόνο κανάλι και μονάδα επεξεργασίας.

## 6.3 Διαχωρισμός ανάλογα τη χρήση

Στη συγκεκριμένη περίπτωση, χωρίζουμε τους δέκτες σε υποκατηγορίες ανάλογα με τη χρήση τους. Μπορούμε να διακρίνουμε πολλές υποκατηγορίες όπως:

Μια κατηγορία αποτελούν οι φορητοί δέκτες οι οποίοι χρησιμοποιούνται είτε στη ναυτιλία είτε σε άλλες εφαρμογές. Είναι διαθέσιμοι στο εμπόριο και πολλές φορές χρησιμοποιούνται από πολύ μικρά σκάφη. Οι συγκεκριμένοι δέκτες μοιάζουν με συσκευές κινητής τηλεφωνίας και έχουν μια μικρή οθόνη.

Μια άλλη κατηγορία είναι οι εγκατεστημένοι δέκτες πάνω σε πλοία. Αυτοί οι δέκτες αποτελούνται από μια κεραία η οποία βρίσκεται συνήθως ψηλά στις υπερκατασκευές του σκάφους και από μια οθόνη η οποία βρίσκεται στη γέφυρα του πλοίου. Παρέχει τη δυνατότητα στο ναυτίλο να έχει σε πραγματικό χρόνο τις συντεταγμένες θέσης του, αλλά και στοιχεία κίνησης. Συνήθως, είναι συνδεδεμένα με τα υπόλοιπα ναυτιλιακά βοηθήματα της γέφυρας (όπως για παράδειγμα με το σύστημα ECS <sup>7</sup>)

---

<sup>7</sup> Σύστημα ηλεκτρονικών χαρτών (Electronic Chart System). Αποτελεί σύστημα το οποίο διαθέτει ηλεκτρονικούς χάρτες και διασυνδέεται με τα υπόλοιπα συστήματα της γέφυρας με σκοπό την υποβοήθηση εκτέλεσης ναυσιπλοΐας. Διαφέρει από τα συστήματα ECDIS, καθώς δεν πληροί όλες τις προδιαγραφές που απαιτούνται από τον IMO για τον χαρακτηρισμό του ως ECDIS.



Επιπρόσθετα, υπάρχουν δέκτες οι οποίοι είναι πολύ μικροί σε μέγεθος και χρησιμοποιούνται σε αντικλεπτικά συστήματα αυτοκινήτου, κινητά τηλέφωνα, «έξυπνα» ρολόγια και πολλές ακόμη εφαρμογές.

Μπορούμε να διακρίνουμε πολλές ακόμη κατηγορίες ανάλογα με τη χρήση του κάθε δέκτη, οι οποίες δεν κρίνεται σκόπιμο να αναφερθούν στην τρέχουσα διπλωματική εργασία.



## Κεφάλαιο 7: Σφάλματα του GPS [1]

Όπως και σε κάθε τεχνολογία, έτσι και στην τεχνολογία του GPS είναι δυνατόν να υπάρχουν κάποια σφάλματα που επηρεάζουν την αξιοπιστία και τη λειτουργία του. Στην περίπτωση του GPS, είναι δυνατόν να αντιμετωπιστούν προβλήματα – σφάλματα τα οποία οφείλονται είτε στον δορυφόρο, είτε στον δέκτη είτε ακόμη σφάλματα που δημιουργούνται κατά τη διάδοση του ηλεκτρομαγνητικού κύματος. Ανάλογα λοιπόν το αίτιο διακρίνουμε αυτές τις τρεις κατηγορίες σφαλμάτων οι οποίες χωρίζονται σε επιμέρους κατηγορίες.

### 7.1 Σφάλματα που οφείλονται στον δορυφόρο

#### 7.1.1 Σφάλμα δορυφορικής εφημερίδας

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, ο δορυφόρος είναι υπεύθυνος για να στέλνει τις απαραίτητες πληροφορίες στον δέκτη με σκοπό την επίλυση του προβλήματος προσδιορισμού θέσης, ταχύτητας και χρόνου. Είναι σημαντικό λοιπόν οι πληροφορίες αυτές να μεταδοθούν με ακρίβεια με σκοπό τον ακριβή υπολογισμό των ανωτέρω δεδομένων.

Η πρώτη περίπτωση σφάλματος που μπορεί να παρουσιαστεί, αφορά τις δορυφορικές εφημερίδες. Ο δέκτης θα πρέπει να έχει σαφή και ακριβή στοιχεία για τη θέση του δορυφόρου από τον οποίο λαμβάνει και αναλύει το σήμα. Αν τα στοιχεία που έχει είναι ανακριβή, τότε και η υπολογισμένη θέση του δορυφόρου δεν θα είναι η πραγματική.

#### 7.1.2 Σφάλμα στο ατομικό ρολόι του δορυφόρου

Μια πολύ σημαντική παράμετρος για τον υπολογισμό της απόστασης δορυφόρου – δέκτη είναι ο χρόνος. Στην πραγματικότητα, όπως αναφέρθηκε, ο χρόνος είναι αυτός που μεταφράζεται σε απόσταση. Ο κάθε δορυφόρος έχει το δικό του ατομικό ρολόι ακριβείας το οποίο συγχρονίζεται με τον χρόνο αναφοράς που τηρείται από τον κεντρικό σταθμό ελέγχου.

Μια πολύ μικρή απόκλιση από το χρόνο αναφοράς δημιουργεί σφάλμα κατά απόσταση στο δέκτη. Εκτιμάται ότι κάθε ένα νανοδευτερόλεπτο απόκλισης, η απόκλιση κατά απόσταση κυμαίνεται στα τριάντα (30) εκατοστά. Είναι λοιπόν σημαντικό να μην υπάρχει απόκλιση στο ρολόι του δορυφόρου σε σχέση με το χρόνο αναφοράς.



### **7.1.3 Επιλεκτική διαθεσιμότητα**

Όπως έχει αναφερθεί, η επιλεκτική διαθεσιμότητα αποτελεί μια μέθοδο χρησιμοποιούμενη από τον διαχειριστικό οργανισμό του GPS, με σκοπό τη μείωση της ακρίβειας των δεδομένων που εξάγονται από τη χρήση του. Στην πραγματικότητα, η επιλεκτική διαθεσιμότητα έχει σταματήσει να υφίσταται από το 2000, αλλά στην πραγματικότητα οι ΗΠΑ αναφέρουν πως σε περίπτωση που λόγοι εθνικής ασφάλειας το επιβάλουν, πρόκειται να την επαναφέρουν.

### **7.2 Σφάλμα που προκύπτει από τον δέκτη**

Η κύρια διεργασία που εκτελείτε στον δέκτη είναι ο εντοπισμός, η ανάλυση του δορυφορικού σήματος και ο υπολογισμός των PVT στοιχείων. Για να μπορέσει ο δέκτης να επιλύσει με ακρίβεια την εξίσωση υπολογισμού αυτών των στοιχείων, διαθέτει ένα δικό του ρολόι. Όσο μεγαλύτερο είναι το σφάλμα στο ρολόι αυτό, τόσο μεγαλώνει και η απόκλιση των υπολογισμένων στοιχείων. Όσο περισσότεροι δορυφόροι χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό της θέσης και των λοιπών στοιχείων, τόσο περισσότερο εξαλείφεται το σφάλμα του ρολογιού του δέκτη.

### **7.3 Σφάλματα κατά τη διάδοση του σήματος**

#### **7.3.1 Διάδοση στην Ιονόσφαιρα**

Κατά τη διάδοση του ηλεκτρομαγνητικού κύματος μέσα στην ατμόσφαιρα, υφίστανται διάφορα φαινόμενα που επηρεάζουν τη μετάδοση του από τον πομπό στο δέκτη. Ένα φαινόμενο είναι η διάθλαση του σήματος. Λόγω του φαινομένου της διάθλασης, το σήμα δεν διαδίδεται ευθύγραμμα από τον πομπό έως και τον δέκτη αλλά παρουσιάζει μεταβολές στη διεύθυνση του. Στην πραγματικότητα, αυτό το σφάλμα είναι πολύ μικρό και δεν επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό το αποτέλεσμα των μετρήσεων.

Επιπλέον, το σήμα υφίσταται μεταβολές στην ταχύτητα που ταξιδεύει μέσα στην ιονόσφαιρα και αυτό επηρεάζει την τελική επίλυση της εξίσωσης προσδιορισμού της θέσης. Και αυτό το σφάλμα δύναται να εξαλειφθεί σε πολύ μεγάλο βαθμό από τις σύγχρονες τεχνολογίες.

#### **7.3.2 Διάδοση στην τροπόσφαιρα**

Όπως και στην ιονόσφαιρα έτσι και στην τροπόσφαιρα, το σήμα κατά τη διάδοση του υφίσταται το φαινόμενο της διάθλασης. Η διαφορά όμως είναι ότι στην τροπόσφαιρα, το κύριο αίτιο που επηρεάζει και ενισχύει το φαινόμενο της διάθλασης είναι τα καιρικά



φαινόμενα. Αυτό δημιουργεί δυσχέρειες κατά την απαλοιφή του σφάλματος συνεπώς και χρησιμοποιούνται κατάλληλα κατασκευασμένα μοντέλα για την όσο το δυνατόν καλύτερη εξάλειψη του.

#### **7.4 Σφάλμα πολυανακλάσεως – multipath effect**

Το συγκεκριμένο φαινόμενο δημιουργείται όταν στον δέκτη φτάνει το ίδιο σήμα προερχόμενο από διαφορετικές διαδρομές. Οι διαφορετικές αυτές διαδρομές, δημιουργούνται με την ανάκλαση του σήματος σε κοντινές στον δέκτη επιφάνειες (λ.χ μεταλλικές επιφάνειες) και δύνανται να επηρεάσουν τη λειτουργία του δέκτη. Υπάρχουν αρκετές λύσεις για την απαλοιφή του συγκεκριμένου σφάλματος οι οποίες εφαρμόζονται ανάλογα με τη χρήση του δέκτη.



## Κεφάλαιο 8: Χρήση του GPS στη Ναυτιλία [1], [12]

### 8.1 Προσδιορισμός θέσης – Προετοιμασία πλου – Εκτέλεση πλου

Το GPS (και γενικά οποιοδήποτε σύστημα GNSS) αποτελεί πολύ σημαντικό ναυτιλιακό βοήθημα για τον Αξιωματικό που εκτελεί φυλακή στη γέφυρα. Κατά την φυλακή του, ο Αξιωματικός υποχρεούται να υποτυπώνει είτε στον έντυπο ναυτιλιακό χάρτη είτε σε κάποιο ηλεκτρονικό χάρτη (είτε αναφερόμαστε σε σύστημα ECDIS είτε σε απλό σύστημα ECS – Electronic Chart System) με σκοπό τον προσδιορισμό θέσης του πλοίου και την ασφάλεια του. Τη σημερινή εποχή όπου το GPS προσφέρει ακρίβεια μερικών μέτρων, η εξαγωγή στίγματος με αυτή τη μέθοδο είναι πολύ σημαντική ιδιαίτερα όταν το πλοίο βρίσκεται για παράδειγμα στις προσβάσεις λιμένα ή εκτελεί πλου υπό περιορισμένα ύδατα (λ.χ όταν διέρχεται από κάποιο στενό). Ακόμη και στην περίπτωση της ωκεανοπλοΐας, το GPS είναι πολύ σημαντικό εργαλείο καθώς δεν είναι δυνατή η εκτέλεση ορατής πλοήγησης και συνεπώς ο προσδιορισμός της θέσης του πλοίου, ενώ παράλληλα άλλες μέθοδοι (λ.χ εκτέλεση αστρονομικών παρατηρήσεων) αποτελούν πολύ χρονοβόρα μέθοδο.

Κατά την προετοιμασία του πλου, ένα σύστημα GPS μας δίνει τη δυνατότητα να προσθέσουμε Waypoints (ενδιάμεσα σημεία από τα οποία θα διέλθει το πλοίο για να φτάσει από την αφετηρία του στον προορισμό του). Έτσι, ο πλους καταγράφεται και μας δίδεται και η δυνατότητα να μεταφέρουμε τη διαδρομή σε ένα σύστημα ηλεκτρονικού χάρτη με τον οποίο θα εκτελέσουμε την πλοήγηση του πλοίου.

### 8.2 Υπολογισμός ταχύτητας ως προς τον βυθό – πορείας πλοίου ως προς τον βυθό

Κατά την εκτέλεση του πλου είναι δυνατόν να επιδρούν εξωτερικές δυνάμεις πάνω στο πλοίο οι οποίες να μεταβάλλουν τα κινηματικά του στοιχεία. Τέτοιες μπορεί να είναι ο άνεμος, το ρεύμα που επικρατεί στην περιοχή, ο κυματισμός και άλλες. Αυτές οι δυνάμεις έχουν σαν αποτέλεσμα η φαινόμενη ταχύτητα του πλοίου από το δρομόμετρο να μην αντιστοιχεί στην πραγματική, ενώ η αναπρόρρηση του πλοίου να μην είναι και η πραγματική του πορεία.

Το GPS είτε ως αυτόνομο σύστημα, είτε σε συνδυασμό με ένα σύστημα απεικόνισης ηλεκτρονικού χάρτη, έχει τη δυνατότητα να υπολογίζει και να μας παρουσιάζει την πραγματική πορεία και ταχύτητα του πλοίου μας σε σχέση με το βυθό. Πως όμως υπολογίζεται η πορεία ή η ταχύτητα ως προς τον βυθό; Στην πραγματικότητα το πλοίο





όταν ταξιδεύει δεν ακολουθεί πάντα μια ευθεία γραμμή αλλά επηρεάζεται από τις εξωτερικές δυνάμεις που αναφέρθηκαν. Αν θεωρήσουμε για χάριν ευκολίας ότι το πλοίο μας ξεκίνησε από το σημείο A με κατεύθυνση προς το σημείο B (τα οποία βρίσκονται πάνω σε μια ευθεία) με σταθερή πορεία και ταχύτητα, στην πραγματικότητα υπάρχει πιθανότητα το πλοίο να μην βρεθεί ποτέ στο σημείο B αν δεν μεταβάλλει τα κινηματικά του στοιχεία. Αν για παράδειγμα στην περιοχή υπάρχει ένα ρεύμα που εκπίπτει το πλοίο προς τα δεξιά, τότε και η τελική θέση που θα φτάσει το πλοίο μας θα είναι δεξιότερα από το σημείο B. Στην πραγματικότητα η πορεία ως προς τον βυθό (Course over Ground) υπολογίζει το πραγματικό ίχνος που ακολουθεί το πλοίο από το σημείο A στο σημείο B. Για παράδειγμα μπορεί η αναπώρηση (heading) να είναι Βορράς ενώ στην πραγματικότητα το πλοίο να εκπίπτει δεξιότερα με μια πορεία τριάντα μοίρες δεξιότερα λόγω εξωτερικών παραγόντων. Κάτι αντίστοιχο συμβαίνει και με την ταχύτητα ως προς τον βυθό σε σύγκριση με την ταχύτητα δρομομέτρου.

Είναι πολύ σημαντικό να γνωρίζουμε την SOG (Speed Over Ground) και COG (Course Over Ground) κατά την εκτέλεση του πλου, καθώς η μη εκτίμηση των εξωτερικών παραγόντων που επηρεάζουν την κίνηση του πλοίου μπορεί να οδηγήσει σε ανεπιθύμητα αποτελέσματα (λ.χ προσάραξη του πλοίου σε αβαθή που βρίσκονται στην περιοχή, λανθασμένη εκτίμηση κατά τους χειρισμούς παραβολής με αποτέλεσμα την πρόσκρουση του πλοίου στην προβλήτα κ.α.).

### 8.3 Σύστημα AIS

Το αυτόματο σύστημα αναγνώρισης (Automatic Identification System) αποτελεί ένα πολύ σημαντικό ναυτιλιακό βοήθημα για τον ναυτίλο. Συνοπτικά, το AIS αποτελεί μια συσκευή η οποία λειτουργεί είτε σαν δέκτης είτε σαν πομποδέκτης με σκοπό την ανταλλαγή σημαντικών πληροφοριών μεταξύ των πλοίων. Οι πληροφορίες που αποστέλλονται αφορούν τον τύπο του πλοίου, το φορτίο, κινηματικά στοιχεία, το λιμάνι προορισμού, το λιμάνι προέλευσης και άλλες σημαντικές πληροφορίες που αφορούν το πλοίο. Στην παρούσα διπλωματική δεν θα μας απασχολήσει η αρχή λειτουργίας του AIS, αλλά ο λόγος που το καθιστά απαραίτητο ναυτιλιακό βοήθημα και τα πλεονεκτήματα που προσφέρει.

Στην πραγματικότητα, το AIS έχει δικό του δέκτη GPS που υπολογίζει αυτόνομα τα κινηματικά στοιχεία του πλοίου. Πέραν αυτού, δίνει ακόμη τη δυνατότητα να καθορίσει και εκείνος κάποια στοιχεία για το πλοίο του που επιθυμεί να εκπέμψει με σκοπό την πλήρη ενημέρωση των παραπλεόντων πλοίων. Η σημαντικότητά του, άπτεται στο γεγονός



ότι δίνει τη δυνατότητα στα πλοία να γνωρίζουν τη θέση και τα στοιχεία άλλων τα οποία βρίσκονται στην περιοχή. Έτσι, βρίσκει σημαντική εφαρμογή στην αποφυγή συγκρούσεως.

Σε συνεργασία με ένα σύστημα απεικόνισης ηλεκτρονικού χάρτη ή με ένα ναυτιλιακό ραντάρ, απεικονίζει στην οθόνη του χρήστη την θέση και τα στοιχεία έτερων πλοίων αυτόματα. Έτσι, ακόμη και υπό δυσμενείς καιρικές συνθήκες (λ.χ ισχυρή βροχόπτωση) όπου δύναται να δημιουργείται θόρυβος στο ραντάρ ναυτιλίας (αυτό σημαίνει ότι τα κινηματικά στοιχεία είτε η θέση που υπολογίζεται από το ραντάρ είναι ανακριβή ή ακόμη δεν δύναται να εντοπιστεί καθόλου ο στόχος), έχει τη δυνατότητα να αναγνωρίζει και να εντοπίζει πλοία στην περιοχή που βρίσκεται. Ως αποτέλεσμα, μπορεί να χειρίζεται κατάλληλα και να αποφευχθούν επικίνδυνες προσεγγίσεις μεταξύ πλοίων.

Παράλληλα, ιδιαίτερα σε περιοχές με έντονο το φαινόμενο της πειρατείας, το AIS εκπέμπει τα στοιχεία του πλοίου και συνεπώς οι τοπικές αρχές μπορούν να εντοπίσουν και να βοηθήσουν το πλοίο όταν αυτό βρεθεί υπό την απειλή της. Βέβαια, σύμφωνα με τον IMO η χρήση του AIS και αντίστοιχα η απενεργοποίηση του σε περιοχές υψηλού κινδύνου άπτεται στον καπετάνιο ο οποίος θα κρίνει αν το πλοίο του θα βρεθεί σε κίνδυνο ή όχι, καθώς στο AIS πιθανόν να εκπέμπονται πληροφορίες για το φορτίο και τη θέση του πλοίου. Αντίθετα, η μη γνώση της ακριβούς θέσης του πλοίου από τις αρχές, δυσχεραίνει το έργο συνδρομής τους.

Τη σημερινή εποχή, υπάρχει η δυνατότητα εύρεσης στοιχείων για τα πλοία μέσω ειδικών ιστοσελίδων οι οποίες λαμβάνουν πληροφορίες από δέκτες που βρίσκονται σε όλη την επιφάνεια της Γης και τις παρέχουν δωρεάν είτε επί πληρωμή στο διαδίκτυο.

#### **8.4 Διασύνδεση GPS με συστήματα ηλεκτρονικού χάρτη (ECS) – ολοκληρωμένα συστήματα απεικόνισης και πληροφοριών (ECDIS)**

Είτε αναφερόμαστε σε συστήματα απεικόνισης ηλεκτρονικού χάρτη (Electronic Chart System - ECS) είτε σε ολοκληρωμένα συστήματα απεικόνισης και πληροφοριών (Electronic Chart and Display System - ECDIS) το βασικότερο εργαλείο που χρησιμοποιούν είναι το GPS. Το GPS παρέχει πληροφορίες θέσης μέσω δορυφόρου σε πραγματικό χρόνο. Η απεικόνιση της θέσης γίνεται πάνω σε έναν ηλεκτρονικό χάρτη με σκοπό τον άμεσο προσδιορισμό της θέσης του πλοίου.

Αν και είναι δυνατόν ο ναυτιλόμενος να εισάγει χειροκίνητα πληροφορίες στο σύστημα ηλεκτρονικού χάρτη με σκοπό τον προσδιορισμό της θέσεως του (με την εξαγωγή γραμμών θέσεων μέσω του ραντάρ είτε μέσω διοπτρεύσεων από καταφανή



σημεία), μια βλάβη στη διασύνδεση με το GPS μπορεί να προκαλέσει σημαντική δυσχέρεια κατά την εκτέλεση του πλου. Παράλληλα, με τον υπολογισμό των κινηματικών στοιχείων του πλοίου (SOG – COG) ο ναυτιλόμενος έχει σε real time όλα τα διαθέσιμα δεδομένα για να λάβει τις κατάλληλες αποφάσεις και να χειρίσει το πλοίο του.

### **8.5 Ασφάλεια Αγκυροβολίου**

Κατά την εκτέλεση και την παραμονή σε αγκυροβόλιο, είναι πολύ σημαντικός ακριβής προσδιορισμός της θέσης του πλοίου. Κατά την εκτέλεση αγκυροβολίας, ο ναυτίλος χαράσσει στον χάρτη τον κύκλο ασφαλείας του πλοίου εντός του οποίου θα πρέπει να βρίσκεται καθ' όλη τη διάρκεια της αγκυροβολίας. Σε περίπτωση που εξέλθει αυτού, αυτό σημαίνει ότι το πλοίο πιθανόν να βρεθεί σε κίνδυνο (λ.χ να βρεθεί σε αβαθή στην περιοχή). Πέραν του προσδιορισμού της θέσης επί έντυπου χάρτη με τη μέθοδο των διοπτύσεων – αποστάσεων από καταφανή σημεία, είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί και ένα σύστημα ηλεκτρονικού χάρτη πάνω στο οποίο θα έχει χαραχθεί ο κύκλος ασφαλείας και η θέση του πλοίου θα προσδιορίζεται μέσω ενός δέκτη GPS σε πραγματικό χρόνο. Το βασικό πλεονέκτημα που έχει αυτή η μέθοδος είναι ότι ο Αξιωματικός Φυλακής που εκτελεί βάρδια ασφαλείας αγκυροβολίου, μπορεί να βλέπει σε πραγματικό χρόνο το ανέμισμα του πλοίου με αποτέλεσμα να αναγνωρίζει αν το πλοίο είναι ασφαλές ή όχι. Ακόμη, έχει τη δυνατότητα να προγραμματίσει το σύστημα ηλεκτρονικού χάρτη, να τον ειδοποιήσει σε περίπτωση που το στίγμα του βρεθεί εκτός του χαραχθέντος κύκλου, και έτσι να αντιμετωπίσει εγκαίρως την πιθανή απειλή για την ασφάλεια του πλοίου και του πληρώματος.

### **8.6 Fleet Tracking**

Για μια εταιρία που διαχειρίζεται πλοία, είναι πολύ σημαντικό να γνωρίζει ανά πάσα στιγμή που βρίσκεται ο στόλος της και προς τα που κατευθύνεται με σκοπό την καλύτερη και πιο αποδοτική οργάνωσή του. Ιδιαίτερα σε περιπτώσεις όπου μια εταιρία διαχειρίζεται πολύ μεγάλο αριθμό πλοίων, είναι πολύ δύσκολο να λαμβάνει άμεσες πληροφορίες για τη θέση τους και να τα διαχειρίζεται αποδοτικά.

Με τη χρήση του GPS (είτε ως αυτόνομου συστήματος που θα μεταδίδει στην εταιρία πληροφορίες για την θέση, καθώς και τα κινηματικά στοιχεία του πλοίου είτε μέσω κάποιας άλλης τεχνολογία, λ.χ AIS) η εταιρία έχει πληροφορίες σχεδόν σε πραγματικό χρόνο, ή τουλάχιστον ανανεωμένες σε τακτά χρονικά διαστήματα. Τη σημερινή εποχή, υπάρχουν πολλές εταιρίες που προσφέρουν εφαρμογές παρακολούθησης



του στόλου μια εταιρίας, αλλά είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν ήδη ανεπτυγμένες διαδικτυακές πλατφόρμες (λ.χ. Marine Traffic) οι οποίες παρουσιάζουν πληροφορίες για τα περισσότερα πλοία εν πλω (είτε δωρεάν για τα πλοία που βρίσκονται εντός εμβέλειας των εγκατεστημένων σταθμών AIS, είτε επί πληρωμή με πληροφορίες μέσω δορυφόρου).

Έτσι, καθίσταται εφικτό στην εταιρία να γνωρίζει ανά πάσα στιγμή όλες τις σημαντικές πληροφορίες για τον στόλο της, χωρίς να απαιτείται διαρκής επικοινωνία με τον κάθε καπετάνιο έκαστου πλοίου.

### **8.7 Υδρογραφικές – Υποθαλάσσιες εργασίες**

Κατά την εκτέλεση υδρογραφικών ή υποθαλάσσιων εργασιών, μια πολύ σημαντική πληροφορία που πρέπει να προσδιοριστεί με ακρίβεια, είναι η θέση του πλοίου. Ειδικότερα, όταν μιλάμε για υδρογραφικές εργασίες, το GPS αποτελεί εργαλείο για τον υδρογράφο ο οποίος θέλει να γνωρίζει με ακρίβεια τη θέση του πλοίου κάθε στιγμή, με σκοπό την ορθή αποτύπωση του βυθού.

Παράλληλα, κατά την εκτέλεση υποθαλάσσιων εργασιών (λ.χ πόντιση καλωδίων, εκβάθυνση λιμένων ή προσβάσεων λιμένων κ.α.) είναι απαραίτητο οι εργασίες να εκτελεστούν στην προκαθορισμένη από τον σχεδιασμό θέση. Οποιαδήποτε παρέκκλιση από τον αρχικό σχεδιασμό, είναι δυνατόν να αυξήσει σημαντικά το κόστος της εργασίας κάτι που δεν είναι επιθυμητό. Ακόμη, η εκτέλεση των εργασιών σε διαφορετικά σημεία είναι δυνατόν να προκαλέσει δυσχέρειες (λ.χ η πόντιση καλωδίου σε σημείο όπου δεν ενδείκνυται δύναται να δυσκολέψει το έργο του φορέα που ανέλαβε το έργο, ενώ μπορεί να μεταβάλλει ριζικά την έκβαση του έργου).



## Κεφάλαιο 9<sup>ο</sup>: Λοιπά συστήματα GNSS [1]

Το GPS δεν αποτελεί το μοναδικό σύστημα προσδιορισμού θέσης με τη χρήση δορυφόρου. Στην πραγματικότητα, σημαντικοί λόγοι οδήγησαν διάφορες χώρες στην προσπάθεια δημιουργίας του δικού τους συστήματος προσδιορισμού θέσης. Έτσι, στη σημερινή αγορά υπάρχει πληθώρα διαθέσιμων δεκτών που συνεργάζονται με διαφορετικά συστήματα GNSS, ενώ τα περισσότερα μπορούν και συνδυάζουν τα διαφορετικά συστήματα μεταξύ τους. Ακολουθώς παρουσιάζονται μερικές από τις πιο γνωστές περιπτώσεις συστημάτων GNSS:

### 9.1 Σύστημα GLONASS

Το GLONASS είναι ένα από αυτά τα συστήματα GNSS το οποίο δημιουργήθηκε από τη Ρωσία, ως απάντηση στη δημιουργία του GPS από τις ΗΠΑ. Αποτελείται από ένα σύνολο εικοσιτεσσάρων λειτουργικών δορυφόρων με τον πρώτο δορυφόρο να τέθηκε σε λειτουργία το 1982. Το 1995 το σύστημα τέθηκε σε λειτουργία περί το 1995, ενώ η πολιτική του χρήση ήταν εφικτή από το 2007.

Στην πραγματικότητα το GLONASS λειτουργεί με παρόμοιο τρόπο με το GPS. Διαθέτει τρεις βασικές συχνότητες τις G1, G2 και G3 οι οποίες είναι στα 1602 MHz, 1246 MHz και 1204,704 MHz αντίστοιχα. Η διαμόρφωση της πρώτης κατά σειράς συχνότητας γίνεται με τον κώδικα C/A και η εφαρμογή του αφορά πολιτικούς δέκτες. Η δεύτερη κατά σειρά συχνότητα διαμορφώνεται από τον ίδιο κώδικα, αλλά περιλαμβάνει και τον κώδικα P, ενώ βρίσκει κυρίως στρατιωτική εφαρμογή. Η τρίτη κατά σειρά συχνότητα, χρησιμοποιεί δύο καινούργιους κώδικες τον C/A2 και P2 οι οποίοι έχουν πολιτικές και στρατιωτικές εφαρμογές αντίστοιχα. Παράλληλα, η τρίτη συχνότητα πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για εφαρμογές στην ασφάλεια της ανθρώπινης ζωής, καθώς και για υπηρεσίες SAR (Search and Rescue).

### 9.2 Σύστημα Galileo

Το δορυφορικό σύστημα Galileo αποτελεί την Ευρωπαϊκή εκδοχή ενός συστήματος GNSS. Η δημιουργία του ξεκίνησε το 1999 και αποτελεί μια καινοτομία της της Ευρωπαϊκής Διαστημικής Υπηρεσίας με σκοπό τη δημιουργία και διατήρηση ενός Ευρωπαϊκά ελεγχόμενου συστήματος προσδιορισμού θέσης.

Σε αντίθεση με τα δύο προαναφερθέντα συστήματα, το Galileo είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε να εξυπηρετήσει κυρίως πολιτικές ανάγκες, και ως επακόλουθο εξυπηρετούνται και στρατιωτικές εφαρμογές. Επιπλέον, οι δέκτες του Galileo παρέχουν τη δυνατότητα



διαλειτουργικότητας με έτερα συστήματα GNSS. Αυτό σημαίνει ότι είτε θα λειτουργήσει αυτόνομα, είτε μπορεί να εκμεταλλευτεί τα σήματα λ.χ του GPS ή του GLONASS με σκοπό να παρέχει αυξημένη αξιοπιστία και διαθεσιμότητα στον χρήστη.

Η διαμόρφωση του γίνεται με το μήνυμα πλοήγησης όπως και με κώδικες ψευδοτυχαίας σειράς. Το σήμα καταλαμβάνει ευρύτερο φάσμα συχνοτήτων σε σχέση με τις δύο προηγούμενες περιπτώσεις, με σκοπό να είναι πιο αξιόπιστο.

### **9.3 Σύστημα BeiDou**

Παράλληλα, η Κίνα δημιούργησε το δικό της δορυφορικό σύστημα πλοήγησης το οποίο ονομάστηκε BeiDou. Η ιστορία του συγκεκριμένου δορυφορού συστήματος ξεκινάει στις αρχές του 2000 όπου και η πρώτη έκδοση τίθεται σε λειτουργία. Η δοκιμαστική αυτή έκδοση αποτελούνταν από τρεις μόνο δορυφόρους και μπορούσε να εξυπηρετήσει μόνο τοπικές ανάγκες και περιορισμένη κάλυψη.

Έπειτα, ακολούθησε η δεύτερη έκδοση η οποία τέθηκε σε λειτουργία το 2011 και από το 2012 μπορούσε να καλύπτει κυρίως τοπικές ανάγκες. Η τρίτη όμως γενιά είχε ως στόχο της την επίτευξη της παγκόσμιας δορυφορικής κάλυψης και η εκτίμηση ήταν ότι θα καταφέρει να πετύχει ακρίβεια χιλιοστούμετρου.



## Συμπεράσματα

Συνοψίζοντας λοιπόν όσα αναφέρθηκαν, παρατηρούμε ότι το GPS δεν αποτελεί μια πρόσφατη εφεύρεση αλλά μια τεχνολογία δεκαετιών η οποία διαρκώς εξελίσσεται καθημερινά. Από την αρχή του το GPS αποτέλεσε σημαντικό επίτευγμα που διευκόλυνε τη ζωή των χρηστών του. Σήμερα αναφερόμαστε σε εξελιγμένα συστήματα που προσφέρουν αυξημένες δυνατότητες.

Ιδιαίτερα στο κομμάτι της πολιτικής εφαρμογής του, το GPS αποδεικνύει καθημερινά τη σημαντικότητα του μέσα από την καθημερινή χρήση του. Είτε αναφερόμαστε στον τομέα της ναυτιλίας και των μεταφορών, είτε ακόμη και στην καθημερινή χρήση από τον κάθε ξεχωριστό άνθρωπο, το GPS αποτελεί εργαλείο διευκόλυνσης της καθημερινότητας. Είναι χαρακτηριστικό ότι καθημερινά πολλοί από εμάς χρησιμοποιούμε το GPS για να κατευθυνθούμε από την οικία μας σε ένα σημείο που δεν γνωρίζουμε, λαμβάνουμε οδηγίες αλλά και υπολογίζεται αυτόματα η κίνηση μας χωρίς να χρειαστεί εμείς να προβούμε σε κάποια ενέργεια.

Στον τομέα της ναυτιλίας, η σημαντικότητα του GPS είναι εμφανής. Αξιοσημείωτη είναι η διευκόλυνση που παρέχεται στον Αξιωματικό που εκτελεί φυλακή στη Γέφυρα κατά την εκτέλεση των καθηκόντων του αλλά και η ασφάλεια για όλο το πλοίο. Πολλές φορές, η χρήση του GPS έχει αποδειχθεί σωτήρια σε επικίνδυνες καταστάσεις, χωρίς αυτό να αναιρεί τις κλασσικές μεθόδους ναυτιλίας. Παράλληλα, η προσφορά του σε εφαρμογές όπως ο εντοπισμός του στόλου μιας επιχείρησης ή του μεταφερόμενου φορτίου από μια συγκεκριμένη εταιρία είναι πολύ σημαντική για τη διεξαγωγή του εμπορίου.

Η τάση για δημιουργία ανεξάρτητων συστημάτων από πολλές μεγάλες δυνάμεις, αλλά και η ανάγκη για επαύξηση των δυνατοτήτων των συστημάτων GNSS αποτέλεσε σημαντικό παράγοντα για την εξέλιξη των δεκτών. Σήμερα μιλάμε για δέκτες οι οποίοι μπορούν να συνδυάσουν το GPS, το GLONASS, το BeiDou και άλλα συστήματα ταυτόχρονα ώστε να διευκολύνουν το χρήστη.

Κλείνοντας, από την προσωπική εμπειρία του συγγραφέα καθώς και από τα βιώματα εμπειρών ναυτικών, διαφαίνεται η σημαντικότητα και η χρησιμότητα του GPS ως ένα εργαλείο αναπόσπαστο από τη γέφυρα ενός πλοίου. Οι καθημερινές βελτιώσεις που υφίσταται το σύστημα θα συνεχίσουν να αυξάνουν διαρκώς τις δυνατότητές του, αλλά και τη χρησιμότητα του στην καθημερινότητα του κάθε ανθρώπου.



## Πηγές

### Ελληνική Βιβλιογραφία:

[1] Παλληκάρης Α. Η., Κατσούλης Γ. Θ. και Δαλακλής Δ. Α. (2018). Ναυτικά Ηλεκτρονικά Όργανα και Συστήματα Ηλεκτρονικού Χάρτη ECDIS, Β' έκδοση, Αθήνα: Εκδόσεις Ιδρύματος Ευγενίδου

### Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία:

[2] El – Rabbany A. (2002), Introduction to GPS: The Global Positioning System, Artech House.

[3] Guochang Xu, Yan Xu (2016), GPS: Theory, Algorithms and Applications – Third Edition, Springer – Verlag Berlin Heidelberg.

[4] Hofmann – Wellenhof B., Lichtenegger H., Collins J. (2001), Global Positioning System Theory and Practise – Fifth revised edition, Wien: Springer – Verlag Wien.

[5] Kaplan D. E., Hegarty C. J. (2006), Understanding GPS: Principles and Applications – Second Edition, Artech House.

[6] Misra Pratap, Enge Per (2006), Global Positioning System: Signals, Measurements and Performance – Second Edition, USA: Ganga – Jamuna Press.

### Διαδικτυακοί ιστότοποι:

[7] <https://www.gps.gov/systems/gps/modernization/civilsignals/>, επισκέφθηκε τον Δεκέμβριο 2021

[8] <https://www.gps.gov/technical/icwg/IS-GPS-200K.pdf>, επισκέφθηκε τον Δεκέμβριο 2021

[9] [https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/GPS\\_Signal\\_Plan](https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/GPS_Signal_Plan), επισκέφθηκε τον Δεκέμβριο 2021

[10] <https://www.gps.gov/systems/gps/space/>, επισκέφθηκε τον Δεκέμβριο 2021

[11] <https://www.gps.gov/systems/gps/control/>, επισκέφθηκε τον Δεκέμβριο 2021

[12] <https://www.hnhs.gr/el/2015-05-28-16-58-20/2015-05-28-16-59-41/2015-05-16-18-47-47>, επισκέφθηκε τον Δεκέμβριο 2021





[13] NAVSTAR GPS USER EQUIPMENT INTRODUCTION, September 1996,  
<https://www.navcen.uscg.gov/pubs/gps/gpsuser/gpsuser.pdf>, επισκέφθηκε τον Ιανουάριο  
2022