

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ



ΔΠΜΣ

Διοίκηση στη Ναυτική Επιστήμη και Τεχνολογία

Διπλωματική Εργασία

**«ΔΟΥΦΟΡΙΚΑ ΝΑΥΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ
ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΚΑΙ
ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΝΑΥΣΙΠΛΟΪΑΣ.
ΠΑΡΟΝ, ΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ
ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»**

Παναγιώτης Γ. Κάπρος

A.M.:MNΣNΔ20029

Επιβλέπων Καθηγητής:

Χρήστος Βαζούρας

Πειραιάς, Νοέμβριος 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».

Ο
Συγγραφέας

A handwritten signature in blue ink, consisting of a large, stylized 'P' followed by several loops and a final vertical stroke.

Παναγιώτης Γ. Κάπρος

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

ΜΕΛΟΣ Α΄ (Επιβλέπων):

Δρ. Χρήστος Βαζούρας, (Αναπληρωτής Καθηγητής Τομέα Συστημάτων Μάχης, Ναυτικών Επιχειρήσεων, Θαλασσίων Επιστημών, Ναυτιλίας, Ηλεκτρονικών & Τηλεπικοινωνιών Σχολής Ναυτικών Δοκίμων).

ΜΕΛΟΣ Β΄:

Δρ.Μιχαήλ Φαφαλιός (Ομότιμος Καθηγητής Τομέα Συστημάτων Μάχης, Ναυτικών Επιχειρήσεων, Θαλασσίων Επιστημών, Ναυτιλίας, Ηλεκτρονικών & Τηλεπικοινωνιών Σχολής Ναυτικών Δοκίμων).

ΜΕΛΟΣ Γ΄:

Δρ. Ευαγγελία Καραγιάννη (Καθηγήτρια Τομέα Συστημάτων Μάχης, Ναυτικών Επιχειρήσεων, Θαλασσίων Επιστημών, Ναυτιλίας, Ηλεκτρονικών & Τηλεπικοινωνιών Σχολής Ναυτικών Δοκίμων).

Ευχαριστίες

Η παρούσα εργασία, πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο της ολοκλήρωσης του Διδρυματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών με τίτλο «Διοίκηση στη Ναυτική Επιστήμη και Τεχνολογία».

Η εν λόγω εργασία, δεν θα ήταν δυνατό να ολοκληρωθεί, χωρίς την υποστήριξη και αμέριστη εμπιστοσύνη του επιβλέποντα καθηγητή μου, κύριου Χρήστου Βαζούρα, αναπληρωτή καθηγητή της Σχολής Ναυτικών Δοκίμων, στον οποίο χρωστάω ένα μεγάλο ευχαριστώ. Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, κύριο Μιχαήλ Φαφαλιό καθώς και την κυρία Ευαγγελία Καραγιάννη, επίσης καθηγητές της Σχολής Ναυτικών Δοκίμων, οι οποίοι εκτός από εξεταστές, υπήρξαν και καθηγητές μου σε διάφορες εκπαιδευτικές περιόδους της ζωής μου.

Θα ήθελα να εκφράσω επίσης τις ευχαριστίες μου στη σύζυγό μου, η οποία ανέχτηκε αγόγγυστα τις ημέρες και νύχτες που δαπάνησα για να ανταπεξέλθω στις απαιτήσεις του μεταπτυχιακού, καθώς και στη μητέρα μου η οποία πίστεψε σε εμένα.

Τέλος, ευχαριστώ τω Θεό, που με αξίωσε να διέλθω το έως σήμερα, μήκος της ζωής μου.

«Αφιερώνω το παρόν, στη μνήμη του πατέρα μου Γεώργιου, ο οποίος πάντα με προέτρεπε στην περαιτέρω βελτίωση.»

Περίληψη

Τα Δορυφορικά Ναυτιλιακά πληροφοριακά συστήματα ανταποκρίνονται στις ανάγκες της ναυτιλιακής βιομηχανίας αλλά όχι μόνο (παρακολούθηση της θέσης των σκαφών σε κίνηση, δορυφορικές επικοινωνίες και εφαρμογές για την χαρτογράφηση και έλεγχο των φυσικών φαινομένων, εναλλακτικά συστήματα εκτάκτων αναγκών και πάρα πολλά άλλα). Προκειμένου αυτά τα συστήματα να λειτουργούν αποτελεσματικά αξιοποιούν τις τελευταίες τεχνολογίες που απαιτούνται για τέτοιες εξειδικευμένες εφαρμογές και εκμεταλλεύονται τα ενημερωμένα δεδομένα που λαμβάνονται από αρκετούς δορυφόρους. Αυτή η εργασία επιχειρεί να παρουσιάσει ακολουθώντας μια χρονολογική διαδικασία τις αρχές λειτουργίας τους και την ανάπτυξη των συγκεκριμένων συστημάτων. Ξεκινώντας με μια απαρίθμηση των πρώτων βημάτων από την εμφάνιση των δορυφόρων συνεχίζοντας στην σημερινή κατάσταση και καταλήγοντας με τις προοπτικές του άμεσου μέλλοντος. Τέλος παρουσιάζονται τα συμπεράσματα τα οποία προκύπτουν από την βιβλιογραφική έρευνα που πραγματοποιήθηκε.

Λέξεις- κλειδιά: Δορυφόροι, Δορυφορικές επικοινωνίες, Ναυτικά δορυφορικά συστήματα, AIS, GNSS, GPS, GLONASS, Galileo.

Abstract

Satellite marine information systems address the demands of the maritime sector, but they do not stop there (monitoring the position of vessels in motion, satellite communications and applications for mapping and control of natural phenomena, alternative emergency systems and many others). To function properly, these systems make use of the most recent technology available for such specific applications, as well as updated data from several satellites. This book seeks to describe the principles of their functioning and the evolution of the specific systems in a chronological order. Beginning with a list of the earliest stages from the debut of satellites, continuing to the current position, and concluding with hopes for the near future. Finally, the results of the conducted bibliographic research are provided.

Key words: Satellites, Satellite communications, Naval satellite systems, AIS, GNSS, GPS, GLONASS, Galileo.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	6
Abstract.....	7
<u>Περιεχόμενα</u>	8
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	10
<u>ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ</u>	13
Κεφάλαιο 1: Βασικές αρχές λειτουργίας των Δορυφορικών Συστημάτων.....	14
1.1 Σημεία Αναφοράς.....	14
1.2 Ιστορία των Συστημάτων Πλοήγησης.....	17
1.3 Τα δορυφορικά συστήματα.....	24
1.4 Εφαρμογές GNSS	29
1.5 Ταξινόμηση Εφαρμογών GNSS.....	30
1.6 Τοπογράφηση και Χαρτογράφηση (Τοποθεσία).....	32
1.6.1 Γεωδαιτικός Έλεγχος.....	32
1.6.2 Εφαρμογή Χαρτογράφησης GIS	33
1.6.3 Έρευνα Δομικής Παραμόρφωσης.....	34
1.6.4 Έρευνα Παράκτιας Ακτογραμμής.....	34
1.6.5 Φωτομετρικός έλεγχος χαρτογράφησης.....	35
1.6.6 Έρευνα ελέγχου εφαρμογών τηλεπισκόπησης.....	35
1.6.7 Γεωφυσική, Γεωλογία και Αρχαιολογική Έρευνα	36
1.7 Πλοήγηση.....	37
1.7.1 Πλοήγηση αυτοκινήτου	38
1.7.2 Πλοήγηση αεροσκαφών/UAV	39
1.7.3 Ναυσιπλοΐα.....	40
1.7.4 Έλεγχος μηχανών και μηχανημάτων	41
2.1 Εφαρμογές ασφαλείας.....	43

2.1.1 Το παράδειγμα της καταπολέμησης της πειρατείας.....	45
2.1.2 Δορυφόροι	46
2.1.3 Συγχώνευση δεδομένων	47
3.1 Η σύγχρονη ιστορία των δορυφορικών επικοινωνιών	49
3.2 Τα συστήματα για ναυτιλιακές δορυφορικές υπηρεσίες και ο INMARSAT	53
3.3 Οι Εφαρμογές των Δορυφορικών Επικοινωνιών	56
3.4 Δορυφορική εκπομπή για επαγγελματικές και θεσμικές υπηρεσίες	57
3.5 Δορυφορικές επικοινωνίες έκτακτης ανάγκης	58
4.1 Τα Δορυφορικά συστήματα ως Εναλλακτική Λύση για το Μέλλον	61
4.2 Τα Επόμενα Βήματα.....	66
Κεφάλαιο 5 : Διαπιστώσεις - Συμπεράσματα	68
<u>BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</u>	71
<u>Διαδίκτυο</u>	73

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η *πλοήγηση* είναι η διαδικασία εύρεσης της θέσεως, της χάραξης της κατεύθυνσης και του ελέγχου της κίνησης ενός σκάφους, οχήματος, προσώπου ή αντικειμένου μεταξύ δυο θέσεων.¹ Στη βιβλιογραφία του παγκόσμιου δορυφορικού ναυτικού συστήματος Global Navigation Satellite System (GNSS), η πράξη προσδιορισμού της πορείας ή της κατεύθυνσης της κίνησης ονομάζεται επίσης *πλοήγηση*. Η λέξη *navigate* προέρχεται από τις λατινικές ρίζες *navis*, που σημαίνει «πλοίο» και *agere*, που σημαίνει «κινώ» ή «οδηγώ», δηλαδή την τέχνη και την επιστήμη του ελέγχου ενός σκάφους καθώς κινείται.² Η λέξη «πλοήγηση» ίσως χρησιμοποιήθηκε αρχικά από τους ναυτικούς. Η πλοήγηση με όποια μέθοδο κι αν εκτελείται περιλαμβάνει τον προσδιορισμό της θέσης του πλοηγού σε σχέση με γνωστά σημεία αναφοράς επί της ξηράς εκτός αν γίνεται με αναμέτρηση οπότε το σημείο αναφοράς είναι η προηγούμενη γνωστή θέση μας. Η σύγχρονη πλοήγηση, εκτελείται πλέον σήμερα κυρίως με την βοήθεια ηλεκτρονικών δεκτών που συλλέγουν πληροφορίες από δορυφόρους και παρέχουν την θέση του σκάφους.

Η *τοποθέτηση* είναι μια διαδικασία που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της θέσης σε σχέση με άλλες καθορισμένες θέσεις. Η τοποθέτηση μπορεί να περιλαμβάνει όχι μόνο τη θέση, αλλά και την κατεύθυνση του αντικειμένου. Επειδή ένα σύστημα εντοπισμού θέσης ανιχνεύει την τοποθεσία ενός αντικειμένου στο χώρο, το αποτέλεσμα του υπολογισμού του συστήματος, είναι επίσης γνωστό ως χωρική τοποθέτηση. Η έκφραση χωρική τοποθέτηση αναφέρεται στην θέση του αντικειμένου στον τρισδιάστατο χώρο και αποτελείται συνήθως από τρεις αριθμούς, τις συντεταγμένες του αντικειμένου και το ύψος του.

Οι άνθρωποι από την αρχαιότητα χρησιμοποιούν μακρινά αντικείμενα για να προσδιορίσουν τη θέση των σημείων στην επιφάνεια της Γης. Η αστρονομική ναυσιπλοΐα, από την εμφάνιση της διεξαγόταν χρησιμοποιώντας τις παρατηρήσεις των ουρανίων σωμάτων όπως των άστρων, του Ήλιου, και των πλανητών και επέτρεπαν στους ναυτικούς την ασφαλή πλοήγηση τους. Ωστόσο, μόλις στο τέλος

¹ Kinzey, Douglas, Tim Gerrodette, and Daniel Fink. "ACCURACY AND PRECISION OF PERPENDICULAR DISTANCE MEASUREMENTS IN SHIPBOARD LINE-TRANSECT SIGHTING SURVEYS." (2002).

² Forte, A. D. M. "At Sea with a Companion The Oxford Companion to Ships and the Sea, Edited by ICB Dear and Peter Kemp." (2007): 205-210.

του 20ου αιώνα κατέστη δυνατή η δημιουργία ενός αξιόπιστου παγκόσμιου συστήματος εντοπισμού θέσης και πλοήγησης.³

Το Παγκόσμιο Δορυφορικό Σύστημα Πλοήγησης (Global Navigation Satellite System - GNSS) είναι ένα αυτόνομο δορυφορικό σύστημα πλοήγησης και εντοπισμού θέσης στον χώρο. Ένα GNSS χρησιμοποιώντας έναν μικροσκοπικό δέκτη, ο οποίος βρίσκεται επί του αντικειμένου, υπολογίζει τη θέση του αντικείμενου λαμβάνοντας σήματα από δορυφόρους και εξάγοντας ως αποτέλεσμα τις συντεταγμένες του αντικείμενου. Το σύστημα μπορεί να παρέχει πληροφορίες θέσης (και ώρας) χωρίς να επηρεάζεται από τις καιρικές συνθήκες, μέρα ή νύχτα, οπουδήποτε στον κόσμο, σε οτιδήποτε διαθέτει έναν δέκτη GNSS.

Εκτός από αυτό, ορισμένα περιφερειακά ή τοπικά συστήματα είναι επίσης διαθέσιμα. Σήμερα, όλοι μας έχουμε έναν ή περισσότερους δέκτες GNSS στα smartphone ή στα smartwatches μας. Με αυτούς τους δέκτες, οι χρήστες μπορούν να προσδιορίσουν την τοποθεσία τους και απλώς να πλοηγηθούν στον προορισμό τους, είτε από την γη, τον αέρα, ή την θάλασσα. Τα Παγκόσμια Δορυφορικά Συστήματα Πλοήγησης (GNSS) έχουν γίνει απαραίτητο εργαλείο των μέσων μεταφοράς παγκοσμίως, παρέχοντας ασφαλή πλοήγηση για αεροπλάνα, οχήματα και πλοία.

Κατά την εκτέλεση των επιχειρήσεων τους, οι υπηρεσίες αντιμετώπισης καταστροφών και έκτακτης ανάγκης, χρησιμοποιούν επίσης τα GNSS για την διευκόλυνση στο έργο τους. Καθημερινά, η ακριβής ώρα που προσφέρει το GNSS διευκολύνει δραστηριότητες όπως λειτουργίες κινητής τηλεφωνίας, τραπεζικές συναλλαγές, συγχρονισμού ρολογιών υψηλής ακρίβειας ακόμη και έλεγχου του διαδικτύου και όπου απαιτείται μεγάλη ακρίβεια χρόνου. Οι μηχανικοί, οι τοπογράφοι, οι γεωλόγοι, οι γεωγράφοι και άλλα επαγγέλματα μπορούν να χρησιμοποιήσουν την τεχνολογία GNSS για να εκτελέσουν τις εργασίες τους πιο αποτελεσματικά, οικονομικότερα με ακρίβεια και υψηλή αξιοπιστία.

Οι εφαρμογές του GNSS για υπηρεσίες εντοπισμού θέσης, πλοήγησης και χρονισμού είναι τεράστιες. Ως αποτέλεσμα, πολλοί ορισμοί του GNSS μπορούν να βρεθούν στη βιβλιογραφία. Δεν έχουμε ακόμη καταλήξει σε έναν ευρέως αναγνωρισμένο και πρακτικό ορισμό του GNSS. Σύμφωνα με τον Swider (2005), το

³ Teunissen, Peter JG, and Oliver Montenbruck, eds. Springer handbook of global navigation satellite systems. Vol. 10. New York, NY, USA.: Springer International Publishing, 2017.

GNSS είναι το σύστημα για την εύρεση της «παγκόσμιας θέσης, της πλοήγησης και προσφέρει δυνατότητες χρονισμού που παρέχονται από έναν ή περισσότερους τεχνητούς δορυφόρους». Ο Διεθνής Οργανισμός Πολιτικής Αεροπορίας ορίζει το GNSS ως «απαραίτητο για την ενίσχυση της απόδοσης της πλοήγησης».⁴

Ένας άλλος απλός ορισμός είναι: Το GNSS είναι ένα δορυφορικό σύστημα που χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό της γεωγραφικής θέσης του δέκτη ενός χρήστη οπουδήποτε στον κόσμο.⁵

Ο ορισμός αυτός αν και είναι ξεκάθαρος και σύντομος, τεχνολογικά δεν είναι αρκετά διευκρινιστικός. Ο Bhatta, Basudeb, (2021) δίνει έναν πιο αναλυτικό ορισμό: “Το GNSS είναι ένα σύστημα που αποτελείται από ένα δίκτυο δορυφόρων που παρακολουθούνται και ελέγχονται από επίγειους σταθμούς στη Γη, οι οποίοι μεταδίδουν συνεχώς ραδιοφωνικά σήματα που λαμβάνονται από δέκτες για επεξεργασία, επιτρέποντας τον ακριβή γεωεντοπισμό των δεκτών, μετρώντας τις αποστάσεις από τους δορυφόρους και παρέχοντας ακριβείς πληροφορίες χρόνου, οπουδήποτε στον κόσμο, οποιαδήποτε χρονική στιγμή.”⁶

⁴ Swider, Raymond J. "Directions 2006-System Design-Can GNSS Become a Reality?." GPS World 16.12 (2005): 20-21.

⁵ Bhatta, Basudeb. Global Navigation Satellite Systems: New Technologies and Applications. CRC Press, 2021.

⁶ Το ίδιο

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Τα δορυφορικά συστήματα ενώ ξεκίνησαν ως στρατιωτικές εφαρμογές, γρήγορα εξελίχθηκαν και αναπτύχθηκαν στην ελεύθερη αγορά καθώς καλύπτουν ένα τεράστιο φάσμα εμπορικών εφαρμογών. Η μεθοδολογία που ακολουθείται σε αυτή την βιβλιογραφική έρευνα αναδεικνύει μια σειρά από ζητήματα που σχετίζονται με την ανάπτυξη των ναυτικών δορυφορικών συστημάτων από την αρχική τους εμφάνιση μέχρι σήμερα. Το κύριο μέλημα αυτής της διατριβής είναι να εισάγει τις βασικές έννοιες των ναυτικών δορυφορικών συστημάτων και για τον λόγο αυτό αρχικά επιχειρείται μια θεωρητική προσέγγιση των βασικών νόμων που βασίζονται οι εφαρμογές των συστημάτων αυτών. Κατόπιν, επιχειρείται ο καθορισμός των κανόνων που διέπουν την ανάπτυξη τους, οι οποίοι άρχισαν να εμφανίζονται με την δημιουργία κρατικών φορέων για τον συντονισμό των συμμετεχόντων κρατών, στην αρχική μορφή των δορυφορικών εφαρμογών έως την σημερινή μορφή που την σκυτάλη έχουν αναλάβει πλέον οι ιδιωτικοί φορείς. Επιπλέον, επιχειρείται μια ιστορική αναδρομή της τεχνολογικής εξέλιξης τους. Επιπρόσθετα παρουσιάζονται μερικές από τις αναρίθμητες εφαρμογές σε εμπορικό επίπεδο. Καταλήγοντας η εργασία επιχειρεί να παρουσιάσει μερικές μελλοντικές προοπτικές εξελίξεων των συστημάτων για την εμπορική τους επιβίωση και την ανταγωνιστικότητα τους έναντι των αντιστοιχών επίγειων συστημάτων.

Κεφάλαιο 1: Βασικές αρχές λειτουργίας των Δορυφορικών Συστημάτων

1.1 Σημεία Αναφοράς

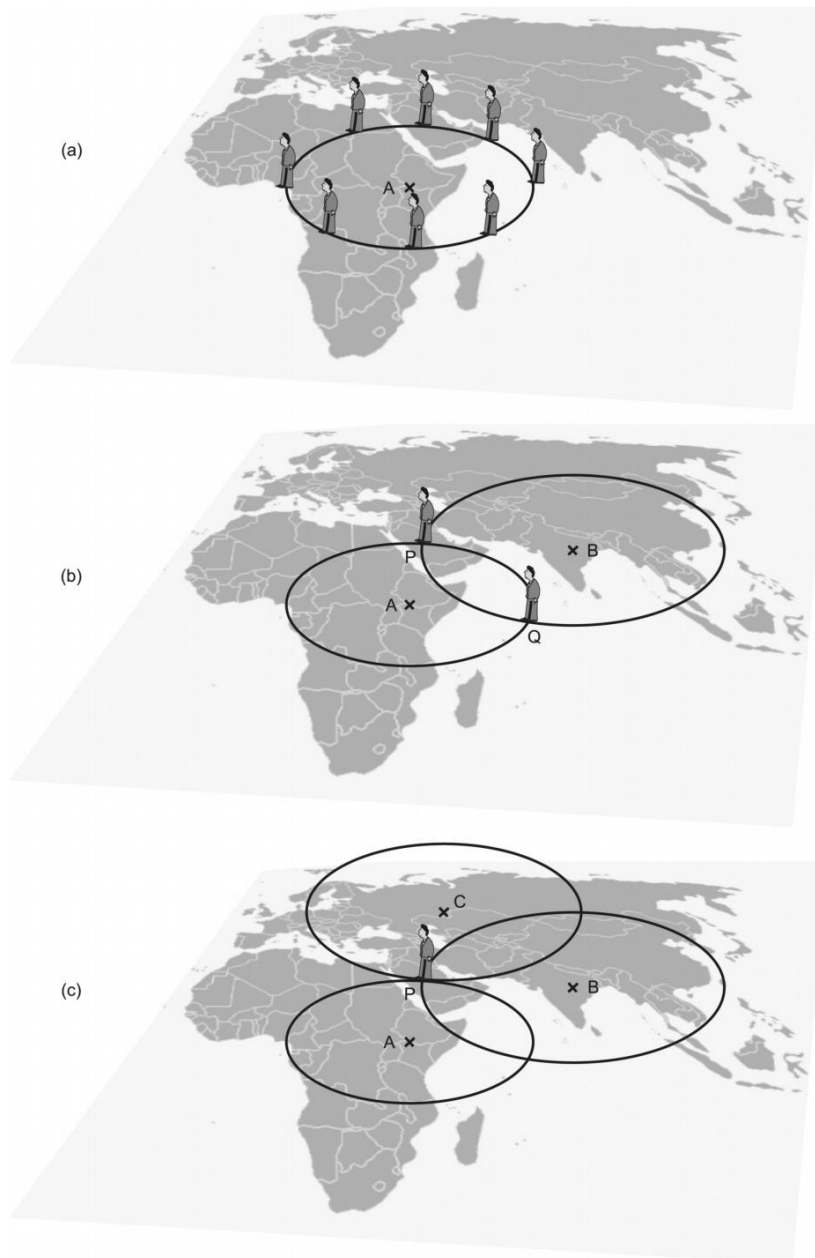
Στην τοπογραφία, ένα σημείο αναφοράς (γνωστό και ως σημείο ελέγχου) είναι μια τοποθεσία που χρησιμοποιείται ως σημείο αναφοράς για τον υπολογισμό της θέσης ενός αντικειμένου από αυτό το σημείο. Για να προσδιορίσουμε τη θέση ενός αντικειμένου, πρέπει να αναφερθούμε σε σημεία αναφοράς ή στις θέσεις άλλων αντικειμένων.

Είναι σαφές ότι πρέπει να χρησιμοποιήσουμε σημεία αναφοράς για να καθορίσουμε τη θέση των αντικειμένων. Πόσες αναφορές όμως χρειαζόμαστε; Ας υποθέσουμε ότι μια εγκατάσταση όπως ένας φάρος βρίσκεται σε ένα γνωστό σημείο A (Σχήμα 1a). Η δική μας θέση είναι σε απόσταση 5 χλμ από το A . Αυτή η πληροφορία, καθορίζει τη θέση μας σε κάποιο σημείο στην περίμετρο ενός κύκλου με ακτίνα 5 χιλιομέτρων από το σημείο A , όπως φαίνεται στο σχήμα 1a. Μπορούμε δηλαδή, να πούμε ότι βρισκόμαστε οπουδήποτε στην περιφέρεια αυτού του κύκλου.

Ας υποθέσουμε επίσης ότι ένας δεύτερος φάρος βρίσκεται σε ένα άλλο γνωστό σημείο του πλανήτη, το B , και είμαστε 7 χιλιόμετρα μακριά από το B . Αυτή η πληροφορία καθορίζει τη θέση μας σε κάποιο σημείο στην περίμετρο ενός κύκλου με ακτίνα 7 χιλιομέτρων από το σημείο B . Αν συνδυάσουμε τα δυο παραπάνω δεδομένα την απόστασή μας από το σημείο A η οποία είναι 5 χιλιόμετρα και την απόστασή 7 χιλιόμετρα από το σημείο B καταλήγουμε ότι βρισκόμαστε και στους δύο κύκλους A και B ταυτόχρονα όπως φαίνεται στο σχήμα 1β, και επομένως βρισκόμαστε στη τομή των δύο κύκλων, δηλαδή σε ένα από τα δύο σημεία είτε στο P ή στο Q .

Η μέτρηση της απόστασής μας από έναν τρίτο πύργο C , με τον ίδιο τρόπο, θα ταυτιζόταν με την ακριβή μας θέση, ακριβώς δηλαδή, εκεί που βρισκόμαστε. Το σχήμα 1c δείχνει ότι πρέπει να βρισκόμαστε στο σημείο P , όπου τέμνονται οι τρεις κύκλοι. Αυτή η διαδικασία προσδιορισμού της θέσης κάποιου, με την απόσταση που μετράται από τρία σταθερά σημεία αναφοράς που βρίσκονται στο έδαφος, είναι η μέθοδος του τριγωνισμού (triangulation). Ωστόσο, αυτή είναι μια περίπτωση για τον προσδιορισμό της δισδιάστατης (2D) θέσης, όπου χρειαζόμαστε τουλάχιστον τρία σημεία αναφοράς. Σε αυτό το παράδειγμα, υποθέσαμε ότι βρισκόμαστε στην επιφάνεια της γης. Επομένως, η επιφάνεια της γης είναι μια πρόσθετη πληροφορία

για την θέση μας και μπορεί να συνδυαστεί με τα υπάρχοντα δεδομένα. Ωστόσο, εάν βρισκόμαστε σε κάποιο ύψος από την γη (όπως τα αεροσκάφη), χρειαζόμαστε τουλάχιστον τέσσερα σημεία αναφοράς για να καθορίσουμε την τρισδιάστατη (3D) θέση μας.⁷



Σχήμα 1: (a) Ένα σημείο αναφοράς, (b) διπλό σημείο αναφοράς και (c) τριπλό σημείο αναφοράς. Πηγή: Bhatta, B. (2021).

⁷ Bhatta, Basudeb. Global Navigation Satellite Systems: New Technologies and Applications. CRC Press, 2021.

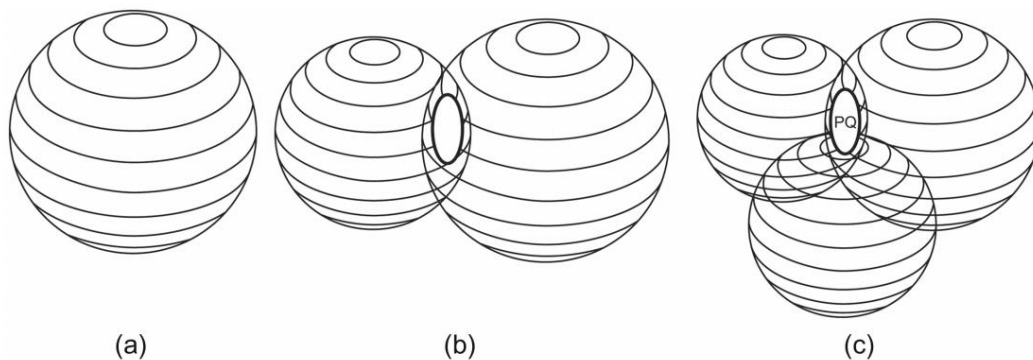
Για τον τρισδιάστατο προσδιορισμό της θέσης μας, μετράμε την απόστασή μας από ένα γνωστό σημείο (σημείο αναφοράς) και βρίσκουμε ότι απέχουμε π.χ. 12 χιλιόμετρα. Γνωρίζοντας ότι βρισκόμαστε 12 χιλιόμετρα από ένα συγκεκριμένο σημείο αναφοράς, η θέση μας στο τρισδιάστατο σύμπαν είναι οπουδήποτε στην επιφάνεια μιας σφαίρας με κέντρο αυτό το σημείο και ακτίνα 12 χιλιομέτρων (Εικόνα 2α). Ας υποθέσουμε τώρα ότι μετράμε την απόστασή μας από ένα δεύτερο σημείο και βρίσκουμε ότι είναι σε απόσταση 8 χιλιομέτρων. Αυτό δείχνει ότι η θέση μας είναι στην τομή της πρώτης σφαίρας ακτίνας 12 χιλιομέτρων, αλλά και της σφαίρας με ακτίνα 8 χιλιομέτρων με κέντρο το δεύτερο γνωστό σημείο αναφοράς.

Μια τέτοια τομή έχει σχήμα κύκλου (Σχήμα 2b). Εάν στη συνέχεια μετρήσουμε από ένα τρίτο σημείο αναφοράς και βρούμε ότι βρισκόμαστε 15 km μακριά, η θέση μας περιορίζεται περαιτέρω στα δύο σημεία (P και Q όπως υποδεικνύεται στο σχήμα 2c) όπου τέμνεται η σφαίρα των 15 km με τις άλλες δύο σφαίρες. Έτσι, χρησιμοποιώντας τις αποστάσεις από τρία σημεία αναφοράς μπορούμε να περιορίσουμε τη θέση μας στο χώρο σε δύο μόνο σημεία.

Αν και υπάρχουν δύο τοποθεσίες που είναι οι πιθανές μας θέσεις (P και Q), οι δυο αυτές θέσεις βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση μεταξύ τους και μπορούμε να απορρίψουμε την μία από αυτές ως ανεδαφική (π.χ. αν βρισκόμαστε στο Βόρειο ημισφαίριο απορρίπτουμε την θέση που βρίσκεται στο Νότιο). Μπορούμε, ωστόσο, να εξακριβώσουμε την ακριβή τρισδιάστατη θέση μας προσθέτοντας ένα τέταρτο σημείο αναφοράς. Ας υποθέσουμε ότι η απόστασή μας από μια τέταρτη τοποθεσία είναι 20 χιλιόμετρα. Έτσι, σε ένα κοινό σημείο, μια τέταρτη σφαίρα συναντά τις προηγούμενες τρεις σφαίρες, και αυτή είναι η ακριβής θέση. Αυτό αναφέρεται ως 3D trilateration.

Συνοψίζοντας, χρειαζόμαστε σημεία αναφοράς για τον προσδιορισμό ή τον ορισμό της τοποθεσίας οποιουδήποτε αντικειμένου. Απαιτούνται τουλάχιστον τρία σημεία αναφοράς για τον καθορισμό της θέσης 2D και τέσσερα για τον καθορισμό θέσεων σε 3D. Ωστόσο, αξίζει να αναφέρουμε ότι το GNSS μπορεί να προσδιορίσει τρισδιάστατες θέσεις με αναφορά μόνο σε τρία σημεία μέσω μαθηματικών και γεωμετρικών τεχνασμάτων.⁸

⁸ Bhatta, Basudeb. Global Navigation Satellite Systems: New Technologies and Applications. CRC Press, 2021.



Σχήμα 2: Η αρχή της τρισδιάστατης τοποθέτησης: (a) Η μέτρηση της απόστασης από ένα σημείο αναφοράς καθορίζει τη θέση μας σε μια σφαίρα. (b) προσδιορισμός του κύκλου τομής δύο σφαιρών με μέτρηση της απόστασης μεταξύ δύο θέσεων αναφοράς. (c) ο υπολογισμός της απόστασης μεταξύ τριών σημείων αναφοράς περιορίζει τη θέση σε δύο πιθανότητες (P και Q). (Πηγή: B. Bhatta, 2021).

1.2 Ιστορία των Συστημάτων Πλοήγησης

Ο εντοπισμός σημείων αναφοράς ήταν εύκολος στη στεριά. Ο υπολογισμός της θέσης στη θάλασσα όμως, έγινε ζήτημα ζωής και θανάτου όταν ο άνθρωπος άρχισε να ταξιδεύει στους ωκεανούς, όπου τα μόνα ορατά σημεία αναφοράς ήταν η Σελήνη, τα αστέρια και ο Ήλιος. Τα «σημεία αναφοράς» καθιερώθηκαν φυσικά και ξεκίνησε η εποχή της αστρονομικής πλοήγησης. Η πλοήγηση με την βοήθεια των ουράνιων σωμάτων (ή αστρονομική πλοήγηση) και η εύρεση της θέσεως του σκάφους, ήταν οι πρώτες σοβαρές προσεγγίσεις για τον υπολογισμό της κίνησης του σκάφους σε μια άγνωστη περιοχή, χρησιμοποιώντας τον Ήλιο, τη Σελήνη και τα αστέρια ως σημεία αναφοράς.

Η αστρονομική ναυτιλία, είναι η μέθοδος εντοπισμού ενός αντικειμένου στη Γη, χρησιμοποιώντας τις γωνίες μεταξύ των ουράνιων σωμάτων σε σχέση με τον ορίζοντα. Οποιοδήποτε ουράνιο αντικείμενο (για παράδειγμα, ο Ήλιος, η Σελήνη ή τα αστέρια), βρίσκεται πάνω από ένα συγκεκριμένο γεωγραφικό σημείο στη Γη ανά πάσα στιγμή. Αυτή η γεωγραφική θέση (στην επιφάνεια της γης) είναι γνωστή ως η προβολή του ουράνιου αντικειμένου στην γήινη σφαίρα και η θέση αυτή (π.χ., το γεωγραφικό πλάτος και το μήκος του) μπορεί να προσδιοριστεί με τον υπολογισμό με την χρήση πινάκων από τις αστρονομικές εφημερίδες ή από το ναυτικό αλμανάκ.⁹

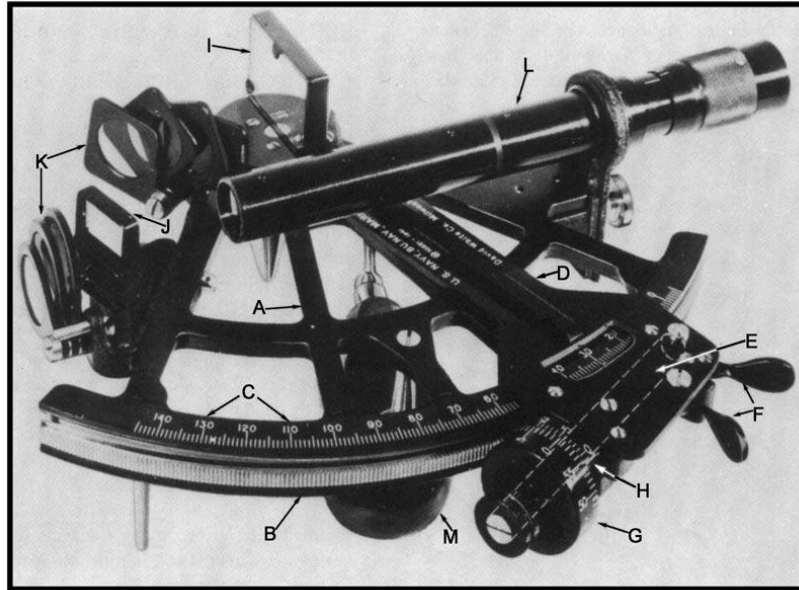
⁹ Bowditch, Nathaniel. "Glossary. The American Practical Navigator. Bethesda." (1995).

Το ναυτικό αλμανάκ είναι ένα ευρετήριο με πίνακες που περιλαμβάνουν τις τοποθεσίες και τις κινήσεις των ουράνιων σωμάτων, έτσι ώστε οι πλοηγοί να μπορούν να τις χρησιμοποιούν για ναυσιπλοΐα και να προσδιορίζουν τη θέση τους ενώ βρίσκονται στη θάλασσα, χρησιμοποιώντας, τους πλανήτες ή κάποιο από τα 57 αστέρια που επιλέχθηκαν να καταγραφούν στο αλμανάκ, για να περιορίσουν το μέγεθος της έκδοσης και να γίνει πιο εύχρηστο.¹⁰

Για τον υπολογισμό της θέσης μας, χρησιμοποιείται το ναυτιλιακό βοήθημα του εξάντα (Εικόνα 1), που μας επιτρέπει να μετράμε την γωνία των ουράνιων σωμάτων σε σχέση με τον ορίζοντα. Η γωνία που μετράμε είναι ανάλογη με την απόσταση μεταξύ της προβολής του ουράνιου σώματος και της θέσης του παρατηρητή και αυτή η μέτρηση χρησιμοποιείται για τη δημιουργία της γραμμής θέσης στην επιφάνεια της γης (Line of Position, LOP).¹¹ Ο παρατηρητής βρίσκεται οπουδήποτε σε αυτήν την LOP. Δύο LOP, που υπολογίζονται από δύο ουράνια αντικείμενα, μπορούν να περιορίσουν τη θέση του παρατηρητή μόνο σε δύο σημεία, το καθένα από τα οποία βρίσκεται εκεί όπου τέμνονται αυτές οι δύο LOP (Σχήμα 1b). Στις περισσότερες περιπτώσεις, είναι εύκολο να προσδιοριστεί ποιο από τα δύο σημεία τομής είναι η σωστή θέση του παρατηρητή. Μερικές φορές τα δύο σημεία τομής απέχουν χιλιάδες χιλιόμετρα μεταξύ τους, γεγονός που καθιστά εύκολη την απόρριψη ενός από τα δύο σημεία. Ομοίως, ένας ναυτικός μπορεί να διαπιστώσει ότι ένα από τα σημεία π.χ. βρίσκεται στη στεριά και αυτό το σημείο μπορεί να απορριφθεί. Γενικά, η παρατήρηση δύο ουράνιων αντικειμένων μπορεί να παρέχει την ακριβή θέση του παρατηρητή. Η παρατήρηση ενός τρίτου ουράνιου αντικειμένου παρέχει μια τρίτη LOP και μόνο ένα σημείο τομής.

¹⁰ Ένα αλμανάκ είναι μια ετήσια δημοσίευση που περιέχει πληροφορίες σε πίνακα σε ένα συγκεκριμένο πεδίο ή πεδία που ταξινομούνται σύμφωνα με το ημερολόγιο. Αστρονομικά δεδομένα και διάφορα στατιστικά στοιχεία βρίσκονται επίσης στο αλμανάκ, όπως οι ώρες ανατολής και δύσης του Ήλιου και της Σελήνης, εκλείψεις, ώρες πλήρους παλίρροιας, χρονοδιαγράμματα και πολλά άλλα.

¹¹ Bowditch, Nathaniel. "Glossary. The American Practical Navigator. Bethesda." (1995).



Εικόνα 1: Ναυτιλιακός Εξάντας

Η γωνιακή μέτρηση μεταξύ του ορίζοντα και ενός ουράνιου αντικειμένου, χρησιμοποιήθηκε για τη χρήση της πλοήγησης με την βοήθεια των ουράνιων σωμάτων. Η σχετική θέση και η γεωμετρική διάταξη αυτών των ουράνιων αντικειμένων, είναι διαφορετική όταν τα ουράνια σώματα παρατηρούνται από διαφορετικά σημεία στη επιφάνεια της Γης. Με την χρήση της αστρονομικής ναυτιλίας και των οργάνων που χρησιμοποιούσαν οι ναυτικοί, μπορούσαν να εκτιμήσουν διαισθητικά τη θέση τους στην επιφάνεια της θάλασσας και την πορεία που έπρεπε να ακολουθήσουν για να φτάσουν στον προορισμό τους, υπολογίζοντας την διάταξη των ουράνιων σωμάτων που παρατηρούσαν. Ενώ αυτή η πρώιμη τεχνική ουράνιας πλοήγησης ήταν χρήσιμη για ταξίδια σε μικρές αποστάσεις από την ξηρά, ήταν προβληματική για μεγάλα ταξίδια και συχνά οι πλοηγοί αντιμετώπιζαν προβλήματα προσδιορισμού της θέσης τους.

Καθώς τα όργανα αστρονομικής παρατήρησης βελτιώνονταν, η γεωμετρική διάταξη των ουράνιων σωμάτων υπολογιζόταν με μεγαλύτερη ακρίβεια. Όργανα όπως ο εξάντας, τα οποία χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση των γωνιών των ουράνιων σωμάτων, κατέστησαν απαραίτητα για την εκτέλεση των ταξιδιών των πλοίων. Για τον υπολογισμό της θέσης του παρατηρητή, δημιουργήθηκαν από το Αγγλικό ναυαρχείο προϋπολογισμένα διαγράμματα για τα ουράνια σώματα και έτσι οι παρατηρούμενες γωνίες συγκρίνονταν με τις καταγεγραμμένες στα διαγράμματα

για την τελική θέση του πλοίου. Η μαγνητική πυξίδα χρησιμοποιήθηκε επίσης για τον προσδιορισμό της κατεύθυνσης για την πλοήγηση.¹²

Η διαδικασία μέτρησης των γωνιών, των ουράνιων αντικειμένων με τα προαναφερθέντα όργανα, ήταν χρονοβόρα και ανακριβής. Για παράδειγμα, δεν μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για τη συγκεκριμένη μέθοδο κατά τη διάρκεια της ημέρας, (γιατί τη μέρα ο ήλιος είναι το μόνο ορατό αντικείμενο στον ουρανό), ή τις νύχτες με συννεφιά που δεν είναι ορατά τα αστέρια. Επιπλέον, για την εύρεση της τελικής θέσης του παρατηρητή χρησιμοποιούνταν ειδικοί χάρτες, όπου έπρεπε να μεταφερθούν οι μετρούμενες γωνίες και να εκτελεστούν αρκετοί χρονοβόροι και κουραστικοί υπολογισμοί, οι οποίοι εμπειρείχαν και το ρίσκο του σφάλματος. Η ιδέα του αυτόματου υπολογισμού της θέσης μέσω της μέτρησης των αποστάσεων από τα σημεία αναφοράς, έγινε πραγματικότητα μόνο στα μέσα του 20ου αιώνα, όταν αναπτύχθηκαν οι συσκευές ραδιοφωνικών σημάτων και ξεκίνησε η εποχή της ραδιοναυτιλίας.¹³

Η χρήση σημάτων ραδιοσυχνοτήτων για την αναγνώριση της θέσης ενός αντικειμένου στη Γη, είναι γνωστή ως ραδιοναυτιλία. Οι επιστήμονες επινόησαν έναν τρόπο για τον υπολογισμό των αποστάσεων χρησιμοποιώντας ραδιοκύματα την δεκαετία του 1950. Η ιδέα ήταν, ότι τα ραδιοκύματα μεταδίδονται πάντα με σταθερή ταχύτητα, άρα το μόνο που χρειάζονταν, ήταν να μετρηθεί ο χρόνος που απαιτούνταν για να διανύσουν τη απόσταση μεταξύ πομπού - δέκτη. Ο πολλαπλασιασμός του χρόνου διαδρομής του σήματος, με την ταχύτητα του σήματος, έδινε την απόσταση μεταξύ του πομπού και του δέκτη. Η γεωμετρική εύρεση της θέσης γινόταν με τη μέθοδο της τριγωνομέτρησης. Εάν λάβουμε υπόψη τρεις πύργους μετάδοσης ραδιοφωνικού σήματος που βρίσκονται στα A , B και C (Σχήμα 1c), μπορούμε να προσδιορίσουμε τη θέση μας μετρώντας τις αποστάσεις από αυτούς τους τρεις πύργους. Ως εκ τούτου, οι πύργοι εκπομπής λειτουργούν ως σημεία αναφοράς.

¹² Οι γωνίες μπορούν να διαβαστούν με ακρίβεια 0,2 λεπτών τόξου χρησιμοποιώντας τον εξάντα. Η θέση του παρατηρητή μπορεί να εκτιμηθεί με ακρίβεια 0,23 ναυτικών μιλίων (370 m). Οι περισσότεροι πλοηγοί μπορούν να επιτύχουν πρακτική ακρίβεια 1,5 μιλίων (2,8 km) όταν μετρούν από ένα κινούμενο σκάφος, η οποία είναι επαρκής για την ασφαλή πλοήγηση στη θάλασσα.

¹³ Bhatta, Basudeb. Global navigation satellite systems: insights into GPS, GLONASS, Galileo, Compass, and others. BS Publications, 2010.

Η εμβέλεια ενός ραδιοπομπού ήταν γενικά περίπου 500 km.¹⁴ Αυτή η ιδέα ήταν η πιο προηγμένη τεχνική που χρησιμοποιήθηκε για πλοήγηση και εντοπισμό θέσης τον 20ο αιώνα. Ωστόσο, πριν από την επίτευξη αυτής της προηγμένης τεχνικής, οι τεχνικές ραδιοαυτιλίας και εντοπισμού θέσης είχαν περάσει από πολλές φάσεις.

Το *Radio Direction Finder* ήταν το πρώτο σύστημα ραδιοαυτιλίας (RDF) το οποίο εκτελούσε συντονισμό σε ραδιοσυχνότητα και στη συνέχεια γινόταν ο εντοπισμός της κεραίας εκπομπής με την χρήση κατευθυντικής κεραίας. Οι ραδιοφωνικές πηγές αντικατέστησαν τα αστέρια και τους πλανήτες της αστρονομικής πλοήγησης, με ένα σύστημα που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί όλο το εικοσιτετράωρο ανεξαρτήτως καιρικών συνθηκών.¹⁵ Κατά τη διάρκεια των δεκαετιών του 1930 και του 1940, αυτή η προσέγγιση χρησιμοποιήθηκε συχνά.

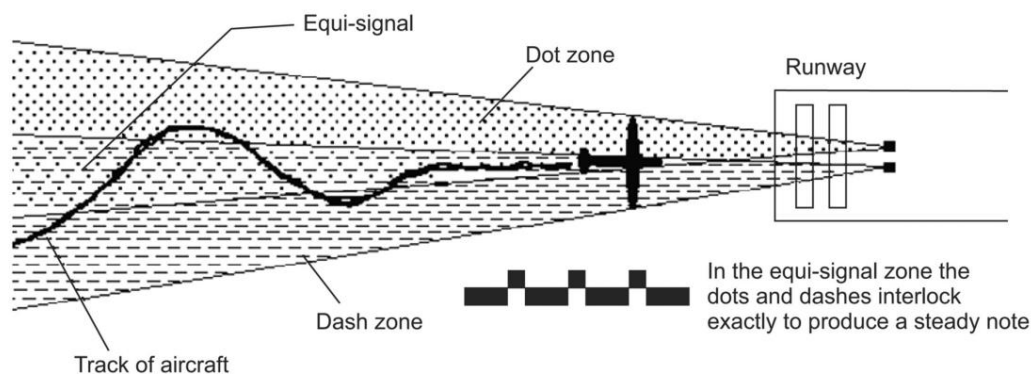
Οι Γερμανοί, επινόησαν μια νέα μέθοδο τη δεκαετία του 1930 που ονομαζόταν «*Ultrakurzwellen-Landefunkfeuer*» (LFF), ή απλά «*Leitstrahl*» (δέσμη καθοδήγησης). Ωστόσο, αναφερόταν ως *Lorenz* εκτός Γερμανίας, επειδή ήταν το όνομα της εταιρείας που κατασκεύαζε τον εξοπλισμό.¹⁶ Αρχικά χρησιμοποιήθηκε ως σύστημα προσγείωσης αεροσκαφών.

Ένα αεροσκάφος που πλησίαζε τον διάδρομο συντόνιζε το δέκτη του στη συχνότητα εκπομπής και άκουγε τα σήματα. Ο πιλότος γνώριζε ότι βρίσκονταν εκτός της κεντρικής γραμμής του διαδρόμου προς τα αριστερά (τον τομέα των κουκκίδων) αν άκουγε μια σειρά από κουκκίδες και έπρεπε να στρίψει δεξιά για να ευθυγραμμιστεί με τον διάδρομο. Αν ήταν προς τα δεξιά, θα άκουγε μια σειρά από παύλες και θα έστριβε αριστερά (Σχήμα 3). Το κλειδί για τη λειτουργία του συστήματος ήταν μια περιοχή στη μέση όπου τα δύο σήματα (αριστερά και δεξιά) αλληλεπικαλύπτονταν με αποτέλεσμα έναν σταθερό τόνο. Προσαρμόζοντας την πορεία τους μέχρι να ακούσουν σταθερό τόνο, ο πιλότος μπορούσε να ευθυγραμμίσει το αεροσκάφος του με τον διάδρομο για μια ασφαλή προσγείωση.

¹⁴ [JAVAD GNSS](#)

¹⁵ Cutler, Thomas J. *Dutton's Nautical Navigation*. Annapolis: Naval Institute Press, 2004.

¹⁶ Bauer, Arthur O. "Some historical and technical aspects of radio navigation." Germany, over the period (1907).



Σχήμα 3 : Το σύστημα Lorenz για την προσγείωση αεροσκαφών.

Η χρήση δύο σημάτων που διέφεραν ως προς τη φάση και όχι τον τόνο, ήταν η επόμενη σημαντική πρόοδος στη ραδιοπλοήγηση. Το VHF Omnidirectional Range (VOR), είναι ένα σύστημα που αναπτύχθηκε για να στέλνει ένα περίπλοκο ραδιοσήμα, σε πολύ υψηλή συχνότητα, αποτελώντας μία μορφή ραδιοναυτιλίας για αεροσκάφη. Το συγκεκριμένο σύστημα ήταν απλούστερο στη χρήση και πιο αξιόπιστο.¹⁷

Τα πρώτα βοηθήματα ραδιοπλοήγησης Lorenz, RDF και VOR, δεν εφάρμοσαν την ιδέα της μέτρησης του χρόνου διαδρομής του σήματος, για τον υπολογισμό της απόστασης από τον πομπό.

Το πρώτο σύστημα που βασίζεται στη μέτρηση της διαφοράς των χρόνων άφιξης σήματος, από δύο ή περισσότερες τοποθεσίες αναφοράς, ήταν το βρετανικό σύστημα GEE (Gee σημαίνει «πλέγμα», δηλαδή το ηλεκτρονικό πλέγμα γεωγραφικού πλάτους και μήκους), χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά κατά τη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου.¹⁸ Οι πομποί GEE έστελναν παλμούς με ακριβή χρονισμό. Υπήρχαν τρεις σταθμοί GEE, ένας κύριος και δύο δευτερεύοντες. Το GEE είχε ακρίβεια περίπου 165 γιάρδες (150 μέτρα) σε μικρές αποστάσεις και έως ένα μίλι (1,6 km) σε μεγαλύτερες αποστάσεις.

Με βάση το βρετανικό GEE, αναπτύχθηκε το σύστημα ραδιοπλοήγησης OMEGA. Το OMEGA, ήταν το πρώτο πραγματικά παγκόσμιο σύστημα ραδιοπλοήγησης για αεροσκάφη, το οποίο χρησιμοποιούσαν οι Ηνωμένες Πολιτείες

¹⁷ Daidzic, Nihad E. "General solution of the wind triangle problem and the critical tailwind angle." *The International Journal of Aviation Sciences (IJAS)* 1.1 (2016): 57-93.

¹⁸ Hecks, Karl. *Bombing 1939-45: The Air Offensive Against Land Targets in World War Two*. Robert Hale Limited, 1990.

(ΗΠΑ) σε συνεργασία με έξι χώρες εταίρους. Το Ναυτικό των ΗΠΑ ήταν το πρώτο που ανέπτυξε το OMEGA. Παρουσιάστηκε το 1968 με μόλις οκτώ πομπούς και ακρίβεια θέσεως τεσσάρων ναυτικών μιλίων. Λόγω της επιτυχίας της δορυφορικής πλοήγησης GPS, η χρήση του OMEGA μειώθηκε κατά τη δεκαετία του 1990 σε σημείο όπου το κόστος λειτουργίας του OMEGA δεν μπορούσε πλέον να δικαιολογηθεί. Στις 30 Σεπτεμβρίου 1997, η OMEGA σταμάτησε οριστικά τη λειτουργία του συστήματος.

Αρκετά άλλα παρόμοια συστήματα ραδιοπλοήγησης δημιουργήθηκαν επίσης από διάφορες χώρες κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, όπως το ALPHA (το ρωσικό αντίστοιχο του OMEGA), το αμερικανικό LORAN, το CHAYKA (το ρωσικό αντίστοιχο του LORAN) και το DNS (Βρετανία/ΗΠΑ). Το LORAN, τέθηκε σε λειτουργία τη δεκαετία του 1950¹⁹ και είναι ένα επίγειο σύστημα ραδιοπλοήγησης χαμηλής συχνότητας που εξακολουθεί να χρησιμοποιείται σε ορισμένα μέρη του κόσμου.²⁰ Η πιο πρόσφατη έκδοση του LORAN είναι το LORAN-C, το οποίο λειτουργεί σε χαμηλή συχνότητα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος από 90 έως 110 kHz.²¹

Καθώς τα συστήματα υπολογιστών αναπτύχθηκαν, σε σημείο που οι πομποί μπορούσαν να είναι σε μέγεθος, όσο ένα μόνο μικροσίπ, το LORAN έγινε σχετικά απλό στη λειτουργία του και εμφανίστηκε γρήγορα σε μη στρατιωτικά συστήματα, τη δεκαετία του 1980. Ωστόσο, όπως και τα προηγούμενα συστήματα, η μη στρατιωτική χρήση του LORAN ήταν βραχύβια καθώς η νεότερη τεχνολογία το ξεπέρασε.²²

Αν και το LORAN ήταν μια σημαντική ανακάλυψη για την πλοήγηση και τον εντοπισμό θέσης, ωστόσο είχε τους ακόλουθους περιορισμούς:

- 1) Η κάλυψη του LORAN περιοριζόταν περίπου στο 5% της επιφάνειας της γης.

¹⁹ Hecks, Karl. Bombing 1939-45: The Air Offensive Against Land Targets in World War Two. Robert Hale Limited, 1990.

²⁰ <https://www.loran.org>

²¹ Guard, US Coast. "Loran-C User Handbook, COMDTPUB P16562. 6." Washington, DC (1992).

²² Με την διαπίστωση της ευπάθειας των συστημάτων GNSS, εάν οι δορυφόροι δεν λειτουργούν, ανανεώθηκε το ενδιαφέρον για τις εφαρμογές και την ανάπτυξη του LORAN. Το ενισχυμένο LORAN, γνωστό και ως eLORAN ή E-LORAN, περιλαμβάνει προόδους στον σχεδιασμό και τα χαρακτηριστικά μετάδοσης του δέκτη που έχουν αυξήσει την ακρίβεια και τη χρησιμότητα του παραδοσιακού LORAN. Με αναφερόμενη ακρίβεια έως και 8 μέτρα, το σύστημα γίνεται ανταγωνιστικό με το κανονικό GNSS. Αυτές οι βελτιώσεις στο LORAN το καθιστούν κατάλληλο ως υποκατάστατο όταν το GNSS δεν είναι διαθέσιμο ή υποβαθμισμένο.

2) Το σύστημα λειτουργούσε κοντά σε παράκτιες περιοχές με μεγάλο κυκλοφοριακό όγκο.

3) Το σήμα LORAN, υπέφερε από ηλεκτρονικά φαινόμενα παρεμβολών και

4) Το LORAN, μπορούσε να παρέχει μόνο δισδιάστατες πληροφορίες θέσης (γεωγραφικό πλάτος και μήκος) και δεν μπορούσε να παρέχει πληροφορίες ύψους.

Ως εκ τούτου, δεν μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για πλοήγηση στην αεροπορία. Γενικά, η ακρίβεια του LORAN ήταν περίπου 20–100 m (για το Loran-C), και επομένως δεν ήταν κατάλληλο για τοπογραφία/χαρτογράφηση.

1.3 Τα δορυφορικά συστήματα

Για να ξεπεραστούν οι περιορισμοί των επίγειων συστημάτων, σχεδιάστηκε ένα σύστημα ραδιοπλοήγησης, βασισμένο σε τεχνητούς δορυφόρους που περιφέρονταν γύρω από τη γη σε μεγάλα υψόμετρα, στους οποίους τοποθετήθηκαν βελτιωμένοι ραδιοπομποί, για να παρέχουν ευρύτερη κάλυψη. Ο Sputnik, ο πρώτος τεχνητός δορυφόρος στον κόσμο, εκτοξεύτηκε από τη Σοβιετική Ένωση το 1957.²³

Τον Μάρτιο του 1958, ο McClure πρότεινε την μέθοδο μέτρησης της μετατόπισης των σημάτων Doppler ενός δορυφόρου που θα ήταν γνωστή η θέση του, ώστε να καθορίσει την ακριβή τροχιά του, ενώ ένας κατάλληλα εξοπλισμένος παρατηρητής, θα μπορούσε να καθορίσει τη θέση του στην γη, από τα σήματα του δορυφόρου. Αυτή είναι η βασική αρχή του GPS.²⁴

Ο πρώτος δορυφόρος Transit, τέθηκε σε τροχιά το 1960. Όταν το σύστημα τέθηκε σε λειτουργία το 1962, παρά την αντίθεση αξιωματικών του Πολεμικού Ναυτικού των ΗΠΑ που αμφέβαλλαν ότι θα λειτουργούσε, είχε επτά δορυφόρους σε τροχιά σε υψόμετρο περίπου 1100 km. Αυτοί οι δορυφόροι, εξέπεμπαν σήματα σε επίγειους χρήστες που μπορούσαν να εντοπίσουν τον εαυτό τους, μετρώντας τις μετατοπίσεις Doppler των σημάτων. Οι δορυφόροι, μετέδιδαν επίσης πληροφορίες για τις τροχιακές τους θέσεις. Το Πολεμικό Ναυτικό των ΗΠΑ, ήλπιζε για ακρίβεια σε απόσταση περίπου ενός χιλιομέτρου, αλλά αποδείχθηκε πολύ καλύτερο με ακρίβεια στα 25 μ. περίπου.²⁵

²³ Bedwell, D. 2007, Where Am I?, American Heritage Magazine, 22(4).

²⁴ Το ίδιο

²⁵ Το ίδιο

Το Transit, ήταν τόσο χρήσιμο και αξιόπιστο για τα υποβρύχια και τα πλοία επιφανείας του Πολεμικού Ναυτικού των ΗΠΑ, που κυκλοφόρησε για πολιτικές εφαρμογές το 1967 με το όνομα NAVigation SATellite (NAVSAT) ή Navy Navigation Satellite System (NNS) και θα βοηθούσε στην καθοδήγηση των εμπορικών πλοίων μέχρι και τα μέσα της δεκαετίας του 1990. Αν και το Transit απέδειξε ότι οι δορυφόροι πλοήγησης ήταν χρήσιμοι και αξιόπιστοι, δεν ήταν καθόλου φιλικό προς τον χρήστη. Απαιτούσε μεγάλους χρόνους παρατήρησης και λόγω του μικρού αριθμού δορυφόρων, μερικές φορές δεν παρείχε την θέση για ώρες.²⁶ Οι χρήστες σε πλοία που βρίσκονταν σε κίνηση, έπρεπε να κάνουν χρονοβόρες διορθώσεις και έδινε δεδομένα μόνο σε δύο διαστάσεις, γεωγραφικό πλάτος και μήκος. Για την τρίτη διάσταση, το υψόμετρο, που θα ήταν καθοριστικής σημασίας για την αεροπορία, χρειαζόταν ένα πιο προηγμένο σύστημα.

Το 1964 ο Roger L. Easton, ανέπτυξε ένα βελτιωμένο σύστημα πλοήγησης που ονομάστηκε *Timation*²⁷, το οποίο ήταν ο προκάτοχος του σημερινού GNSS και πρόδρομος του GPS. Ο Easton, δημιούργησε ένα σύστημα δορυφόρων που έφεραν ρολόγια συγχρονισμένα με ένα κύριο ρολόι στη γη. Μετρώντας πόσο χρόνο χρειαζόταν το σήμα για να φτάσει από το δορυφόρο στους χρήστες, μπορούσαν να υπολογίσουν την απόσταση από τον δορυφόρο. Επαναλαμβανόμενη η διαδικασία και με άλλους δορυφόρους, σε συνδυασμό με δεδομένα σχετικά με τις τροχιές τους, αυτή η διαδικασία θα μπορούσε να δώσει τη θέση του χρήστη σε τρεις διαστάσεις.²⁸

Η χρήση μετρήσεων χρόνου των σημάτων που μεταδίδονται από δορυφόρους, ήταν η βασική καινοτομία του συστήματος *Timation*. Προφανώς, θα απαιτούσε εξαιρετικά ακριβή ρολόγια. Όταν οι δύο πρώτοι δορυφόροι *Timation*, τοποθετήθηκαν σε τροχιά το 1967 και το 1969, έφεραν ρολόγια με σταθερούς ταλαντωτές κρυστάλλου χαλαζία.²⁹ Δύο μεταγενέστεροι δορυφόροι ήταν εξοπλισμένοι με *ατομικά ρολόγια*, τα οποία τελικά έθεσαν το πρότυπο GPS. Αργότερα, πολλά άλλα πειράματα και εκτοξεύσεις εκτός από το *Timation* πραγματοποιήθηκαν, για τη

²⁶ Bedwell, D. 2007, Where Am I?, American Heritage Magazine, 22(4).

²⁷ Aldridge, Robert C. First strike!: the Pentagon's strategy for nuclear war. South End Press, 1983.

²⁸ Bedwell, D. 2007, Where Am I?, American Heritage Magazine, 22(4).

²⁹ Ένας ταλαντωτής κρυστάλλου (ή ταλαντωτής κρυστάλλου χαλαζία) είναι ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα που χρησιμοποιεί τον μηχανικό συντονισμό ενός δονούμενου κρυστάλλου πιεζοηλεκτρικού υλικού για να δημιουργήσει ένα ηλεκτρικό σήμα. Η συχνότητα αυτού του σήματος χρησιμοποιείται συνήθως για την παρακολούθηση του χρόνου (όπως στα ρολόγια χειρός χαλαζία), για την παροχή σταθερού σήματος ρολογιού για ψηφιακά ολοκληρωμένα κυκλώματα και για τη σταθεροποίηση των συχνοτήτων για πομπούς/δέκτες.

δημιουργία ενός παγκόσμιου συστήματος πλοήγησης, βασισμένου σε δορυφόρους με υψηλή ακρίβεια.

Το Υπουργείο Άμυνας των ΗΠΑ καθόρισε έναν προϋπολογισμό 104 εκατομμυρίων δολαρίων τον Δεκέμβριο του 1973, για την κατασκευή ενός συστήματος δορυφορικής πλοήγησης, γνωστού ως NAVigation Satellite Timing and Ranging Global Positioning System (NAVSTAR GPS), γνωστό σήμερα ως GPS.³⁰ Μετά από δυο βελτιώσεις, το σύστημα δορυφόρων GPS Block-II, ξεκίνησε με την πρώτη του εκτόξευση τον Φεβρουάριο του 1989 και ολοκληρώθηκε τον Μάρτιο του 1994.³¹

Η Σοβιετική Ένωση, ξεκίνησε επίσης ένα σύστημα δορυφορικής πλοήγησης που ονομάζεται GLObal'naya NAvigatsionnaya Sputnikovaya Sistema (GLONASS, αγγλική μετάφραση Global Navigation Satellite System, που ονομάζεται επίσης Παγκόσμιο Δορυφορικό Σύστημα Πλοήγησης σε τροχιά). Η Σοβιετική Ένωση συνειδητοποίησε την αναγκαιότητα και τα οφέλη της κατασκευής ενός νέου συστήματος δορυφορικής ραδιοπλοήγησης στα τέλη της δεκαετίας του 60. Ενώ το υπάρχον σύστημα δορυφορικής πλοήγησης Tsikada (παρόμοιο με το US Transit), ήταν εξαιρετικά ακριβές για σταθερά ή αργά κινούμενα πλοία, ο προσδιορισμός μιας θέσης απαιτούσε αρκετές ώρες παρατήρησης από τον σταθμό λήψης, καθιστώντας το άχρηστο για πλοήγηση και καθοδήγηση της νέας γενιάς βαλλιστικών πυραύλων.

Μια νέα στρατηγική για την ανάπτυξη του GLONASS, συμφωνήθηκε τον Δεκέμβριο του 1976 και στις 12 Οκτωβρίου 1982 εκτοξεύτηκε ο πρώτος δορυφόρος αυτού του συστήματος. Μεταξύ 1982 και 1991, η Σοβιετική Ένωση, εκτόξευσε με επιτυχία 43 δορυφόρους που σχετίζονται με το GLONASS, καθώς και πέντε δορυφόρους δοκιμής. Το 1991, δώδεκα λειτουργικοί δορυφόροι GLONASS σε δύο τροχιακά επίπεδα ήταν διαθέσιμοι, επιτρέποντας περιορισμένη χρήση του συστήματος.

Μετά τη διάλυση της Σοβιετικής Ένωσης το 1991, η Ρωσική Ομοσπονδία ανέλαβε την ανάπτυξη του GLONASS. Κηρύχθηκε εν μέρει λειτουργικό, στις 24 Σεπτεμβρίου 1993 από τον τότε πρόεδρο Μπόρις Γιέλτσιν, αν και το έργο, είχε προγραμματιστεί να ολοκληρωθεί μέχρι το 1991. Το πλήρες σύστημα σε τροχιά, τέθηκε τον Δεκέμβριο του 1995, οπότε και κηρύχθηκε πλήρως λειτουργικό.

³⁰ Parkinson, Bradford W. "GPS eyewitness: the early years." GPS world 5.9 (1994): 32-45.

³¹ Bedwell, D. 2007, Where Am I?, American Heritage Magazine, 22(4).

Αρχικά, το GPS και το GLONASS σχεδιάστηκαν για να εξυπηρετούν στρατιωτικούς σκοπούς και δεν επιτρεπόταν στους πολίτες να χρησιμοποιήσουν αυτά τα σήματα. Την 1η Σεπτεμβρίου 1983, σοβιετικά μαχητικά αεροσκάφη κατέρριψαν την πτήση 007 της Korean Airlines, η οποία είχε εκ παραδρομής μπει στον εναέριο χώρο της Σοβιετικής Ένωσης. Αυτό, είχε ως αποτέλεσμα τον θάνατο και των 269 επιβατών της πτήσης. Για να βοηθήσει στην αποφυγή τέτοιων τραγωδιών στο μέλλον, ο τότε Πρόεδρος των ΗΠΑ Ρόναλντ Ρίγκαν, ανακοίνωσε ότι τα σήματα GPS θα διατεθούν και για διεθνή, μη στρατιωτική χρήση, οπότε το σύστημα ξεκίνησε τη λειτουργία του και για πολιτικούς σκοπούς. Αποφασίστηκε, ότι τα στρατιωτικά συμφέροντα των ΗΠΑ θα προστατεύονταν, μέσω κωδικοποίησης των στρατιωτικών σημάτων. Με εφαρμογή αλλαγών για τη μείωση της ακρίβειας του σήματος, θα διατίθεται σε πολιτικούς χρήστες. Αυτό το σύστημα ωστόσο, δεν κράτησε πολύ, καθώς οι κατασκευαστές ηλεκτρονικών ειδών, βρήκαν γρήγορα τρόπους να παρακάμψουν το σήμα για πολιτικούς σκοπούς και να χρησιμοποιούν το σήμα ακριβείας. Από την άλλη πλευρά, κατά τη διάρκεια του Πόλεμου του Κόλπου, Αμερικανοί στρατιώτες και δεξαμενόπλοια αναγνώρισαν την αξία του GPS και ζήτησαν πολύ περισσότερους δέκτες από αυτούς που είχε στο απόθεμα ο Αμερικανικός Στρατός. Οι αξιωματούχοι στράφηκαν στον ιδιωτικό τομέα, παραγγέλνοντας περισσότερες από 10.000 μονάδες από εμπορικούς προμηθευτές. Με τόσους πολλούς εμπορικούς δέκτες που χρησιμοποιούνται από τα στρατεύματα, η κυβέρνηση των ΗΠΑ έπρεπε να αποδεσμεύσει την στρατιωτική συχνότητα (SA), κάτι το οποίο έλαβε χώρα, στις 2 Μαΐου 2000 με εντολή του τότε Προέδρου των ΗΠΑ Μπιλ Κλίντον.

Αυτό, ενθάρρυνε αρκετές ιδιωτικές εταιρείες να συνεχίσουν την κατασκευή δεκτών GPS και ο αυξανόμενος ανταγωνισμός, ανάγκασε την τιμή να πέσει. Ως αποτέλεσμα, άνοιξε μια νέα πόρτα στον κόσμο της δορυφορικής πλοήγησης και πολλές μη στρατιωτικές εφαρμογές ξεπήδησαν σαν μανιτάρια. Αν και η SA του GPS αποσπάστηκε το έτος 2000, οι περιορισμοί που απαγόρευαν στους πολιτικούς χρήστες να αποκτήσουν το σήμα υψηλής ακρίβειας των δορυφόρων GLONASS, αποσύρθηκαν μόλις στις 18 Μαΐου 2007.

Το GPS και το GLONASS και τα δύο λειτουργούν και ελέγχονται από τους στρατούς των αντίστοιχων εθνών και δεν διασφαλίζουν τη συνεχή παροχή σήματος στους πολίτες για πάντα. Λόγω αυτής της ασάφειας, στις 26 Μαΐου 2003, η Ευρωπαϊκή Ένωση και ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Διαστήματος συμφώνησαν να

εκτοξεύσουν τη δική τους εναλλακτική λύση στο GPS και το GLONASS, γνωστό ως σύστημα εντοπισμού θέσης Galileo (που πήρε το όνομά του από τον Ιταλό αστρονόμο Galileo Galilei). Ο πρώτος δορυφόρος αυτού του συστήματος Galileo In-Orbit Validation Element-A (GIOVE-A) εκτοξεύτηκε στις 28 Δεκεμβρίου 2005 και ο δεύτερος (GIOVE-B) στις 27 Απριλίου 2008. Στη συνέχεια, εκτοξεύτηκαν αρκετές δεκάδες δορυφόροι σε αυτό το σύστημα και τέθηκε σε πλήρη λειτουργία το έτος 2020. Οι υπηρεσίες Galileo είναι δωρεάν και ανοιχτές σε όλους με περιορισμένη ακρίβεια. Οι δυνατότητες υψηλότερης ακρίβειας είναι διαθέσιμες μόνο για εμπορικούς χρήστες που πληρώνουν.

Το 1983, η Κίνα ξεκίνησε το δικό της ανεξάρτητο σύστημα δορυφορικής πλοήγησης. Ονομάζεται Σύστημα Πλοήγησης Επίδειξης Πυξίδας (γνωστό και ως Πειραματικό Σύστημα Πλοήγησης Πυξίδας ή BeiDou I). Ο BeiDou 1A, ο πρώτος δορυφόρος αυτού του συστήματος, εκτοξεύτηκε τον Οκτώβριο του 2000. Ακολούθησε το BeiDou 1B τον Δεκέμβριο του 2000, το BeiDou 2A τον Μάιο του 2003 και το BeiDou 2B το Φεβρουάριο του 2007. Μετά από επιτυχή πειραματισμό με το BeiDou I, η Κίνα ξεκίνησε ένα παγκόσμιο σύστημα, το BeiDou II ή Compass Navigation Satellite System (CNSS, που συνήθως αναφέρεται ως *Πυξίδα*, *Compass*). Ο πρώτος δορυφόρος αυτού του συστήματος, Compass-M1, εκτοξεύτηκε με επιτυχία στις 14 Απριλίου 2007, ενώ το Compass-G2, δορυφόρος Compass δεύτερης γενιάς, εκτοξεύτηκε στις 15 Απριλίου 2009 για να ακολουθήσαν πολλές άλλες εκτοξεύσεις. Η τρίτη φάση του συστήματος BeiDou, το BeiDou-III, ξεκίνησε το 2015 με την εκτόξευση του πρώτου του δορυφόρου BeiDou-3 I1-S. Από τότε έχουν εκτοξευθεί αρκετές δεκάδες δορυφόροι. Το BeiDou-III είναι επίσης γνωστό ως BeiDou Navigation Satellite System (BDS) ή απλά *BeiDou*. Αυτό το σύστημα αναπτύχθηκε από την Κινεζική Ακαδημία Διαστημικής Τεχνολογίας και τέθηκε σε πλήρη λειτουργία το έτος 2020.

Από το έτος 2020, υπήρχαν μόνο τέσσερα βασικά συστήματα GNSS, (GPS, GLONASS, Galileo και BeiDou) που προορίζονται για την παροχή πληροφοριών θέσης και χρόνου για μια ποικιλία εφαρμογών. Ωστόσο, για την ασφάλεια και τις κρίσιμες εφαρμογές, τα βασικά συστήματα δεν μπορούν να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις όσον αφορά την ακρίβεια, την ακεραιότητα και τη διαθεσιμότητα. Για το σκοπό αυτό, τα συστήματα επαυξάνονται με συστήματα επικάλυψης όπως το διαφορικό παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα πλοήγησης (DGNSS) και το σύστημα αδρανειακής πλοήγησης (INS).

Για παράδειγμα, οι ΗΠΑ έχουν δημιουργήσει το Σύστημα Επαυξημένης Περιοχής (WAAS), η Ευρώπη την Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Γεωστατικής Πλοήγησης και Επικάλυψης (EGNOS), η Ιαπωνία το Πολυλειτουργικό Δορυφορικό Σύστημα (MSAS) και η Ινδία τη επαυξημένη πλοήγηση με GPS (GAGAN), στις αντίστοιχες περιοχές τους.

Είναι προφανές, ότι η ικανότητα ενός έθνους να παρέχει σήματα από δορυφόρους, παρέχει επίσης την δυνατότητα άρνησης της παροχής των σημάτων αυτών. Ο ιδιοκτήτης ενός συγκεκριμένου GNSS έχει δυνητικά τη δυνατότητα να υποβαθμίσει ή να εξαλείψει τις υπηρεσίες δορυφορικής πλοήγησης σε οποιαδήποτε περιοχή επιθυμεί. Έτσι, καθώς η δορυφορική πλοήγηση γίνεται μια βασική υπηρεσία, οι χώρες που δεν διαθέτουν τα δικά τους συστήματα δορυφορικής πλοήγησης γίνονται ουσιαστικά χώρες πελάτες εκείνων που παρέχουν αυτές τις υπηρεσίες. Για το λόγο αυτό, διάφορες χώρες προσπάθησαν να αναπτύξουν τα δικά τους περιφερειακά συστήματα δορυφορικής πλοήγησης, όπως το δορυφορικό σύστημα Quasi-Zenith της Ιαπωνίας (QZSS) και το Ινδικό περιφερειακό δορυφορικό σύστημα πλοήγησης (IRNSS, η επιχειρησιακή ονομασία είναι NavIC).

Αυτά είναι κατ' αρχήν παρόμοια με το βασικό GNSS, αλλά λειτουργούν σε περιφερειακό και όχι σε παγκόσμιο επίπεδο.

1.4 Εφαρμογές GNSS

Το GNSS έχει μια ποικιλία εφαρμογών στην ξηρά, στη θάλασσα και στον αέρα. Το GNSS μας επιτρέπει να καταγράψουμε συντεταγμένες τοποθεσιών και μας βοηθά να πλοηγηθούμε από το ένα μέρος στο άλλο. Το GNSS μπορεί να χρησιμοποιηθεί παντού εκτός από τις περιπτώσεις όπου είναι αδύνατη η λήψη του σήματος, όπως μέσα σε κτίρια, σε ορυχεία και σπηλιές, σε γκαράζ στάθμευσης και σε άλλες υπόγειες τοποθεσίες και κάτω από το νερό.

Η τεχνολογία GNSS έχει ωριμάσει τόσο, ώστε υπερβαίνει κατά πολύ τους αρχικούς σχεδιαστικούς στόχους της. Έχει ξεπεράσει κάθε προσδοκία, καθώς επιστήμονες, αθλητές, αγρότες, στρατιώτες, πιλότοι, τοπογράφοι, πεζοπόροι, οδηγοί, ναυτικοί, ταχυδρόμοι, υλοτόμοι, πυροσβέστες και άλλοι, από πολλά κοινωνικά στρώματα, χρησιμοποιούν τώρα το GNSS για να κάνουν τα επαγγέλματά τους πιο παραγωγικά, ασφαλέστερα και σε ορισμένες περιπτώσεις, ευκολότερα. Σήμερα, τα

περισσότερα κινητά τηλέφωνα, έξυπνα ρολόγια και στερεοφωνικά αυτοκινήτου, διαθέτουν δέκτες για δορυφορικά σήματα GNSS.

1.5 Ταξινόμηση Εφαρμογών GNSS

Η δορυφορική πλοήγηση χρησιμοποιείται σε πολλούς διαφορετικούς τομείς εφαρμογών, από καθαρά εμπορικούς έως και εξαιρετικά επιστημονικούς. Υπάρχουν πολλοί επαγγελματικοί τομείς που έχουν αναπτύξει μεγάλο ενδιαφέρον για τη χρήση του GNSS, κυρίως για να μειωθεί ο χρόνος και τα θέματα πολυπλοκότητας των συστημάτων που χρησιμοποιήθηκαν στο παρελθόν. Αυτό συμβαίνει κυρίως στις εφαρμογές των πολιτικών μηχανικών και κατασκευών, όπου χρησιμοποιούνται δέκτες υψηλής ακρίβειας εδώ και χρόνια.

Η ταξινόμηση των εφαρμογών μπορεί να πραγματοποιηθεί με πολλούς τρόπους, ωστόσο, όλες οι εφαρμογές μπορούν να ομαδοποιηθούν σε πέντε ευρείες κατηγορίες ως εξής:³²

Τοποθεσία — καθορισμός βασικής θέσης .

Η πρώτη και πιο προφανής εφαρμογή του GNSS είναι, ο απλός προσδιορισμός μιας «θέσης» ή τοποθεσίας. Το GNSS είναι το πρώτο σύστημα εντοπισμού θέσης που προσφέρει εξαιρετικά ακριβή δεδομένα τοποθεσίας για οποιοδήποτε σημείο του πλανήτη, με οποιονδήποτε καιρό, ανά πάσα στιγμή.

Πλοήγηση — μετάβαση από τη μια τοποθεσία στην άλλη.

Αρχικά αναπτύχθηκε για πλοήγηση στον αέρα, στο νερό και στη στεριά. Το GNSS έγινε γρήγορα απαραίτητος εξοπλισμός για τα αυτοκίνητα. Τα εξελιγμένα συστήματα, μπορούν να δείχνουν τη θέση του οχήματος σε μια οθόνη ηλεκτρονικού χάρτη, επιτρέποντας στους οδηγούς να παρακολουθούν πού βρίσκονται και να αναζητούν διευθύνσεις δρόμων, εστιατόρια, ξενοδοχεία και άλλους προορισμούς. Μπορούν ακόμη και να δημιουργήσουν αυτόματα μια διαδρομή και να δώσουν οδηγίες στροφή προς στροφή σε μια καθορισμένη τοποθεσία.

³² Bhatta, Basudeb. "Introduction to remote sensing and research." Research Methods in Remote Sensing. Springer, Dordrecht, 2013. 1-20.

Παρακολούθηση — παρακολούθηση της κίνησης ανθρώπων και πραγμάτων .

Το GNSS που χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με συνδέσμους επικοινωνίας και υπολογιστές, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση οποιουδήποτε κινούμενου οχήματος (στο νερό, στη γη και στον αέρα). Επομένως, δεν αποτελεί έκπληξη το γεγονός ότι η αστυνομία, τα ασθενοφόρα και η πυροσβεστική, έχουν υιοθετήσει συστήματα όπως οι αυτόματοι διαχειριστές εντοπισμού οχημάτων, που βασίζονται σε GNSS για να εντοπίσουν τόσο τη θέση τους σε έκτακτη ανάγκη, όσο και τη θέση του πλησιέστερου οχήματος αντίδρασης. Τα τμήματα μεταφορών και κυκλοφορίας, έχουν επίσης υιοθετήσει την παρακολούθηση βάσει GNSS.

Χαρτογράφηση — δημιουργία χαρτών του κόσμου ή τμημάτων του.

Χρησιμοποιώντας το GNSS για ακριβή έρευνα και χαρτογράφηση, μπορούμε να εξοικονομήσουμε χρόνο και χρήμα σε αυτές τις εφαρμογές. Σήμερα, το GNSS δίνει τη δυνατότητα σε έναν τοπογράφο, να επιτύχει σε μια μέρα ότι χρειάζονταν εβδομάδες με μια ολόκληρη ομάδα. Μπορούν ακόμη και να κάνουν τη δουλειά τους με υψηλότερο επίπεδο ακρίβειας από ποτέ.

Χρονομέτρηση — επιτυγχάνοντας ακριβή χρονισμό.

Αν και το GNSS είναι γνωστό για τον εντοπισμό θέσης, την πλοήγηση, την παρακολούθηση και τη χαρτογράφηση, χρησιμοποιείται επίσης ευρέως για τη διάδοση ακριβούς χρόνου, χρονικών διαστημάτων και συχνότητας. Οι δορυφόροι GNSS διαθέτουν ατομικά ρολόγια υψηλής ακρίβειας. Για να λειτουργήσει το σύστημα, οι δέκτες GNSS στο έδαφος, συγχρονίζονται με αυτά τα ρολόγια. Αυτό σημαίνει ότι κάθε δέκτης GNSS είναι στην ουσία, ένα ρολόι ατομικής ακρίβειας και μπορεί να παρέχει πληροφορίες χρόνου σε νανοδευτερόλεπτα.

Οι εφαρμογές του GNSS εκτείνονται σε όλο το φάσμα των επιστημών, στο διάστημα στο έδαφος, στη γη στον αέρα και το νερό, για ψυχαγωγία για σοβαρές επιχειρήσεις, ταξίδια, μεταφορές, τοπογραφία και χαρτογράφηση, πλοήγηση, γεωδυναμική, έρευνα και εξερεύνηση, παρακολούθηση, περιβάλλον, διαχείριση καταστροφών, κυνήγι και κατασκοπεία, στον σύγχρονο πόλεμο, για πρωτοβουλίες ειρήνης, βελτίωση της ποιότητας ζωής ακόμη και για τρομοκρατικές δραστηριότητες.³³ Είναι σχεδόν αδύνατο να απαριθμήσουμε όλες τις πιθανές

³³ Kaplan, E. D. "1996, Understanding GPS: Principles and Applications."

εφαρμογές του GNSS. Το GNSS, ως ένα διαρκώς διαθέσιμο σε πραγματικό χρόνο παντός καιρού, οικονομικό σύστημα ακριβούς εντοπισμού θέσης και χρόνου συμβάλλει στην απεριόριστη χρήση του.

Αν και το GNSS έχει αμέτρητες τελικές χρήσεις, οι περισσότερες από αυτές τις εφαρμογές, βρίσκουν εφαρμογή στην εθνική άμυνα των χωρών αλλά και σε πολιτικού χαρακτήρα δράσεις. Ωστόσο, ορισμένες από τις εφαρμογές είναι εξειδικευμένες για στρατιωτικούς σκοπούς, όπως π.χ. η καθοδήγηση όπλων.

1.6 Τοπογράφηση και Χαρτογράφηση (Τοποθεσία)

Οι εφαρμογές τοπογραφίας και χαρτογράφησης, είναι εξίσου σημαντικές τόσο για στρατιωτικούς, όσο και για πολιτικούς σκοπούς. Αυτές οι εφαρμογές, μπορεί να έχουν πολλές διαστάσεις με βάση τις απαιτήσεις του έργου.³⁴ Οι ακόλουθες υποενοότητες, προορίζονται να περιγράψουν ορισμένες εφαρμογές του GNSS στην τοπογραφία και τη χαρτογράφηση. Ωστόσο, στην τοπογραφία και τη χαρτογράφηση, υπάρχουν πολλά ζητήματα που εμπλέκονται και είναι απαραίτητα να αντιμετωπιστούν από πρακτική άποψη.

1.6.1 Γεωδαιτικός Έλεγχος

Ο γεωδαιτικός έλεγχος, μπορεί να θεωρηθεί έρευνα ελέγχου υψηλού επιπέδου, με ειδικές απαιτήσεις ακρίβειας. Οι γεωδαιτικές έρευνες, μας παρέχουν τα σημάδια τα οποία θεωρούνται σταθερά σημεία αναφοράς που επισημαίνονται από χτισμένες κατασκευές και αποτελούν αφετηρία για τους υπόλοιπους γεωδαιτικούς ελέγχους. Ο γεωδαιτικός έλεγχος είναι μία από τις κύριες χρήσεις της τεχνολογίας GNSS.³⁵

Το GNSS είναι συχνά οικονομικότερο, πιο γρήγορο, πιο ακριβές και πιο αξιόπιστο από τις παραδοσιακές (εδafικές) μεθόδους τοπογραφίας. Τα δίκτυα GNSS, χρησιμοποιούν μεγάλο αριθμό μετρήσεων και στατιστικές ποιοτικού ελέγχου, για τη διασφάλιση αξιόπιστων μετρήσεων. Για υψηλή ακρίβεια, χρησιμοποιούνται οριζόντια και κατακόρυφα σημεία ελέγχου. Από αυτά τα σημεία ελέγχου, η

³⁴ Owings, Rich. GPS Mapping: Make Your Own Maps. Ten Mile Press, 2005.

³⁵ Czerniak, Robert J., and James Patrick Reilly. Applications of GPS for surveying and other positioning needs in departments of transportation. Vol. 258. Transportation Research Board, 1998.

συμπληρωματική χαρτογράφηση ή ο εντοπισμός θέσης πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας κινηματικές τεχνικές σε πραγματικό χρόνο (real-time kinematic, RTK). Αυτές οι μέθοδοι είναι σχετικά αποτελεσματικές και μπορούν να εκτελεστούν από έναν παρατηρητή σε κάθε δέκτη. Το GNSS είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικό σε σύγκριση με τις συμβατικές έρευνες.

1.6.2 Εφαρμογή Χαρτογράφησης GIS

Τεχνικές πραγματικού χρόνου και μεταεπεξεργασμένες τεχνικές, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτέλεση ερευνών τοπογραφικής χαρτογράφησης και χαρτογράφησης βάσει του Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS).³⁶ Γενικά, οι περισσότερες τοπογραφικές αποτυπώσεις εκτελούνται χρησιμοποιώντας μεθόδους RTK. Τα τοπογραφικά δεδομένα ή τα δεδομένα GIS σε πραγματικό χρόνο, συλλέγονται συνήθως χρησιμοποιώντας βάσεις κεραίας πλάτης (**Εικόνα 2a**) ή κεραία τοποθετημένη σε πόλο (**Εικόνα 2b**). Τα δεδομένα καταγράφονται σε τυπικούς συλλέκτες δεδομένων παρόμοιους με αυτούς που χρησιμοποιούνται για επίγειους συνολικούς σταθμούς. Το λογισμικό συλλογής δεδομένων έχει σχεδιαστεί για να εκχωρεί χαρακτηριστικά τοπογραφικής και χαρτογράφησης GIS. Τεχνικές διαφορικού κώδικα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για χαρακτηριστικά χαρτογράφησης GIS που απαιτούν ακρίβεια σε επίπεδο μετρητή.

Εάν χρειάζεται μόνο κατά προσέγγιση ακρίβεια χαρτογράφησης (10–30 m), μπορούν να χρησιμοποιηθούν αυτόνομοι δέκτες χειρός GNSS βασισμένοι σε κώδικα, με απόλυτη τοποθέτηση (**Εικόνα 2c**).



Εικόνα 2 : (a) Έρευνα RTK με κεραία τοποθετημένη στο σακίδιο. (b) Έρευνα RTK με κεραία τοποθετημένη στον πόλο. (c) Τοποθέτηση με φορητό αυτόνομο δέκτη κωδικού.

³⁶ Sickle, Jan Van. "Basic GIS coordinates." (2004).

1.6.3 Έρευνα Δομικής Παραμόρφωσης

Έρευνα παραμόρφωσης εκτελείται, κατά τη διάρκεια εργασιών εκσκαφής, προκειμένου να ελεγχθεί ότι η περιοχή κατασκευής δεν παραμορφώνεται λόγω χωματουργικών εργασιών. Ένα άλλο παράδειγμα έρευνας παραμόρφωσης εμφανίζεται στην τακτική παρακολούθηση των τοίχων ενός φράγματος. Σε αυτούς τους τύπους ερευνών, τα σημεία αναφοράς στην περιοχή ενδιαφέροντος, ελέγχονται τακτικά και σχετίζονται με άλλα σήματα που δεν βρίσκονται στην ίδια περιοχή και θεωρούνται σταθερά. Εάν εντοπιστεί μετατόπιση στα σημεία στην περιοχή έρευνας, τότε μπορούν να ληφθούν μέτρα για τη διατήρηση της ασφάλειας.³⁷ Γενικά, η ακρίβεια που σχετίζεται με τις έρευνες παρακολούθησης, είναι εξαιρετικά υψηλή (σε χιλιοστά).

Η κίνηση σε μια κατασκευή σε σχέση με σταθερά σημεία αναφοράς μπορεί να παρακολουθείται χρησιμοποιώντας τεχνικές έρευνας GNSS.³⁸ Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την χρήση πολλαπλών κεραιών που τοποθετούνται σε στρατηγικά σημεία του κτιρίου και στα σημεία αναφοράς. Για τη μέτρηση της κινητικότητας, μετρώνται με ακρίβεια οι αποστάσεις μεταξύ των σημείων κατασκευής και σημείων αναφοράς. Οι μετρήσεις μπορούν να γίνονται συνεχώς. Ένα σύστημα δομικής παραμόρφωσης GNSS μπορεί να λειτουργεί χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση και είναι σχετικά απλό στην κατασκευή και τη συντήρηση. Οι περιοδικές παρατηρήσεις παρακολούθησης μπορούν επίσης να συλλέγονται ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Επιπλέον, για να έχουμε αξιόπιστα αποτελέσματα τα σημεία αναφοράς πρέπει να υπολογιστούν και να επισημανθούν με μεγάλη ακρίβεια πριν από τη διενέργεια δομικών ερευνών παρακολούθησης.

1.6.4 Έρευνα Παράκτιας Ακτογραμμής

Για την εκτέλεση ερευνών του ύψους της στάθμης της θάλασσας για τις ακτογραμμές, οι τεχνικές μέτρησης θέσης και υψομέτρου διαφορικού GNSS (DGNS) έχουν σχεδόν αντικαταστήσει τις παραδοσιακές μεθόδους έρευνας. Οι τεχνικές RTK χρησιμοποιούνται συνήθως για την τοποθέτηση αισθητήρων μέτρησης

³⁷ Cruz, Paulo JS, Dan M. Frangopol, and Luis C. Neves, eds. Bridge maintenance, safety, management, life-cycle performance and cost. Taylor & Francis Group, 2006.

³⁸ Van Sickle, Jan. GPS for land surveyors. CRC press, 2008.

βάθους. Προκειμένου να εξαλειφθούν τα σφάλματα λόγω του κυματισμού της επιφάνειας, οι αισθητήρες γενικά συνδυάζουν μετρήσεις RTK με συσκευές μέτρησης αδράνειας. Οι τοπογραφικές μέθοδοι RTK χρησιμοποιούνται συχνά για την έρευνα τμημάτων του εδάφους της παραλίας.

1.6.5 Φωτομετρικός έλεγχος χαρτογράφησης

Για τυπικά φωτομετρικά έργα, η χρήση αερομεταφερόμενου δέκτη GNSS σε συνδυασμό με συγκεκριμένες διαδικασίες αδρανειακής πλοήγησης και φωτομετρικής επεξεργασίας δεδομένων, μπορεί να ελαχιστοποιήσει σημαντικά τον έλεγχο από εδάφους. Κάθε εικόνα κάμερας είναι τοποθετημένη και προσανατολισμένη με ακρίβεια σε σχέση με έναν επίγειο σημείο αναφοράς.³⁹ Αυτές οι λειτουργίες χαρτογράφησης, απαιτούσαν παραδοσιακά μεγάλο αριθμό ανθρώπων και οικονομικούς πόρους για την κατασκευή χώρων ελέγχου εδάφους. Ως αποτέλεσμα, η χρήση εναέριας τεχνολογίας GNSS, μειώνει δραστικά το κόστος για την δημιουργία έργων χαρτογράφησης μεγάλης κλίμακας. Οι συντεταγμένες ελέγχου εδάφους, μπορούν να δημιουργηθούν από μια εναέρια πλατφόρμα που χρησιμοποιεί κινηματικές τεχνικές GNSS, με ακρίβεια επιπέδου εκατοστών και στις τρεις διαστάσεις, εάν μειωθούν τα σφάλματα που σχετίζονται με το σύστημα του αερομεταφερόμενου GNSS και των φωτομετρικών τμημάτων και λειτουργιών.⁴⁰

1.6.6 Έρευνα ελέγχου εφαρμογών τηλεπισκόπησης

Η έρευνα σημείων ελέγχου εδάφους (GCPs) για γεωμετρική διόρθωση, είναι μια πολύ κοινή εφαρμογή του GNSS στην τηλεπισκόπηση. Στην εφαρμογή τηλεπισκόπησης, είναι σημαντικό να γνωρίζουμε την ακριβή θέση των δεδομένων αναφοράς που παρατηρούνται στο πεδίο.⁴¹ Προκειμένου να επιτευχθεί ακριβής γεωμετρική διόρθωση καθώς και ακρίβεια εδάφους, απαιτούνται GCP με γνωστές συντεταγμένες.

³⁹ Quattrochi, Dale A., and Michael F. Goodchild, eds. Scale in remote sensing and GIS. CRC press, 1997.

⁴⁰ USACE 2002c, Engineering and Design - Photogrammetric Mapping, U.S. Army Corps of Engineers.

⁴¹ Bhatta, Basudeb. Global Navigation Satellite Systems: New Technologies and Applications. CRC Press, 2021.

Οι απαιτήσεις των GCP είναι ότι τα σημεία πρέπει να είναι πανομοιότυπα και αναγνωρίσιμα, τόσο στην εικόνα τηλεπισκόπησης όσο και στο έδαφος και να είναι μετρήσιμα.⁴² Το GNSS μπορεί να παρέχει αυτές τις γεωγραφικές συντεταγμένες σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα. Η κλασική στατική έρευνα που βασίζεται σε φορέα ή η διαφορική προσέγγιση είναι ιδανική για έρευνα GCP. Ωστόσο, αυτόνομες τεχνικές μπορούν επίσης να υιοθετηθούν για εικόνες με μεγαλύτερη ανάλυση.

1.6.7 Γεωφυσική, Γεωλογία και Αρχαιολογική Έρευνα

Με τον προσδιορισμό της σχετικής μετατόπισης μεταξύ των δεκτών GNSS, το διαφορικό GNSS μπορεί να παρέχει μετρήσεις υψηλής ακρίβειας της καταπόνησης του φλοιού. Πολλοί σταθμοί κοντά σε μια ενεργά παραμορφούμενη περιοχή (όπως ένα ηφαίστειο ή μια ζώνη ρήγματος) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανίχνευση της τάσης και της κίνησης του εδάφους. Αυτά τα δεδομένα μπορούν στη συνέχεια να χρησιμοποιηθούν για να συμπεράνουμε τι προκαλεί την παραμόρφωση. Τα δεδομένα GNSS έχουν χρησιμοποιηθεί για την αντιμετώπιση ενός ευρέος φάσματος άλυτων ερωτημάτων στη γεωφυσική, συμπεριλαμβανομένων πολλών ερωτήσεων που σχετίζονται με την πρόβλεψη σεισμών.

Η χαρτογράφηση του εδάφους και των τοποθεσιών υδρολογικής δειγματοληψίας είναι μια σημαντική εργασία για τον γεωλόγο και χρησιμοποιείται για διάφορους σκοπούς, όπως η παρεμβολή υδρολογικών δεδομένων, η μόλυνση του εδάφους, η διάβρωση του εδάφους, η χαρτογράφηση της μόλυνσης του νερού. Η λήψη των συντεταγμένων αυτών των τοποθεσιών δειγματοληψίας δεν ήταν ποτέ τόσο εύκολη όσο με το GNSS.

Το GNSS έχει άμεση συνεισφορά σε ορυχεία επιφανείας και έμμεση συνεισφορά σε ορυχεία υπεδάφους. Η στατική και η λειτουργία RTK χρησιμοποιούνται στην εξόρυξη. Η τοποθέτηση σημείου, η σχετική τοποθέτηση και το διαφορικό GNSS (DGNSS) χρησιμοποιούνται για διαφορετικούς τύπους εφαρμογών. Οι πληροφορίες DGNSS χρησιμοποιούνται για την αποτελεσματική διαχείριση της εξόρυξης ενός μεταλλεύματος και της μετακίνησης των απορριμμάτων με την εγκατάσταση δεκτών GNSS σε φορητά. Τα τρυπάνια εκρηκτικών οπών χρησιμοποιούν πληροφορίες θέσης RTK GNSS για τη ρύθμιση

⁴² Bossler, John D., et al. Manual of geospatial science and technology. CRC Press, 2010.

του βάθους κάθε τρύπας που ανοίγεται. Οι εξορύκτες επιφάνειας χρησιμοποιούν αυτοματοποιημένα τρυπάνια για τη βελτίωση της ασφάλειας και της παραγωγής. Πολλαπλές αυτοματοποιημένες εργασίες μπορούν να εκτελούνται και να παρακολουθούνται από έναν μόνο άνθρωπο στην ασφάλεια του θαλάμου ελέγχου. Το GNSS μπορεί να βοηθήσει στο σκάψιμο με ομοιόμορφο ύψος σε μια ολόκληρη τοποθεσία, επιτρέποντας τη γεωλογική ανάλυση σε πραγματικό χρόνο. Σε ορισμένες περιπτώσεις, όταν η εκσκαφή είναι βαθιά, μπορεί να προκύψει πρόβλημα ορατότητας από τους δορυφόρους. Δηλαδή, δεν προβλέπονται αρκετοί δορυφόροι για την παροχή καλής θέσης, είτε επειδή δεν επιτυγχάνεται ο ελάχιστος αριθμός δορυφόρων είτε επειδή οι τιμές ακριβείας (DOP) είναι πολύ υψηλές.⁴³

Όταν οι αρχαιολόγοι ανασκάπτουν μια τοποθεσία, γενικά φτιάχνουν έναν τρισδιάστατο χάρτη της τοποθεσίας, αναφέροντας λεπτομερώς πού βρίσκεται κάθε κατασκευή. Το GNSS παίζει ζωτικό ρόλο για την ακριβή καταγραφή αυτών των τοποθεσιών.⁴⁴

1.7 Πλοήγηση

Η πιο γνωστή εφαρμογή GNSS είναι η πλοήγηση. Χρησιμοποιώντας συντεταγμένες GNSS, το ανάλογο λογισμικό μπορεί να κάνει τα πάντα, από τον εντοπισμό της θέσης έως την χάραξη μιας πορείας από την τρέχουσα τοποθεσία μας σε έναν προορισμό ή την δυναμική επιλογή της βέλτιστης διαδρομής σε πραγματικό χρόνο.

Αυτά τα συστήματα πρέπει να λειτουργούν με δεδομένα χάρτη, τα οποία δεν αποτελούν μέρος του συστήματος GNSS αλλά είναι εφαρμογές για την διασύνδεση του χρήστη με το σύστημα. Για παράδειγμα, σε τι θα ωφελούσε ένα οδηγό αν ήξερε απλά τις συντεταγμένες της θέσης του, που του δίνει το σύστημα GNSS, ενώ η εφαρμογή χαρτών που έχει εγκατεστημένη στο όχημα του, του παρέχει πληροφορίες που του είναι χρήσιμες. Με την ανάπτυξη της τεχνολογίας των υπολογιστών κατασκευάστηκαν μικροσκοπικές, φορητές συσκευές, που παρέχουν αξιόπιστες πληροφορίες που αποτυπώνονται σε χάρτες για να επιτρέπουν στον χρήστη, την ασφαλή πλοήγηση του. Μία από τις πρώτες τέτοιες εφαρμογές, ήταν το σύστημα GPS αυτοκινήτου με φωνητικές εντολές, για να μην αποσπώνται οι οδηγοί

⁴³ Samama, Nel. Global positioning: Technologies and performance. John Wiley & Sons, 2008.

⁴⁴ Garrison, Ervan G. Techniques in archaeological geology. Berlin: Springer, 2003.

από το δρόμο. Τα φορητά συστήματα GNSS, τα οποία χρησιμοποιούνται συνήθως από τους ορειβάτες, παρέχουν περιορισμένες πληροφορίες όπως η θέση και ενδέχεται να αποθηκεύουν σημεία από την διαδρομή τους. Τα συστήματα αεροπορίας, που παρέχουν ιδιαίτερες δυνατότητες για αεροσκάφη και τα θαλάσσια συστήματα, τα οποία παρέχουν πληροφορίες για τα λιμάνια τους διαδρόμους ασφαλούς ναυσιπλοΐας τα βάθη της θάλασσας, τις περιόδους παλίρροιας κλπ, είναι παραδείγματα πιο εξελιγμένων εκδόσεων ηλεκτρονικών χαρτών. Οι δύο τελευταίες εφαρμογές χρησιμοποιούν εξελιγμένες μορφές ηλεκτρονικών χαρτών και λογισμικό χαρτογράφησης, με ενσωμάτωση πολύ περισσότερων πληροφοριών από την οδική πλοήγηση GNSS και συχνά συμπληρώνονται με πρόσθετες εφαρμογές πλοήγησης.

1.7.1 Πλοήγηση αυτοκινήτου

Οι δέκτες GNSS, διατίθενται ως εργοστασιακές ή επιπλέον επιλογές στον εξοπλισμό για αυτοκίνητα. Κινούμενοι χάρτες και πληροφορίες σχετικά με τη θέση, την ταχύτητα, την κατεύθυνση και την κίνηση των αυτοκινητόδρομων, καθώς και αποθηκευμένες τοποθεσίες ενδιαφέροντος, περιέχονται συχνά στις εφαρμογές αυτές. Τα συστήματα GNSS προσφέρονται ακόμη και με αυτοκίνητα χαμηλού κόστους. Τα συστήματα GNSS αυτοκινήτου, διαθέτουν οδικούς χάρτες, φωνητικές εντολές στροφή προς στροφή, λειτουργία με οθόνη αφής, βιντεοπαιχνίδια, ραδιόφωνο, συσκευές αναπαραγωγής DVD ή CD, συνδεσιμότητα κινητού τηλεφώνου και συνδέσμους υπολογιστή για ενημέρωση λογισμικού.

Το GNSS είναι ελκυστικό για την πλοήγηση αυτοκινήτων καθώς η κάλυψη είναι παγκόσμιας εμβέλειας, διαθέσιμη 24 ώρες την ημέρα και ανεξάρτητη των καιρικών φαινομένων. Αυτό επιτρέπει τη μαζική παραγωγή και εγκατάσταση του ίδιου συστήματος σε οποιοδήποτε αυτοκίνητο στον κόσμο. Επιπλέον, το ενδιαφέρον των καταναλωτών για το GNSS μείωσε τις τιμές των δεκτών δραστικά, με αποτέλεσμα το κόστος αγοράς του να είναι προσιτό ακόμη και στα χαμηλά εισοδήματα.⁴⁵

Υπάρχουν μερικά προβλήματα που σχετίζονται με την πλοήγηση αυτοκινήτου με την χρήση GNSS. Τα σφάλματα που σχετίζονται με το σήμα GNSS δεν επιτρέπουν επαρκή ακρίβεια. Επιπλέον, στο κέντρο της πόλης, τα κτίρια συχνά

⁴⁵ Krakiwsky, Edward J. "GPS and vehicle location and navigation." GPS world. Vol. 2, no. 5 (1991).

αποκλείουν σχεδόν όλους τους δορυφόρους από την ορατότητα. Αυτό έχει σημαντικό αντίκτυπο στην ικανότητα για την παροχή αξιόπιστων πληροφοριών τοποθεσίας, καθώς τα περισσότερα οχήματα κινούνται εντός των αστικών ιστών. Για την επίλυση των προβλημάτων αυτών χρησιμοποιείται το διαφορικό GNSS (DGNSS), το οποίο ξεπερνά τις ανακρίβειες που είναι εγγενείς με το GNSS. Η χρήση του DGNSS δεν αποτελεί μία εναλλακτική μορφή πλοήγησης GNSS, αλλά ένα σύστημα που προσφέρει βελτιωμένη ακρίβεια πληροφοριών στο χρήστη, μέσα από ένα επίγειο δίκτυο το οποίο συνεπικουρεί στο δορυφορικό. Ως εκ τούτου, μπορεί να βοηθήσει στην αντιμετώπιση προβλημάτων που σχετίζονται με την ακρίβεια πλοήγησης αυτοκινήτων με GNSS. Πολλά συστήματα σήμερα χρησιμοποιούν το GNSS ώστε να αναθεωρούν τους υπολογισμούς τους σε τακτική βάση. Σήμερα η χρησιμοποίηση του διαφορικού GNSS αποτελεί πρώτη επιλογή ως μέθοδο πλοήγησης, για τις περιοχές όπου το σήμα GNSS είναι ασθενές ή ανύπαρκτο.⁴⁶, από αρκετά από τα νεότερα συστήματα που χρησιμοποιούν το GNSS ως την κύρια τεχνολογία πλοήγησης.

1.7.2 Πλοήγηση αεροσκαφών/UAV

Ο αυτόματος πιλότος των αεροσκαφών συνδέεται συχνά με τα συστήματα πλοήγησης, τα οποία συνήθως εμφανίζουν έναν κινούμενο χάρτη. Για μεγαλύτερη ακρίβεια, οι δέκτες GNSS που είναι τοποθετημένοι στο πιλοτήριο, χρησιμοποιούν επίγεια συστήματα.⁴⁷ Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούνται είτε για πλοήγηση κατά την πτήση, είτε επίσης ως βοηθήματα κατά τελική προσέγγιση στο αεροδρόμιο και την ασφαλή προσγείωση του αεροσκάφους. Ένας καταγραφέας πτήσης GNSS, καταγράφει επίσης δεδομένα για την επαλήθευση της αναχώρησης, της διαδρομής και της άφιξης.

Όλα τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (UAV γνωστά ως drones), καθοδηγούνται αυτόματα από μια εφαρμογή που βασίζεται σε GNSS. Η αυτόνομη πλοήγηση και η προσγείωση ενός UAV είναι αρκετά απαιτητική, καθώς το σύστημα πλοήγησης πρέπει να αντιμετωπίσει την κίνηση του UAV που προκαλείται από τον άνεμο. Το σύστημα αδρανειακής πλοήγησης GNSS+ (INS) χρησιμοποιείται σε UAV.

⁴⁶ Το ίδιο

⁴⁷ Chatfield, Averil Burton. Fundamentals of high accuracy inertial navigation. Vol. 174. Aiaa, 1997.

Στο όχημα υπάρχει εγκατεστημένη κεραία GNSS, η οποία συλλέγει δεδομένα θέσης και χρόνου. Αυτές οι πληροφορίες μετατρέπονται σε μηχανικές κινήσεις για την διόρθωση της κατεύθυνσης και της ταχύτητας του οχήματος, όπως ο αυτόματος πιλότος ή τα συστήματα πλοήγησης. Εκτός από την πλοήγηση, τα μη επανδρωμένα οχήματα μπορούν να χρησιμοποιήσουν GNSS για γεωαναφορά/ γεωσημείωση, αποφυγή συγκρούσεων, παροχή δυνατότητας παρακολούθησης, επιστροφή στη βάση, ακολουθώντας μια σειρά προ-καθορισμένων σημείων διαδρομής ή παράδοση αγαθών σε προκαθορισμένη τοποθεσία. Ωστόσο, η γεωγραφική σήμανση εικόνων UAV αντιμετωπίζει μια πρόσθετη πρόκληση. Συνήθως, ο αυτόματος πιλότος ενεργοποιεί την κάμερα και καταγράφει τις συντεταγμένες που έχει εκείνη τη στιγμή. Όταν το UAV πετά, για παράδειγμα, με 15 m/s, ο αυτόματος πιλότος θα έχει ενδείξεις θέσης μόνο σε διαστήματα 3 m (επειδή κανονικά το GNSS λειτουργεί στα 5 Hz). Αυτό είναι ανεπαρκές για την πλήρη αεροφωτογράφιση περιοχών. Επιπρόσθετα, ο χρόνος υστέρησης μεταξύ του πατήματος της σκανδάλης και της λήψης της φωτογραφίας μεγαλώνει το σφάλμα. Αυτό σημαίνει πρακτικά, ότι η ταχύτητα του UAV πρέπει να μειωθεί για να μειωθεί αντίστοιχα και το σφάλμα. Επομένως, ο δέκτης GNSS πρέπει να είναι συνδεδεμένος στο κλείστρο της κάμερας και να χρησιμοποιείται δέκτης RTK.

1.7.3 Ναυσιπλοΐα

Το GNSS χρησιμοποιείται στη θαλάσσια ναυσιπλοΐα, για τη σωστή εκτίμηση της θέσης των πλοίων στην ανοιχτή θάλασσα, καθώς και κατά τους ελιγμούς στα λιμάνια. Οι ναυτικού τύπου μονάδες GNSS διαθέτουν χρήσιμες εφαρμογές για την διευκόλυνση των ναυτικών, όπως η εφαρμογή "Ανθρώπου στη θάλασσα", η οποία δίνει την δυνατότητα της άμεσης τοποθέτησης του στίγματος του ανθρώπου που έπεσε στην θάλασσα και έτσι διευκολύνεται αρκετά η ανεύρεση του. Επιπλέον, οι σύγχρονες εφαρμογές διαθέτουν την δυνατότητα υπολογισμού της μελλοντικής θέσης του ναυαγού, λαμβάνοντας υπ' όψη τον επικρατούντα άνεμο. Μια αρκετά χρήσιμη δυνατότητα ειδικότερα σε δυσμενείς καιρικές συνθήκες. Ο αυτόματος πιλότος του πλοίου μπορεί επίσης να συνδεθεί με το GNSS. Το GNSS μπορεί επίσης να βελτιώσει την ασφάλεια της ναυτιλιακής κίνησης. Ενσωματώνοντας ακριβείς πληροφορίες θέσης GNSS. Το GNSS φέρνει επίσης επανάσταση στις

επιχειρήσεις έρευνας και διάσωσης. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για τη βελτίωση της ακρίβειας των αλιευτικών δραστηριοτήτων. Το GNSS, σε συνδυασμό με το SBAS (Satellite-based Augmentation System), μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση και την προστασία περιβαλλοντικά ευάλωτων περιοχών, όπως τα θαλάσσια πάρκα, ή για την παρακολούθηση και την πρόληψη της παράνομης αλιείας.

1.7.4 Έλεγχος μηχανών και μηχανημάτων

Υπάρχουν πολλοί τύποι μη επανδρωμένων οχημάτων, συμπεριλαμβανομένων των επίγειων, των εναέριων, των υποβρύχιων και των οχημάτων επιφανείας. Τα τηλεχειριζόμενα βαρέα μηχανήματα και τα αυτόνομα οχήματα εδάφους, μπορούν να χρησιμοποιούν GNSS στις κατασκευές, τα ορυχεία και τη γεωργία ακριβείας. Εκσκαφείς, μπουλντόζες, γκρέιντερ και διάφορα γεωργικά εργαλεία, έχουν ενσωματώσει την τεχνολογία GNSS για την ενίσχυση της παραγωγικότητας αλλά και της ακρίβειας σε πραγματικό χρόνο. Οι λεπίδες και οι κάδοι του κατασκευαστικού εξοπλισμού ελέγχονται αυτόματα από συστήματα καθοδήγησης μηχανών με τεχνολογία GNSS.⁴⁸ Το GNSS μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε γεωργικό εξοπλισμό, για τη ρυθμισμένη κυκλοφορία, την καλλιέργεια σειρών και τον ψεκασμό. Το GNSS μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία ενός χάρτη απόδοσης της συγκομιδής.

Κεφάλαιο 2: Εφαρμογές Δορυφορικών συστημάτων στην θαλάσσια ασφάλεια (Automatic Identification System, AIS)

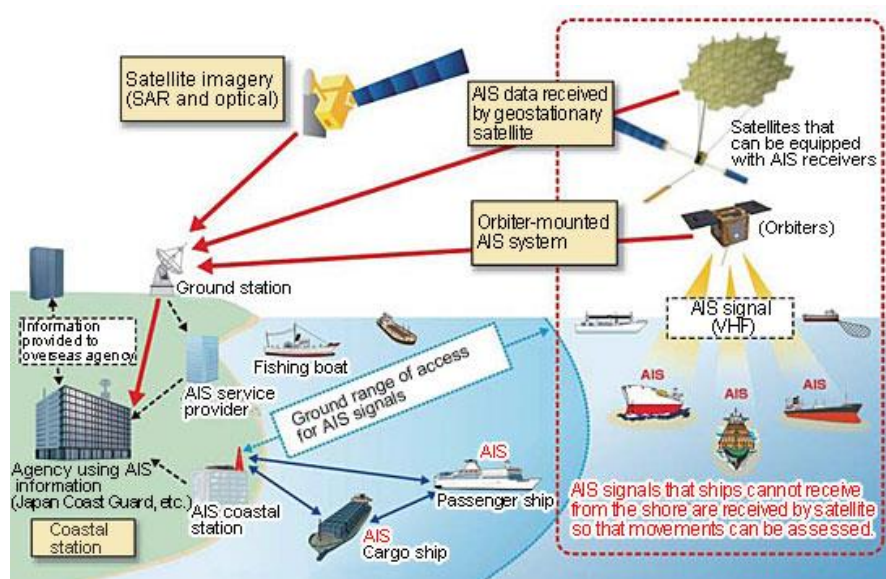
Η παρακολούθηση του εμπορικού στόλου που διακινείται σε παγκόσμιο επίπεδο, είναι σημαντική για τη ναυσιπλοΐα των εμπορικών πλοίων, για την πρόληψη ατυχημάτων που οδηγούν σε απώλειες ανθρώπινων ζωών στην θάλασσα, ή σε περιβαλλοντολογική μόλυνση από πετρέλαιο, αλλά είναι επίσης σημαντική για τη διαχείριση της κυκλοφορίας σε περιοχές με ιδιαίτερα βεβαρημένη ναυτιλιακή κίνηση. Οι κινήσεις των πλοίων μπορούν να παρακολουθούνται να καταγράφονται

⁴⁸ Gransberg, Douglas D., Calin M. Popescu, and Richard Ryan. Construction equipment management for engineers, estimators, and owners. CRC Press, 2006.

και να αξιολογούνται για την αποφυγή παράνομων ή ύποπτων ενεργειών. Το αυτοματοποιημένο σύστημα αναγνώρισης (AIS), μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο σε αυτές τις προσπάθειες. Το σύστημα αναφοράς (AIS) που βασίζεται σε πομποδέκτη VHF, με οδηγία του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (ΙΜΟ) από το 2002, έχει εξελιχθεί από μια απλή συσκευή αναγνώρισης των χαρακτηριστικών των πλοίων, σε ένα εργαλείο που χρησιμοποιείται σε μια μεγάλη γκάμα εφαρμογών. Η δημοτικότητα του AIS ως εργαλείο για την πρόληψη της θαλάσσιας ρύπανσης, την παρακολούθηση της αλιείας, την πρόβλεψη και μοντελοποίηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, την παρακολούθηση εκκένωσης νερού έρματος των πλοίων και πολλά άλλα, έχει αυξηθεί κατακόρυφα. Ιδιαίτερα από την εμφάνιση της σύλληψης της μετάδοσης του σήματος μέσω δορυφόρου το 2011, στις θαλάσσιες περιοχές μεγάλης κυκλοφορίας όπου οι κακές πρακτικές πλοήγησης είναι ιδιαίτερα επικίνδυνες για την ασφάλεια της πλοήγησης, τα δεδομένα AIS είναι ιδιαίτερα βοηθητικά.

Μέχρι τα τέλη Δεκεμβρίου 2004, ένας αναμεταδότης και ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας γνωστά ως σύστημα αυτόματης αναγνώρισης (AIS) κατέστη απαραίτητο για ένα σημαντικό τμήμα του εμπορικού θαλάσσιου στόλου, προκειμένου να μειωθούν οι κίνδυνοι ατυχημάτων και προσάραξης. Επειδή δεν υπόκεινται όλα τα πλοία στο σύστημα AIS «Κλάσης Α», ο ΙΜΟ δημιούργησε το AIS «Κλάσης Β», το οποίο κάθε πλοίο μπορεί να χρησιμοποιήσει σε εθελοντική βάση. Στην πιο συνηθισμένη του μορφή, το Automatic Identification System (AIS) είναι μια συσκευή, που αποτελείται από δύο πομποδέκτες, εκ των οποίων ο ένας πάντα συλλέγει δεδομένα του πλοίου επί του οποίου είναι τοποθετημένος και τα μεταδίδει, είτε προς παράκτιες αρχές, είτε προς άλλα πλοία, είτε προς δορυφόρο, χρησιμοποιώντας ένα πρωτόκολλο. Ως συμπλήρωμα του ραντάρ, η τεχνολογία χρησιμοποιείται κυρίως για την ανίχνευση και την αναγνώριση πλοίων, ενώ ιδιαίτερο ρόλο παίζει και στις επιχειρήσεις έρευνας – διάσωσης. Προκειμένου να επεκταθεί η γεωγραφική περιοχή κάλυψης του συστήματος, άρχισε να αναπτύσσεται η προσέγγιση της χρήσης των δορυφόρων έναντι των επίγειων σταθμών μετάδοσης. Έτσι η εμβέλεια του συστήματος που περιοριζόνταν στα 20 ναυτικά μίλια όταν τα σήματα μεταδίδονταν από πλοίο σε πλοίο ή 40 ναυτικά μίλια από την ακτή στο

πλοίο, αυξήθηκε κατακόρυφα με αποτέλεσμα σήμερα η κάλυψη του AIS που βασίζεται σε δορυφόρους (S-AIS), να είναι παγκόσμια.⁴⁹



Σχήμα 4: Το δίκτυο επίγειων και δορυφορικών σταθμών του συστήματος AIS
(Πηγή: <https://e-navigation.canada.ca/images/aix/>)

2.1 Εφαρμογές ασφαλείας

Οι αρχές και οι υπηρεσίες σε τοπικό, εθνικό και διεθνές επίπεδο, οφείλουν να γνωρίζουν τις θέσεις και τα στοιχεία των πλοίων (όνομα, τύπος πλοίου, χωρητικότητα, αριθμός πληρώματος κ.α.), τι είδους φορτίο μεταφέρουν, τον προορισμό τους, όπως επίσης και τις προσεγγίσεις λιμένων στην περιοχή ή περιοχές που τελούν υπό τη δικαιοδοσία τους. Όλα τα παραπάνω, απαιτούνται για τον καλύτερο έλεγχο και την ενίσχυση της ασφάλειας των περιοχών αυτών, αλλά και την άμεση παροχή βοήθειας αν απαιτηθεί. Η επιχειρησιακή εικόνα «Maritime Situational Picture» της θαλάσσιας περιοχής δικαιοδοσίας, και η παρακολούθηση ναυτικών συμβάντων, συνδέεται με εφαρμογές συλλογής, ενοποίησης και ανάλυσης δεδομένων και πληροφοριών που χρησιμοποιούν τη δορυφορική τεχνολογία. Για παράδειγμα, τα δεδομένα AIS που λαμβάνονται με δορυφορική λήψη, καλύπτουν την υδρόγειο. Έτσι, προσφέρουν συνεχή θαλάσσια εικόνα με αναφορές σχεδόν σε πραγματικό χρόνο, σε αντίθεση με παλαιότερα συστήματα αναμεταδότη με περιορισμένη εμβέλεια κάλυψης.

⁴⁹ Hellereen, Øystein, et al. "Technology reference and proof-of-concept for a space-based automatic identification system for maritime security." 4S Symposium Small Satellites Systems and Services. Vol. 660. 2008.

Επιπλέον, εφαρμογές που παρέχουν πληροφορίες μέσω δορυφορικών συστημάτων και συμβάλλουν στην ασφάλεια στη θάλασσα, είναι και οι εξής:

(1) **Iridium GMDSS** (Global Maritime Distress and Safety System), το οποίο περιλαμβάνει δυνατότητες:

α. Αποστολής και λήψης μηνυμάτων σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, όπως πειρατεία (Anti-Piracy & Citadel Solutions), ή έκτακτων τεχνικών προβλημάτων κατά τον πλου σε σημείο που να κινδυνεύει η ακεραιότητα του πλοίου, (Ship Security Alert System - SSAS).

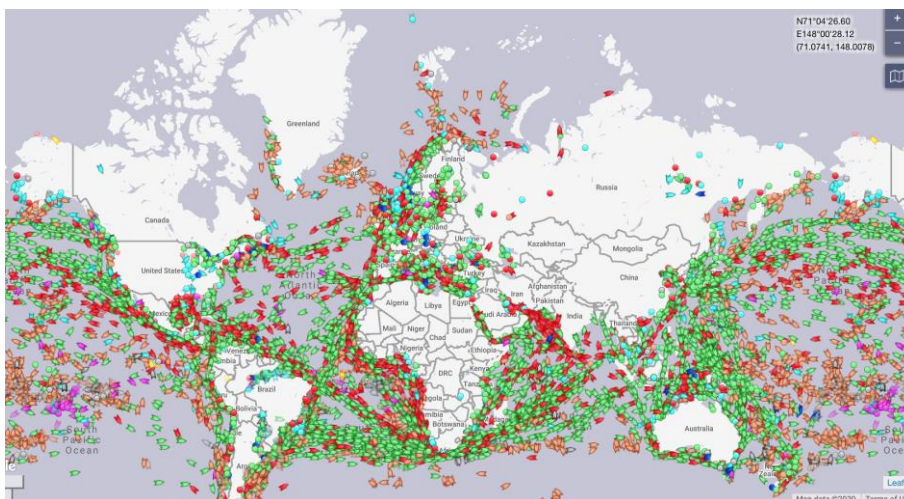
β. Παγκόσμιας αναγνώρισης σκάφους, (Long-Range Identification Tracking - LRIT).

γ. Αποστολής και λήψης μηνυμάτων για έρευνα και διάσωση με πληροφορίες θέσεως και κατάστασης του πλοίου - Search & Rescue (SAR).

δ. Ραδιοφάρου έκτακτης ανάγκης – καταδεικτική θέσεως (Emergency position-indicating radio beacon - EPIRB).

ε. Λήψης μετεωρολογικών δεδομένων, πληροφοριών σχετικά με την ναυσιπλοΐα και την ασφάλεια, (Maritime Safety Information - MSI).

(2) **Σύστημα παρακολούθησης σκάφους** (Vessel Monitoring System – VMS), παρέχει τη δυνατότητα του ελέγχου και παρακολούθησης δραστηριοτήτων που σχετίζονται με την ασφάλεια, το περιβάλλον και κυρίως την αλιεία. Το σύστημα περιλαμβάνει λειτουργίες EPIRB, SAR και ενσωματώνει επίσης τεχνολογία GMDSS.



Σχήμα 5 : Η γραφική παράσταση της εφαρμογής Marine Traffic που χρησιμοποιεί τα δεδομένα του AIS για την αναπαράσταση των πλοίων.

(Πηγή: <https://www.marinetraffic.com/el/ais/home/centerx:-12.0/centery:25.0/zoom:4>)

2.1.1 Το παράδειγμα της καταπολέμησης της πειρατείας

Οι πειρατικές επιθέσεις στα ανοικτά των ακτών της Σομαλίας και αργότερα στον Κόλπο του Άντεν, κλιμακώθηκαν σημαντικά μεταξύ 2005 και 2006, αλλά ακόμα και σήμερα, αποτελούν μία παράμετρο η οποία λαμβάνεται σοβαρά υπόψη στη χάραξη πορείας της εμπορευματικής ναυτιλίας. Για την πρόληψη της πειρατείας και τον περιορισμό της διαταραχής του παγκόσμιου θαλάσσιου εμπορίου, δημιουργήθηκαν πολλές ομάδες προστασίας και πολυεθνικές περιπολίες (CTF 151, NATO και Atalanta). Ωστόσο, για τον ίδιο σκοπό, δημιουργήθηκε ο «Διεθνώς Προτεινόμενος Διάδρομος Μετακίνησης» (International Recommended Transfer Corridor, IRTC) στον Κόλπο του Άντεν τον Φεβρουάριο του 2009. Οι πειρατές σε απάντηση, τροποποίησαν τη στρατηγική τους και άρχισαν να εξαπολύουν επιθέσεις από τα ανοικτά των ακτών της Σομαλίας και τον Ινδικό Ωκεανό (χρησιμοποιούσαν μεγαλύτερα σκάφη ώστε να απομακρύνονται περισσότερο από τις ακτές).

Το AIS, κατά κύριο λόγο χρησιμοποιείται για να αναλύσει ποιοτικά χαρακτηριστικά, όπως η πυκνότητα κυκλοφορίας, τα μοτίβα ανάλογα με τον τύπο του πλοίου, την ταχύτητα, κ.λπ. Η ανάλυση των δεδομένων AIS όμως, αποδείχτηκε χρήσιμη για επιχειρήσεις καταπολέμησης της πειρατείας, καθώς τα σκάφη που χρησιμοποιούν οι πειρατές, ως επί το πλείστον δεν διαθέτουν AIS με αποτέλεσμα να γίνονται αμέσως αντιληπτά ως ύποπτα, όταν εμφανιστούν στο ραντάρ. Με αυτό τον τρόπο, καταφέρνει να παρέχει βοήθεια στην αξιολόγηση των απειλών για τα εμπορικά πλοία και υποβοήθηση καθοδήγησης των περιπολιών, των συνοδών πλοίων, στις περιοχές υψηλού ρίσκου. Ωστόσο, ο καπετάνιος του πλοίου έχει τη νόμιμη εξουσία να απενεργοποιεί νόμιμα το σύστημα AIS σε συγκεκριμένες περιπτώσεις, όπου η ασφάλεια του προσωπικού και του υλικού τίθεται σε κίνδυνο, κάτι που μπορεί να οδηγήσει στην συλλογή ελλιπών - εσφαλμένων δεδομένων.⁵⁰ Ωστόσο, όταν το AIS λειτουργεί, παράγει τεράστιο όγκο δεδομένων και προσφέρει απεριόριστη πρόσβαση.⁵¹

Το σύστημα GMDSS από την άλλη πλευρά, αναπτύχθηκε από το 1979 υπό την αιγίδα του IMO, ως μέρος της συμφωνίας για τη διαφύλαξη της ζωής στη

⁵⁰ Vespe, Michele, Harm Greidanus, and Marlene Alvarez Alvarez. "The declining impact of piracy on maritime transport in the Indian Ocean: Statistical analysis of 5-year vessel tracking data." *Marine Policy* 59 (2015): 9-15.

⁵¹ Greidanus, Harm, et al. "Completeness and accuracy of a wide-area maritime situational picture based on automatic ship reporting systems." *The Journal of Navigation* 69.1 (2016): 156-168.

θάλασσα (SOLAS). Από το 1992 και μετά, το σύστημα σταδιακά ενσωματώθηκε στο μεγαλύτερο μέρος του παγκόσμιου στόλου χρησιμοποιώντας δορυφορικές υπηρεσίες και σήμερα, αναγνωρίζεται ως ένα σύστημα καίριας σημασίας για την ασφάλεια στη θάλασσα. Στο τομέα της πειρατείας, το GMDSS, έχει τη δυνατότητα να αποστέλλει μήνυμα γνωστοποίησης επικείμενης κατάστασης έκτακτης ανάγκης, σε αρχές και υπηρεσίες, κάτω από οποιεσδήποτε καιρικές συνθήκες, σε μεγάλες αποστάσεις, καθιστώντας το σύστημα, ως ένα εργαλείο πρόληψης τρομοκρατικών και πειρατικών ενεργειών.

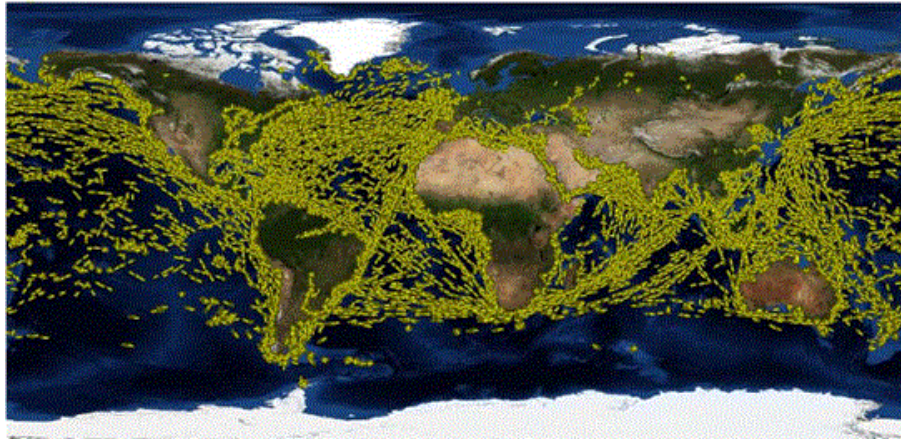
2.1.2 Δορυφόροι

Παρότι η χρήση μικρών δορυφόρων (συμπεριλαμβανομένων των micro, nano και pico) δεν είναι νέα πρωτότυπη ιδέα, η ανάπτυξη τους, έχει επιταχυνθεί τις τελευταίες δεκαετίες για ένα ευρύ φάσμα λειτουργιών,⁵² δεδομένου ότι είναι λιγότερο δαπανηροί στην παραγωγή, πιο προσιτοί σε αναπτυσσόμενες χώρες και μικρότερα κράτη που επιθυμούν να αυξήσουν την ικανότητά τους για θαλάσσια επιτήρηση ή οποιαδήποτε άλλο σκοπό μπορούν να παρέχουν αυτοί οι δορυφόροι.

Η δυνατότητα λειτουργίας ενός δέκτη AIS ή των συστημάτων GMDSS, με την χρήση μικροδορυφόρου σε χαμηλή τροχιά γύρω από την Γη (Low Earth Orbit, LEO), παράγει πολύ καλύτερες πληροφορίες που μπορεί να ενισχύσουν σημαντικά τη θαλάσσια ασφάλεια, αυξάνοντας τον υπό παρακολούθηση και εντοπισμό αριθμό πλοίων. Σε αυτό το πλαίσιο, ο μικροδορυφόρος AISat-1 και ο δέκτης NORAIS (Εικόνα 3), τέθηκαν σε λειτουργία το 2010⁵³ για χρήσεις όπως η καταπολέμηση της πειρατείας, η παρακολούθηση της παγκόσμιας κυκλοφορίας και η προστασία της αλιείας.

⁵² Guerra, André GC, et al. "On small satellites for oceanography: A survey." Acta Astronautica 127 (2016): 404-423.

⁵³ Eriksen, Torkild, et al. "Tracking ship traffic with space-based AIS: experience gained in first months of operations." 2010 International WaterSide Security Conference. IEEE, 2010.



Εικόνα 3: Εικόνα παγκόσμιου στόλου, λήφθηκε με τον NORAIS (29 Ιουν 2010)

2.1.3 Συγχώνευση δεδομένων

Οι ανιχνεύσεις πλοίων που λαμβάνονται από δορυφορικές εικόνες, συγκρίνονται με ίχνη από το AIS, το Vessel Monitoring Systems (VMS), το Long Range Identification Tracking (LRIT) και το ραντάρ και πραγματοποιείται διαγραφή των εσφαλμένων και συγχώνευση των πλησιέστερων δεδομένων σε μια θέση από το σύστημα AIS. Η ικανότητα εκτίμησης των κινήσεων του πλοίου προκειμένου να διορθωθούν καθυστερήσεις, διακυμάνσεις από την προβλεπόμενη διαδρομή ή δεδομένα που λείπουν, απαιτείται για μια ολοκληρωμένη και ακριβή εικόνα της επιφάνειας. Από το 2004, ερευνητικοί οργανισμοί στην Γερμανία, την Ιταλία, τη Νορβηγία, τη Γαλλία και τον Καναδά καθώς και επιχειρήσεις που συνδέονται με αμυντικούς και διαστημικούς οργανισμούς, εργάζονται για αυτό το θέμα και τις δυνατότητες του. Το γεγονός ότι αυτές οι πρωτοβουλίες χρησιμοποιούνται για την ενίσχυση της ασφάλειας, έχει προσελκύσει την προσοχή και τη δέσμευση υπερεθνικών οργανισμών όπως το NATO, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή και ο ΟΗΕ.⁵⁴

⁵⁴ Fournier, Mélanie, et al. "Past, present, and future of the satellite-based automatic identification system: Areas of applications (2004–2016)." *WMU journal of maritime affairs* 17.3 (2018): 311-345.

Κεφάλαιο 3: Δορυφορικές Επικοινωνίες

Η λέξη «δορυφόρος», όπως τη χρησιμοποιούμε σήμερα, χρησιμοποιήθηκε αρχικά από τον Galileo. Αυτόν τον όρο ο Γαλιλαίος, τον χρησιμοποίησε για να χαρακτηρίσει τα «φεγγάρια» του Δία. Την περίοδο εκείνη, ο λατινικός όρος χρησιμοποιήθηκε για να δηλώσει έναν υπηρέτη που ήταν υποχρεωμένος να υπακούει στις οδηγίες του κυρίου του. Ο Γαλιλαίος πίστευε ότι τα μακρινά φεγγάρια που περιφέρονταν γύρω από τον Δία ήταν υποχρεωμένα να εκτελούν τις τροχιές τους γύρω από τον τεράστιο μακρινό πλανήτη.

Σήμερα, αρκετοί δορυφόροι αποστέλλονται σε τροχιά γύρω από την Γη για να κάνουν διάφορες μορφές επιστημονικής έρευνας, καθώς και για την υποβοήθηση των επικοινωνιών, της τηλεπισκόπησης, πλοήγησης, ή μετεωρολογίας. Ο Γαλιλαίος, εκείνη την εποχή, δεν γνώριζε για τη βαρύτητα και έτσι δεν μπορούσε να καταλάβει ποια δύναμη αναγκάζει τα φεγγάρια του Δία να κάνουν τους κύκλους τους, όπως και γιατί η Σελήνη πρέπει να κάνει κύκλους γύρω από τη Γη. Στην πραγματικότητα, χρειάστηκε αρκετός χρόνος για να γίνει γενικά κατανοητή η λειτουργία του Ηλιακού Συστήματος με την επιστημονική έννοια, καθώς οι ανακαλύψεις του Γαλιλαίου ήταν σε αντίθεση με τις απόψεις και τις προκαταλήψεις της Καθολικής Εκκλησίας.⁵⁵

Η ανακάλυψη της βαρύτητας, τον δέκατο έβδομο αιώνα, ήταν το επόμενο κρίσιμο ιστορικό βήμα για την κατανόηση του τρόπου με τον οποίο ένας τεχνητός δορυφόρος θα μπορούσε να τοποθετηθεί σε τροχιά της Γης και στη συνέχεια να προσφέρει υπηρεσίες στους ανθρώπους στο έδαφος. Το εύρημα του Ισαάκ Νεύτωνα, είχε εκτεταμένες επιπτώσεις σε πεδία που κυμαίνονται από την αστρονομία μέχρι την βιολογία.

Για να καταλάβει πώς λειτουργεί η βαρύτητα στο Ηλιακό Σύστημα, χρησιμοποίησε τις δικές του παρατηρήσεις, κάνοντας παράλληλα έρευνα, στα έργα του Γαλιλαίου και του Κοπέρνικου. Εξήγησε στα γραπτά του, πώς ένα πολύ ισχυρό πυροβόλο θα μπορούσε να εκτοξεύσει οτιδήποτε με αρκετή ταχύτητα, ώστε να επιτρέψει στο «εκτοξευμένο αντικείμενο», να φτάσει σε όλο και μεγαλύτερες αποστάσεις. Ο επιστήμονας κατέληξε στο συμπέρασμα ότι εάν το αντικείμενο μπορούσε να εκτοξευθεί με αρκετή ταχύτητα, θα μπορούσε να ξεφύγει από τη

⁵⁵ Bhasin, Kul B., et al. "Global Satellite Communications Technology and Systems." (1998).

βαρύτητα της Γης, να φτάσει σε τροχιακή ταχύτητα και να αρχίσει να κάνει κύκλους γύρω από τον πλανήτη.⁵⁶

Παραδόξως, το επόμενο βήμα που οδήγησε στην πραγματική εκτόξευση δορυφορικών εφαρμογών, δεν προήλθε από τις επιστημονικές μελέτες, αλλά από τη μυθιστοριογραφία επιστημονικής φαντασίας του 19ου αιώνα. Η ιδέα του διαστημικού ταξιδιού και της ανάπτυξης επανδρωμένων πυραύλων που θα μπορούσαν να εκτοξεύουν ανθρώπους και αντικείμενα, μέσα ή και πέρα από την επίδραση της βαρύτητας της Γης, εξετάστηκε από συγγραφείς όπως ο Achille Eyraud (Ταξίδι στην Αφροδίτη, 1863), ο Ιούλιος Βέρν (Από τη Γη στη Σελήνη, 1865), ο Έντουαρντ Έβερρετ Χέιλ (The Brick Moon, 1869) και ΗG Wells (The First Men in the Moon, 1897).⁵⁷

3.1 Η σύγχρονη ιστορία των δορυφορικών επικοινωνιών

Στην ομιλία του στη Γενική Συνέλευση του ΟΗΕ τον Σεπτέμβριο του 1961, ο Πρόεδρος Κένεντι προέτρεψε την ανάπτυξη ενός ενιαίου παγκόσμιου δορυφορικού δικτύου, που θα ήταν ωφέλιμο για όλα τα έθνη, θα προωθούσε την παγκόσμια ειρήνη και θα επέτρεπε την πρόσβαση χωρίς διακρίσεις σε όλους.⁵⁸ Ο παγκόσμιος πληθυσμός θα πρέπει να έχει πρόσβαση σε δορυφορικές επικοινωνίες το συντομότερο δυνατό σε καθολική βάση, σύμφωνα με το ψήφισμα 1721 των Ηνωμένων Εθνών.⁵⁹

Οι πολιτικές διαδικασίες οδήγησαν στη δημιουργία της Communications Satellite Corporation (Comsat) το 1962. Τον Αύγουστο του 1964 δημιουργήθηκε η Intelsat η Διεθνής Κοινοπραξία Τηλεπικοινωνιακών Δορυφόρων. Η πλειονότητα των δυτικοευρωπαϊκών κρατών, οι Ηνωμένες Πολιτείες, η Αυστραλία, ο Καναδάς και η Ιαπωνία ήταν τα αρχικά μέλη αυτού του νέου φορέα της Intelsat όταν ξεκίνησε για πρώτη φορά, αλλά έκτοτε επεκτάθηκε και περιλαμβάνει πάνω από 100 κράτη μέλη από όλο τον κόσμο.⁶⁰ Σε απάντηση στη δημιουργία της Intelsat το 1964, η Σοβιετική Ένωση ίδρυσε τον Διεθνή Οργανισμό Διαστημικών Επικοινωνιών Intersputnik

⁵⁶ Pelton, Joseph N. "Introduction to satellite communications." Satellite Communications. Springer, New York, NY, 2012. 1-3.

⁵⁷ Elbert, Bruce R. The satellite communication applications handbook. Artech house, 2004.

⁵⁸ Logsdon, J. M. (1998). Exploring the unknown: selected documents in the history of the US civilian space program. Accessing space (Vol. 4). NASA.

⁵⁹ Ψήφισμα της Γενικής Συνέλευσης των Ηνωμένων Εθνών για τις δορυφορικές επικοινωνίες 1961.

⁶⁰ Alper, Joel, and Joseph N. Pelton. "The intelsat global satellite system." (1986): 59-59.

(επίσης γνωστός ως Intersputnik), ο οποίος περιελάμβανε τη Σοβιετική Ένωση και οκτώ άλλα σοσιαλιστικά έθνη: Κούβα, Βουλγαρία, Ανατολική Γερμανία, Τσεχοσλοβακία, Μογγολία, Ουγγαρία, Πολωνία και Ρουμανία.⁶¹ Η δορυφορική τεχνολογία εξελισσόταν εκείνη την εποχή του ψυχρού πολέμου ακόμη πιο γρήγορα από τις εθνικές και διεθνείς πολιτικές διαδικασίες.

Ο Courier 1B, ο πρώτος λειτουργικός δορυφόρος επικοινωνιών, εκτοξεύτηκε τον Οκτώβριο του 1960. Αυτός ο δοκιμαστικός δορυφόρος, μπορούσε να αναμεταδώσει τα μηνύματα τηλετύπου που δεχόταν από επίγειες εκπομπές πίσω στη Γη, υποστηρίζοντας τη μετάδοση 16 καναλιών τηλετύπου. Οι ηλιακές κυψέλες τροφοδοτούσαν τους ενεργούς αναμεταδότες του. Από αυτήν την ιστορική επίδειξη, έχει σημειωθεί σχετικά γρήγορη πρόοδος προς πιο ισχυρούς δορυφόρους επικοινωνιών. Αν και τα σημερινά διαστημικά συστήματα, έχουν κυριολεκτικά ένα δισεκατομμύριο φορές μεγαλύτερη χωρητικότητα, η βασική τεχνική αρχή παραμένει η ίδια από πολλές απόψεις.

Η τεχνογνωσία της δημιουργίας λειτουργικών δορυφόρων επικοινωνιών είχε εκτοξευθεί στα ύψη μέχρι το τέλος του 1962. Ο δορυφόρος Telstar 1, ο οποίος εκτοξεύτηκε το 1962, απέδειξε για πρώτη φορά, ότι μια τηλεοπτική μετάδοση σε πραγματικό χρόνο μπορούσε να σταλεί σε θαλάσσιες περιοχές. Οι δορυφορικές επικοινωνίες, αποδείχθηκε ότι μπορούσαν να αναμεταδώσουν σήματα φωνής, τηλετύπου, ακόμη και τηλεόρασης. Η ικανότητα ενός επικοινωνιακού δορυφόρου να εισέρχεται με ασφάλεια σε τροχιά όπου θα βρίσκεται συνεχώς στο ίδιο σημείο πάνω από τη γη (γεωσύγχρονη τροχιά), ήταν η θεμελιώδης τεχνολογική πρόκληση. Η Hughes Aircraft Company σχεδίασε και παρήγαγε τους δορυφόρους Syncom το 1963. Η NASA εκτόξευσε τρία διαστημόπλοια με αυτό το σχέδιο. Η αρχική εκτόξευση ήταν ανεπιτυχής, αλλά στις 26 Ιουλίου 1963, ο Syncom 2, μπήκε σε τροχιά και κατόπιν ο Syncom 3 στις 19 Αυγούστου 1964. Αποδείχθηκε από τον Syncom 2 και τον Syncom 3, ότι οι αξιόπιστες επικοινωνίες σε γεωσύγχρονη τροχιά ήταν θεωρητικά και λειτουργικά εφικτές. Ο Syncom 3 χρησιμοποιήθηκε για τη μεταφορά τηλεοπτικών εκπομπών από την Ιαπωνία στις ΗΠΑ για τους Ολυμπιακούς Αγώνες του Τόκιο το 1964. Έτσι, η έννοια της ζωντανής δορυφορικής μετάδοσης σημαντικών αθλητικών και διεθνών γεγονότων χρονολογείται από τις αρχές της δεκαετίας του 1960.

⁶¹ [Home page \(intersputnik.int\)](http://intersputnik.int)

Αφού οι δορυφόροι Syncom 2 και 3 τοποθετήθηκαν επιτυχώς σε γεωσύγχρονη τροχιά, η Hughes Aircraft Company κατασκεύασε και εκτόξευσε μια ελαφρώς μεγαλύτερη έκδοση του Syncom τον Απρίλιο του 1965, τον Intelsat 1 (Early Bird). Αυτή η έκδοση είχε μεγαλύτερη ηλιακή συστοιχία και κεραία και παρείχε αυξημένη ικανότητα λήψης και συνεπώς και κατάδειξης πίσω στη Γη. Αυτός ο δορυφόρος, θα μπορούσε να παρέχει το ισοδύναμο 240 πλήρων αμφίδρομων καναλιών φωνής ή ενός ασπρόμαυρου τηλεοπτικού καναλιού χαμηλής ποιότητας.⁶²

Αν και ο λεγόμενος Early Bird ήταν ένας πειραματικός δορυφόρος, η σειρά Intelsat II ήταν σε θέση να προσφέρει στα πλοία στη θάλασσα δυνατότητες πολλαπλών δυνατοτήτων ήχου, βίντεο και δεδομένων για την υποστήριξη του διαστημικού προγράμματος Gemini. Ακολούθησε η σειρά Intelsat III, με περισσότερο από πενήντα φορές μεγαλύτερη χωρητικότητα από τους αρχικούς δορυφόρους Intelsat. Με κεραίες πολύ μεγαλύτερου εύρους λήψης και αποστολής, καθένας από αυτούς τους δορυφόρους μπορούσε να παρέχει 1.200 αμφίδρομες τηλεφωνικές γραμμές καθώς και δίχρωμα τηλεοπτικά κανάλια. Το πρώτο παγκόσμιο δίκτυο ολοκληρώθηκε από τη σειρά Intelsat III, επιτρέποντας την παράδοση τηλεφωνικών και τηλεοπτικών καναλιών, όχι μόνο στον Ειρηνικό και τον Ατλαντικό Ωκεανό, αλλά και στον Ινδικό Ωκεανό. Περισσότεροι από 500 εκατομμύρια άνθρωποι σε όλο τον κόσμο μπόρεσαν να δουν τη σεληνιακή προσγείωση του Apollo και τον πρώτο διαστημικό περίπατο χάρη στο Intelsat III.

Οι δορυφόροι επικοινωνιών άρχισαν να μεταβαίνουν από τις αναλογικές στις ψηφιακές υπηρεσίες επικοινωνιών στις αρχές της δεκαετίας του 1970, καθώς το μέγεθος, η ισχύς, η διάρκεια ζωής και η απόδοσή τους αυξάνονταν. Τα τερματικά έγιναν πιο διαδεδομένα και οι σταθμοί Intelsat Earth μειώθηκαν σε μέγεθος. Εκτός από την παροχή εκατοντάδων τηλεοπτικών καναλιών, δικτύων δεδομένων και δεκάδων χιλιάδων διεθνών κυκλωμάτων επικοινωνίας, η Intelsat, έχει επίσης σταδιακά μισθώσει πλεονάζουσα χωρητικότητα για την υποστήριξη διανομής φωνής, δεδομένων και τηλεόρασης σε πολλά διαφορετικά έθνη σε όλο τον κόσμο. Η απόδοση και η δορυφορική κάλυψη του συστήματος Intelsat βελτιώθηκαν τα επόμενα χρόνια, ιδιαίτερα όταν τα συστήματα πολυπλεξίας άλλαξαν από αναλογικά σε ψηφιακά. Παρά τον ανταγωνισμό από τη σημαντικά αυξημένη χωρητικότητα

⁶² Pelton, J. N., Madry, S., & Camacho-Lara, S. (2013). Satellite applications handbook: The complete guide to satellite communications, remote sensing, navigation, and meteorology. Handbook of Satellite Application, 3-19.

καναλιών, των υποβρύχιων καλωδίων οπτικών ινών που είναι εγκατεστημένα στους ωκεανούς, ο αριθμός των μελών και των συμμετεχόντων κρατών αυξήθηκε, όπως και η κίνηση τόσο των εκτοξευμένων δορυφόρων όσο και των μεταδιδόμενων σημάτων.

Λόγω της σημαντικής ανάπτυξης του τομέα των δορυφορικών επικοινωνιών, που θεωρείται ως βιώσιμη και ελκυστική επιχείρηση, έχουν γίνει προσπάθειες αναδιάρθρωσης του παγκόσμιου συστήματος παρεχόμενων υπηρεσιών. Υπήρξε μια αυξανόμενη ώθηση προς ανταγωνιστικές τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες, ιδίως μεταξύ των χωρών του ΟΟΣΑ (Οργανισμός Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης). Οι βασικές αρχές για τον τρόπο λειτουργίας των ανταγωνιστικών συστημάτων, συμφωνήθηκαν στις αρχές της δεκαετίας του 1980. Στα τέλη της δεκαετίας του 1980, αυτή η αλλαγή στη δομή της βιομηχανίας τηλεπικοινωνιών προς την απελευθέρωση και τον ανταγωνισμό, έκανε την Intelsat και άλλα δημόσια μονοπώλια να γίνουν ανταγωνιστικές ιδιωτικές εταιρείες τηλεπικοινωνιών. Ως αποτέλεσμα, ιδρύθηκαν ανταγωνιστικά δίκτυα για ολοκαίνουργια εμπορικά δορυφορικά συστήματα. Η επιλογή της ίδρυσης του INMARSAT το 1979, ενός διαφορετικού διεθνούς οργανισμού για θαλάσσιες και αεροπορικές δορυφορικές επικοινωνίες, συνέβαλε επίσης στην ανάπτυξη δορυφορικών συστημάτων ανεξάρτητων από την Intelsat.⁶³

Πολλά έθνη, υιοθέτησαν την έννοια των ανταγωνιστικών τηλεπικοινωνιακών δικτύων στη δεκαετία του 1980. Η ιδιωτικοποίηση της Intelsat το 2001 και της Inmarsat το 1998, οι οποίες μετατράπηκαν σε εξ' ολοκλήρου ιδιωτικές εταιρίες και δεν ήταν πλέον υπό τον έλεγχο των εθνικών κυβερνήσεων, πραγματοποιήθηκε σε αυτό το πλαίσιο μετατροπής των δορυφορικών επικοινωνιών σε ανταγωνιστικά δίκτυα, από μονοπωλιακά κρατικά συστήματα τηλεπικοινωνιών που ήταν προηγουμένως. Μικροί διεθνείς οργανισμοί, ιδρύθηκαν για να αντιμετωπίσουν ζητήματα που σχετίζονται με υπηρεσίες, όπως το δικαίωμα πρόσβασης σε διεθνείς δορυφορικές επικοινωνίες, προς χάριν της δημόσιας ασφάλειας, για άλλες ειδικές δημόσιες ανάγκες, καθώς και για να βοηθήσουν τις αναπτυσσόμενες χώρες να επιτύχουν δίκαιη πρόσβαση σε τηλεπικοινωνιακές δορυφορικές υπηρεσίες, οι οποίες, παρέχονται από αυτούς τους οργανισμούς ως δημόσιοι διεθνείς οργανισμοί.

⁶³ Pelton, J. N., Madry, S., & Camacho-Lara, S. (2013). Satellite applications handbook: The complete guide to satellite communications, remote sensing, navigation, and meteorology. Handbook of Satellite Application, 3-19.

International Mobile Satellite Organisation (IMSO) ήταν το όνομα που δόθηκε στον οργανισμό Inmarsat μετά την ιδιωτικοποίηση του. Επιπλέον, αυτή η διακυβερνητική ομάδα δημιουργήθηκε, για να διασφαλίσει ότι η Inmarsat συνεχίζει να τηρεί τις ευθύνες της για την παροχή δημόσιας υπηρεσίας, ειδικά εκείνων που σχετίζονται με το Παγκόσμιο Σύστημα Ναυτιλιακής Ασφάλειας (GMDSS). Στις συνεδριάσεις του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO), ο IMSO αναγνωρίζεται επίσης ως παρατηρητής. Εκτός από την ευθύνη του για τη δημόσια ασφάλεια στη θάλασσα, ο IMSO εργάζεται για να εγγυηθεί ότι οι υπηρεσίες της Inmarsat Ltd. είναι διαθέσιμες σε όλους όσους ζουν ή εργάζονται σε περιοχές χωρίς πρόσβαση από παραδοσιακές επίγειες μεθόδους επικοινωνίας. Τα ιδανικά του θεμιτού ανταγωνισμού υποστηρίζονται επίσης χάρη στην IMSO.⁶⁴

3.2 Τα συστήματα για ναυτιλιακές δορυφορικές υπηρεσίες και ο INMARSAT

Η χρήση της δορυφορικής τεχνολογίας για θαλάσσιες επικοινωνίες, κέρδισε γρήγορα την προσοχή ως αποτέλεσμα της επιτυχίας των παγκόσμιων δορυφορικών επικοινωνιών, ιδίως της ικανότητας παροχής ευρυζωνικών υπηρεσιών στη θάλασσα.

Προκειμένου να βελτιώσει τις επικοινωνίες σε πλοία στον Ατλαντικό Ωκεανό, η Εθνική Υπηρεσία Αεροναυτικής και Διαστήματος (NASA), προώθησε, υποστήριξε και χρηματοδότησε, το διαστημικό πρόγραμμα Gemini, από το οποίο, προέκυψε η σειρά δορυφόρων Intelsat II. Ωστόσο, λόγω του περιορισμένου μεγέθους των κεραιών των πλοίων, αυτή αποδείχθηκε μία αναποτελεσματική λύση. Τα προηγούμενα χρόνια, οι δορυφόροι Intelsat κατασκευάστηκαν με σκοπό να συνδέουν μεγαλύτερους επίγειους σταθμούς σταθερής τοποθεσίας. Η σύλληψη δημιουργίας ενός νέου συστήματος δορυφορικών επικοινωνιών, το οποίο θα εξυπηρετούσε αποκλειστικά θαλάσσιες επικοινωνίες, προέκυψε από την ανάγκη του Πολεμικού Ναυτικού των ΗΠΑ να αλληλεπιδράσει πιο αποτελεσματικά, με τον ταχέως αυξανόμενο στόλο του, που βρισκόταν διασκορπισμένος ανά την υφήλιο. Η Hughes Aircraft Company (τώρα Boeing Corporation) ανέπτυξε αυτό το σύστημα, που πήρε την ονομασία Marisat, το 1976 με την προοπτική ότι το ήμισυ της χωρητικότητάς του θα χρησιμοποιηθεί για την υποστήριξη των επικοινωνιακών απαιτήσεων του στόλου του Ναυτικού των ΗΠΑ και το άλλο μισό για την υποστήριξη

⁶⁴ [Convention on the International Maritime Satellite Organization \(imo.org\)](http://www.imo.org)

εμπορικών θαλάσσιων επικοινωνιών. Διαχειριστής του συστήματος ήταν η COMSAT General, η οποία εκμεταλλευόταν τις επιπλέον συχνότητες αποστολής προς όφελος άλλων επιχειρησιακών χρηστών.

Πειραματικοί σταθεροί ευρωπαϊκοί δορυφόροι επικοινωνιών (ECS) για Ναυτιλιακές Υπηρεσίες αναπτύχθηκαν και εκτοξεύτηκαν από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Διαστήματος (ESA) από το 1981, με αρχή τον MARECS-A (Maritime European Communication Satellite - MARECS). Πραγματοποιήθηκαν αρκετές επιτυχείς δοκιμές των δορυφόρων αυτών μετά την εκτόξευση τους, που οδήγησε στην ίδρυση του INMARSAT, ενός νέου οργανισμού, που θα καλύπτει τις υπηρεσίες θαλάσσιων δορυφορικών επικοινωνιών. Ο INMARSAT δημιουργήθηκε με γνώμονα τα συμφέροντα της ναυτιλίας και την ασφάλεια στη θάλασσα αντί για την παγκόσμια χρήση των τηλεπικοινωνιών.

Αυτή η νέα πολυεθνική εταιρεία, ωστόσο, έμοιαζε αρκετά με την Intelsat ως προς τη δομή. Η Σοβιετική Ένωση συμπεριλήφθηκε ως μέλος του INMARSAT, το οποίο διέφερε από το Intelsat στο ότι επικεντρωνόταν σε σημαντικά θαλάσσια κράτη. Οι δορυφόροι Marisat, MARECS και Intelsat V-MCS μαζί, κάλυπταν την πλειονότητα των θαλασσών του κόσμου, με εξαίρεση ένα στενό τμήμα του Νότιου Ειρηνικού στα ανοικτά των ακτών της Χιλής και η Inmarsat, παρείχε τις υπηρεσίες της μέσω αυτών των δορυφόρων. Για να υποστηρίξει τις μελλοντικές ναυτιλιακές ανάγκες, η Inmarsat άρχισε να σχεδιάζει τους δικούς της αποκλειστικούς δορυφόρους και στις αρχές του 1990, έθεσε σε τροχιά το πρώτο σετ δορυφόρων για δικιά της χρήση με την ονομασία Inmarsat-2. Άρχισε επίσης να εργάζεται στην προσπάθεια για τον διαμοιρασμό του διαστήματος που θα μπορούσε να καλύψει τις θαλάσσιες ανάγκες παρέχοντας επίσης επικοινωνίες σε αεροσκάφη με κατάλληλα σχεδιασμένες κεραιές που θα μπορούσαν εύκολα να τοποθετηθούν στα αεροπλάνα.

Η ιδιωτικοποίηση των θαλάσσιων και αεροπορικών δορυφορικών υπηρεσιών της Inmarsat με την επωνυμία Inmarsat Inc. πραγματοποιήθηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1990. Ωστόσο, η εταιρεία αποφάσισε επίσης να ιδρύσει μια εντελώς νέα επιχειρηματική οντότητα, αρχικά γνωστή ως International Circular Orbit (ICO) Ltd. Προκειμένου να εκπληρώσει τις απαιτήσεις ασφάλειας των θαλάσσιων και αεροπορικών δορυφορικών επικοινωνιών, ίδρυσε το International Mobile Satellite Organization (IMSO).

Η Inmarsat Ltd. συνέχισε να επεκτείνει με επιτυχία τις θαλάσσιες και αεροπορικές δορυφορικές της υπηρεσίες, ενώ η Inmarsat Inc. κατάφερε να

επεκταθεί στον τομέα των χερσαίων δορυφορικών υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας τα τελευταία χρόνια, ιδιαίτερα με την ανάπτυξη των πιο πρόσφατων, αρκετά ισχυρών και μαζικών δορυφόρων Inmarsat 4. Για την εξυπηρέτηση όλων αυτών των υπηρεσιών, η Inmarsat έχει προχωρήσει στην κατασκευή μεγαλύτερων και ισχυρότερων δορυφόρων σε γεωσύγχρονη τροχιά. Τόσο το σύστημα Inmarsat όσο και το γεωσύγχρονο σύστημα Thuraya, που εξυπηρετούν τη Μέση Ανατολή καθώς και περιοχές της Ευρώπης, της Βόρειας Αφρικής και της Ασίας, παρέχουν σε σημαντικό αριθμό χρηστών χερσαίες κινητές ευρυζωνικές υπηρεσίες.

Οι δορυφόροι κινητών επικοινωνιών με βοηθητικό στοιχείο εδάφους (Ancillary Terrestrial Component - ATC) είναι η πιο πρόσφατη πρόοδος στις επίγειες κινητές δορυφορικές υπηρεσίες. Αυτή η κινητή δορυφορική υπηρεσία ονομάζεται συμπληρωματικό στοιχείο εδάφους (Complementary Ground Component - CGC). Όπως είναι φανερό, σκοπό έχει την ενίσχυση της δορυφορικής κάλυψης σε περιοχές όπου το έδαφος ή ο αστικός ιστός, παρεμποδίζει το δορυφορικό δίκτυο.

Η ενοποίηση της επίγειας κυψελοειδούς υπηρεσίας (δηλαδή, επίγειες κινητές υπηρεσίες που χρησιμοποιούν επίγειους πύργους για την εξυπηρέτηση μεγαλύτερων μητροπολιτικών περιοχών) σε συνδυασμό με δορυφόρους πολλαπλής δέσμης εξαιρετικά υψηλής ισχύος, είναι η πιο πρόσφατη ιδέα. Όπως όμως με κάθε νέο σύστημα, υπάρχουν πολλές κρίσιμες προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν.

Το κύριο πρόβλημα που έχει προκύψει είναι οι υπερβολικές παρεμβολές μεταξύ των δορυφορικών σημάτων GPS και των επίγειων δικτύων του. Στην πραγματικότητα, τα μεγαλύτερα συστήματα δορυφορικής κεραίας στον κόσμο, αναπτύσσονται επί του παρόντος από αυτούς τους νέους τύπους δορυφορικών επικοινωνιών. Αυτές οι κεραίες παρέχουν εύλογα υψηλή κάλυψη ισχύος για όλες τις περιοχές παγκοσμίως. Σήμερα αναπτύσσονται δύο τέτοια συστήματα και τα ονόματά τους είναι Light Squared και TerreStar, αντίστοιχα. Αυτοί οι δορυφόροι μπορούν να παράγουν πολύ ισχυρές δέσμες για να εξυπηρετήσουν τις ανάγκες εξυπηρέτησης των χρηστών κινητών, οπουδήποτε εκτός της εμβέλειας των επίγειων πύργων κυψελών, χάρη στις απίστευτα τεράστιες κεραίες τους, οι οποίες έχουν συνολική επιφάνεια περίπου συγκρίσιμη με ένα γήπεδο ποδοσφαίρου.⁶⁵

⁶⁵ Pelton, J. N., Madry, S., & Camacho-Lara, S. (2013). Satellite applications handbook: The complete guide to satellite communications, remote sensing, navigation, and meteorology. Handbook of Satellite Application, 3-19.

3.3 Οι Δορυφορικές Υπηρεσίες

Όταν οι επίγειες και άλλες σταθερές υποδομές δεν είναι διαθέσιμες, τα οφέλη των δορυφορικών επικοινωνιών υπερβαίνουν την απλή παροχή μιας εναλλακτικής λύσης στις επίγειες επικοινωνίες. Λειτουργούν ως ο κρίσιμος σύνδεσμος μεταξύ των παρόχων υπηρεσιών και των τελικών χρηστών, επιτρέποντας την επέκταση των δικτύων επικοινωνίας και τελικά, την εξασφάλιση της αδιάκοπης παροχής υπηρεσιών, ιδιαίτερα σε γεωγραφικές περιοχές όπου αυτό καθίσταται πιο επιτακτικό.

Οι δυνατότητες που παρέχουν τα δίκτυα επικοινωνίας επόμενης γενιάς, χαρακτηρίζονται από πολλαπλές εκπομπές των δορυφορικών δικτύων αφενός, και από την ευρεία χρήση επίγειων τεχνολογιών για τη μετάδοση τεράστιων ποσοτήτων δεδομένων, αφετέρου. Τούτο σημαίνει ότι σήμερα, οι δορυφορικές επικοινωνίες έχουν αυξήσει τόσο τη σταθερότητα και χωρητικότητα του δικτύου τους, όσο και τη διαθεσιμότητά τους σε παγκόσμιο επίπεδο, ακόμα και σε δυσπρόσιτα σημεία. Γενικότερα σήμερα, οι δορυφορικές επικοινωνίες παρέχουν τις ακόλουθες υπηρεσίες:

(1) **Υπηρεσίες IPTV.** Η ποσότητα και η ποιότητα των σημάτων μπορεί να αυξηθεί από συσκευές δικτύου λαμβάνοντας ροές δεδομένων από διαφορετικές θύρες δικτύου.

(2) **Πρόσβαση σε εφαρμογές Διαδικτύου για θεσμική και εταιρική χρήση από απόσταση.** Αυτά είναι τεχνολογικά και εμπορικά προγράμματα που λειτουργούν από απομακρυσμένες τοποθεσίες, συμπεριλαμβανομένων των εξέδρων άντλησης πετρελαίου και άλλων απομονωμένων τοποθεσιών, όπου η δορυφορική τεχνολογία είναι ο μόνος τρόπος σύνδεσης στο Διαδίκτυο.

(3) **Δορυφορική ευρυζωνική σύνδεση για προσωπική χρήση από απομακρυσμένες τοποθεσίες.** Εδώ, η ιδιωτική χρήση της πρόσβασης στο Διαδίκτυο έχει προτεραιότητα, πράγμα που συνεπάγεται πιο χαλαρή ασφάλεια.

(4) **Επικοινωνίες έκτακτης ανάγκης και δημόσιας ασφάλειας.** Αναφέρεται σε καταστάσεις στις οποίες λειτουργούν χωρίς διακοπές οι συνήθεις εφαρμογές ασφάλειας ή διαχείρισης κρίσεων, όπως κατά την διάρκεια φυσικών καταστροφών.

(5) **Παροχή υπηρεσιών 3G/4G/5G.** Η παροχή υπηρεσιών 3G/4G/5G σε μέρη όπου δεν είναι δυνατή η επίγεια μετάδοση λόγω γεωμορφολογικών ή άλλων περιορισμών, καθίσταται δυνατή με το συνδυασμό δορυφόρου και κυψελοειδών επίγειων υποδομών (ATC – CGC).

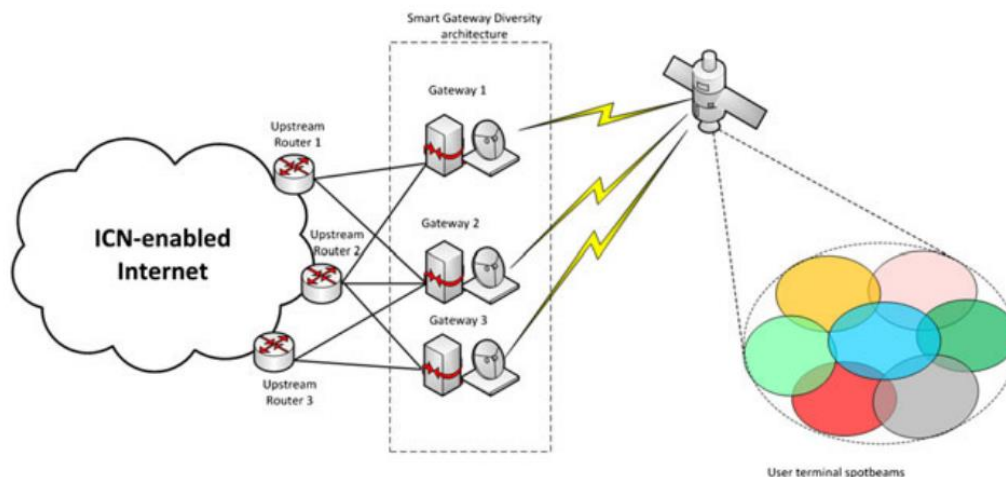
(6) **Υπηρεσίες M2M.** Στην ουσία, συνίστανται στη διανομή μεγάλου όγκου δεδομένων που παράγονται από πηγές, και αισθητήρες και διανέμονται στα κέντρα επεξεργασίας. Πρόκειται για δεδομένα τηλεμετρίας πλοίων, δεδομένα διαχείρισης εμπορευματικών σταθμών ακόμα και δεδομένα διαχείρισης ολόκληρης εφοδιαστικής αλυσίδας. Ως εκ τούτου, είναι φανερό ότι οι υπηρεσίες M2M, αποτελούν τη διασύνδεση μεταξύ της βάσης στην ξηρά και των «επιχειρήσεων», στη θάλασσα και οπουδήποτε στον κόσμο.

Δεδομένης της απαίτησης να παρέχεται ένας τεράστιος όγκος πληροφοριών σε μεγάλο αριθμό ατόμων, η χρήση επικοινωνίας πολλαπλής εκπομπής που παρέχεται από τις δορυφορικές επικοινωνίες, είναι αναμφισβήτητα ελκυστική. Επιπλέον, πρέπει να τονιστεί ότι η δορυφορική επικοινωνία είναι πραγματικά απαραίτητη, καθώς οι εφαρμογές αισθητήρων και τα συστήματα ελέγχου, λειτουργούν συχνά σε τοποθεσίες χωρίς επίγεια υποδομή, σε μέρη όμως που υπάρχει αναμφισβήτητα διαθεσιμότητα δορυφορικού δικτύου.

3.4 Δορυφορική εκπομπή για επαγγελματικές και θεσμικές υπηρεσίες

Ένα κρίσιμο στοιχείο πολλών κυβερνητικών οργανισμών που χρειάζονται διαφορετικές υπηρεσίες διαδικτύου, είναι η αδιάκοπη λειτουργία συνδεσιμότητας σε απομακρυσμένες τοποθεσίες χωρίς υποδομή. Αυτό, αποκτά μεγαλύτερη σημασία στην περίπτωση ορισμένων κρίσιμων εγκαταστάσεων, που απαιτούν σταθερή και αξιόπιστη σύνδεση με τις κεντρικές ή κύριες δομές, τόσο για την εξασφάλιση απρόσκοπτης πρόσβασης σε βάσεις δεδομένων, όσο και της παροχής υπηρεσιών επικοινωνίας. Αυτή η κατάσταση είναι ακόμη πιο σημαντική σε θεσμικές και στρατιωτικές εφαρμογές, όπου η επικοινωνία πρέπει να διατηρηθεί με οποιοδήποτε κόστος. Για να καταστεί το σύνολο των πληροφοριών προσβάσιμο σε πολλές ομάδες χρηστών που βρίσκονται σε διάφορες εγκαταστάσεις, πρέπει επίσης να θεσπιστούν αρκετά αποτελεσματικά μέτρα ασφαλείας και πρωτόκολλα, που αφορούν στη μετάδοση δεδομένων.

Από αυτή την άποψη, η ανάπτυξη μιας δορυφορικής σύνδεσης είναι αναμφισβήτητα μια εφικτή και ελκυστική απάντηση στις προαναφερθείσες ανάγκες. Τα ανακλύπτοντα ζητήματα ασφαλείας όμως, γίνονται όλο και πιο σημαντικά. Οι εφαρμογές που ενδιαφέρουν τις επιχειρήσεις, συχνά δεν απαιτούν μια αυστηρή πολιτική ασφαλείας ώστε να διασφαλιστεί η πρόσβαση και η ανάκτηση δεδομένων, τα ευαίσθητα όμως δεδομένα που μεταδίδονται μέσω κρατικών θεσμικών υπηρεσιών ή στρατιωτικών απαιτήσεων, από την άλλη πλευρά, απαιτούν μια πιο περίπλοκη τεχνική ασφαλείας. Εάν λάβουμε υπόψη ότι οι σημερινές λύσεις είναι συχνά εγκατεστημένες σε μεγάλους κόμβους διανομής, συνειδητοποιούμε πόσο δύσκολη θα είναι η κατασκευή και η λειτουργία σε καταστάσεις όπου η συνδεσιμότητα είναι διαθέσιμη μόνο μέσω δορυφόρων.



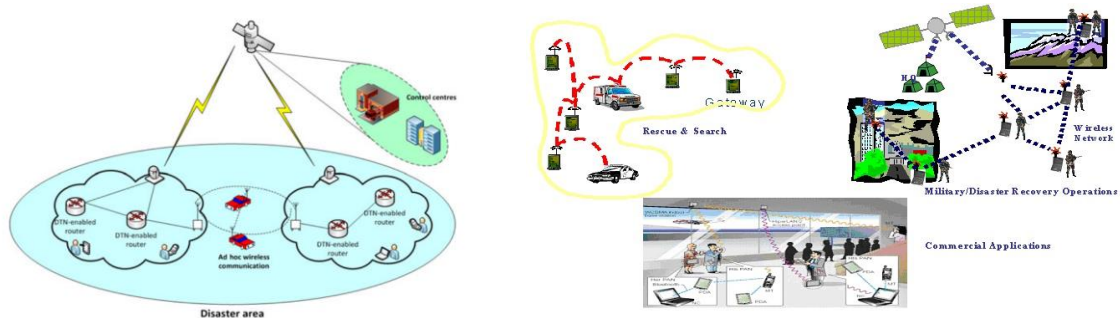
Σχήμα 6: Αρχιτεκτονική Δικτύωσης με επίκεντρο την Πληροφορία για Τηλεοπτικές Υπηρεσίες Πρωτοκόλλου Διαδικτύου (Πηγή: Cola, et. al., 2015)

3.5 Δορυφορικές επικοινωνίες έκτακτης ανάγκης

Οι φυσικές καταστροφές, αρκετές φορές, έχουν ως αποτέλεσμα την απώλεια ή μερική καταστροφή της επίγειας υποδομής εξυπηρέτησης επικοινωνιών. Ως αποτέλεσμα αυτού, έρχεται η διακοπή παροχής υπηρεσιών επικοινωνίας σε τόπο και χρόνο, όπου οι υπηρεσίες αυτές αποτελούν κρίσιμο παράγοντα αντιμετώπισης καταστάσεων έκτακτης ανάγκης. Προκειμένου να διευκολυνθεί η επικοινωνία μεταξύ των μονάδων διαχείρισης κρίσεων και των πρώτων ανταποκριτών, απαιτούνται λύσεις αρχικής επικοινωνίας και δικτύωσης, που μπορούν να επωφεληθούν από τη σποραδική συνδεσιμότητα σε χρόνο και τόπο. Ως εκ τούτου, η δομή ενός τέτοιου

δικτύου πρέπει να βασίζεται σε δορυφορική τεχνολογία και να ενισχυθεί με πρόσθετα χαρακτηριστικά για να ικανοποιεί τις προαναφερθείσες απαιτήσεις. Συνεπώς, η δορυφορική τεχνολογία σε συνδυασμό με δικτυώσεις που να έχουν αυξημένη ανοχή σε διαταραχές⁶⁶, έρχεται να καλύψει τέτοιες περιπτώσεις, ώστε να επιτρέπεται η ανταλλαγή ευαίσθητων δεδομένων, μεταξύ των διαφόρων χρηστών που αναπτύσσονται στην περιοχή, παρά την έλλειψη επίγειας υποδομής. Ο καλύτερος τρόπος για να κατανεμηθεί το φορτίο στα διαθέσιμα δίκτυα, είναι η χρήση ad hoc λύσεων δρομολόγησης (Mobile Ad Hoc Networks – MANET) και συστημάτων διαχείρισης συμφόρησης.

Είναι φανερό, ότι η συνύπαρξη της ad hoc δορυφορικής ασύρματης και επίγειας υποδομής είναι αναμφισβήτητα κρίσιμη, προκειμένου να διασφαλιστεί η αποτελεσματική χρήση των διαθέσιμων πόρων του δικτύου αφενός, και η ευκαιριακή χρήση του ραδιοφάσματος αφετέρου. Για τον λόγο αυτό κατά το σχεδιασμό τέτοιων συστημάτων λαμβάνεται υπόψη η αρχιτεκτονική της δικτύωσης, αλλά και ζητήματα επικοινωνίας.



Σχήμα 7: Σχεδιασμός δικτύωσης για επικοινωνίες έκτακτης ανάγκης, με επίκεντρο τις πληροφορίες, που είναι ανεκτικός σε σφάλματα. (Πηγή: Cola, et. al., 2015)

⁶⁶ Fall K, Farrell S. Dtn: an architectural retrospective, IEEE Journal on Selected Areas in Communications 2008; 26(5): 828–836.

Κεφάλαιο 4: Τάσεις και μελλοντικές προοπτικές

Μετά τις τρομοκρατικές επιθέσεις της 11ης Σεπτεμβρίου, δημιουργήθηκε η ανάγκη για ανάπτυξη νέων δορυφορικών εφαρμογών, καθώς οι τρομοκρατικές αυτές επιθέσεις, δημιούργησαν μια καινούργια φιλοσοφία που απαιτούσε, προηγμένες μεθόδους παρακολούθησης και ανάλυσης πληροφοριών πτήσης για αεροσκάφη. Επιπλέον, κατέστη αναγκαία η εκτενέστερη χρήση δεδομένων διαστημικής πλοήγησης GPS και τηλεπισκόπησης, για τη διαφύλαξη ζωτικής σημασίας υποδομών, τόσο στο εσωτερικό όσο και στο εξωτερικό. Επιπρόσθετα η ανάγκη αυτή ενισχύθηκε, από την απαίτηση υποστήριξης των σύγχρονων στρατιωτικών αποστολών, την αντιμετώπιση φυσικών καταστροφών και των απαιτήσεων σε εκπαιδευτικές και υγειονομικές υπηρεσίες. Για παράδειγμα, στην Ιαπωνία, ο μεγάλος σεισμός του Κόμπε, οδήγησε στη δημιουργία ενός εθνικού δικτύου – παρόχου τηλεπικοινωνιακών και ευρυζωνικών υπηρεσιών που ονομάστηκε VSAT, προκειμένου να εξασφαλιστεί η παροχή επικοινωνιών, ακόμη και μετά από φυσικές καταστροφές όταν η αποτυχία του επίγειου δικτύου θα είναι δεδομένη.

Σήμερα, αναπτύσσονται συστήματα βασισμένα σε δορυφόρους, που έχουν πολλαπλές δυνατότητες, όπως παρακολούθηση εγκαταστάσεων, κρίσιμων για το δημόσιο καλό, π.χ. εγκαταστάσεις παροχής ύδατος και μονάδες ενέργειας. Υφίστανται ακόμα μία πλειάδα δυνατοτήτων, μεταξύ αυτών είναι, η οπτική απεικόνιση - παρακολούθηση, για την έγκαιρη αντιμετώπιση οποιασδήποτε απειλής, παρακολούθηση και τηλεχειρισμός μη επανδρωμένων εμπορικών αεροσκαφών (UAV) και πιο πρόσφατα μη επανδρωμένων πλοίων, η στιγμιαία και διαδραστική παροχή επικοινωνιών και η έγκαιρη ανίχνευση αστοχίας εξοπλισμού και άλλα.

Θα μπορούσαμε να απαριθμούμε πολλές ακόμα εφαρμογές σχετικά με το θέμα των δορυφορικών τεχνολογιών και σήμερα, είναι πιο φανερό από ποτέ ότι, ότι έχει να κάνει με νέες καινοτόμες ιδέες, κρύβει κάποιο συσχετισμό με δορυφορική τεχνολογία.

Μέσα σε αυτό το κλίμα, από το 1988 έως τις αρχές του 2019 αναπτύχθηκε το αυτόνομο σύστημα δορυφόρων, με την ονομασία Iridium, το οποίο επί του παρόντος διαθέτει 66 εν ενεργεία δορυφόρους χαμηλής τροχιάς, οι οποίοι καλύπτουν τη παγκόσμια έκταση. Το σύστημα δραστηριοποιείται κυρίως στον τομέα του GMDSS, ενώ είναι αποφασισμένο να αναβαθμίζεται σταδιακά έως το 2030, με

σκοπό να καλύπτει τις παγκόσμιες ανάγκες παροχής, δορυφορικών υπηρεσιών (ευρυζωνικών και τηλεπικοινωνιακών).

4.1 Τα Δορυφορικά συστήματα ως Εναλλακτική Λύση για το Μέλλον

Πολλές νέες χρήσεις της δορυφορικής τεχνολογίας είναι ήδη δυνατές και πολλές άλλες προβλέπεται να είναι στο κοντινό μέλλον, σίγουρα όμως σήμερα, τα δορυφορικά συστήματα καθιστούν την οποιαδήποτε ανθρώπινη δραστηριότητα στο έδαφος, την θάλασσα και τον αέρα ασφαλέστερη και αποτελεσματικότερη.

Οι δορυφορικές επικοινωνίες και συστήματα, στον 21^ο αιώνα θα μπορούσαν να εξελιχθούν, με την ανάπτυξη της τρέχουσας τεχνολογίας, έτσι ώστε να γίνουν απλώς πιο ποιοτικώς αναβαθμισμένες, ελκυστικότερες και ανταγωνιστικότερες. Οι σύγχρονες απαιτήσεις της αγοράς όμως, καθώς και η διάδοση και χρήση πιο προσιτών τερματικών χρήστη, επιτάσσουν ολοένα και νεώτερα συστήματα και νέες εφαρμογές, που αφορούν τόσο σε παροχή υπηρεσιών μέσω δορυφόρων όσο και στην εκμετάλλευση γενικότερα του διαστήματος.

Η πρόοδος της τεχνολογίας των οπτικών ινών και των ευρυζωνικών επίγειων ασύρματων συστημάτων είναι ραγδαία και η δορυφορική τεχνολογία, πρέπει να επιδιώξει νέες πρωτοποριακές τεχνολογίες, για να μπορέσει να είναι ανταγωνιστική.

Έχοντας αυτό κατά νου, σήμερα όπου η παγκόσμια οικονομική συγκυρία βρίσκεται σε μία κατάσταση ραγδαίων εξελίξεων σε συνδυασμό και με την κλιματική αλλαγή, θα μπορούσε να αποτελέσει μία βιώσιμη μελλοντική λύση, η περαιτέρω ανάπτυξη στρατοσφαιρικών συστημάτων ή αλλιώς συστημάτων μεγάλου υψομέτρου (HAPS – High Altitude Platform Systems).

Τα εν λόγω συστήματα, βασίζονται σε μια σειρά τεχνολογιών που περιλαμβάνουν ιπτάμενες πλατφόρμες που τροφοδοτούνται με ηλιακή ενέργεια και διαθέτουν κινητήρες αεριοθουμένων που είναι σημαντικά πιο αποδοτικοί σε μεγάλα ύψη. Αυτά τα νέα συστήματα, θα μπορούσαν να καταστήσουν δυνατή τη δημιουργία ενός διαφορετικού είδους υποδομής επικοινωνιών και πληροφορικής, επιτρέποντας την παροχή ενός ευρέος φάσματος υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας και εκπομπής χωρίς υπέρβαση των τεχνολογικών περιορισμών είτε επίγειων είτε δορυφορικών συστημάτων. Ειδικότερα, εμφανίζουν σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα δορυφορικά συστήματα, μερικά εκ των οποίων είναι ο μικρότερος

χρόνος μετάδοσης – ανταλλαγής της πληροφορίας μεταξύ τελικού χρήστη και πλατφόρμας, η μεγαλύτερη γεωγραφική κάλυψη και η χαμηλότερη εξασθένιση του σήματος λόγω εγγύτητας στη Γή. Επιπλέον, είναι σαφές ότι οικονομικά αποτελεί οικονομικά πιο συμφέρουσα λύση, καθώς θα μπορούσε να καλύψει ακόμα και παροδικές έκτακτες προκύπτουσες ανάγκες αλλά και να λειτουργήσει ως ένα σύστημα on demand, που θα ενεργοποιείται κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες. Η Παγκόσμια Επιτροπή Ραδιοφώνου της Διεθνούς Ένωσης Τηλεπικοινωνιών (ITU), άλλωστε, έχει ήδη εκχωρήσει πρόσθετες συχνότητες στη ζώνη (Extremely High Frequency – EHF) για αυτή τη νέα μορφή υπηρεσίας.

Η ανάπτυξη από το παρελθόν έως σήμερα, αυτόνομων δορυφορικών δικτύων όπως το Iridium και το Inmarsat, που το καθένα από αυτά λειτουργεί αριθμό δορυφόρων, για την υποστήριξη των υπηρεσιών του, έχει ήδη οδηγήσει σε συζήτηση και έρευνα γύρω από την ανάπτυξη των ευφυών οχημάτων και όχι μόνο. Αυτό έχει να κάνει με το γεγονός, ότι έναντι των επίγειων δικτύων ευρυζωνικών υπηρεσιών, τα δορυφορικά υπερτερούν σε παγκόσμια κάλυψη και συνεπώς σε διαθεσιμότητα.

Ως εκ τούτου φαίνεται πιθανό ότι νέες τεχνολογίες που θα έχουν να κάνουν με τη διαχείριση «έξυπνων» οχημάτων, συσκευών και γενικότερα διαχείρισης οικονομικής δραστηριότητας, θα εμφανιστούν και θα έχουν ως βάση τους τη δορυφορική τεχνολογία. Σε αυτό το πλαίσιο, πρόσφατα, ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Διαστήματος (ESA) ανέθεσε στον όμιλο Grimaldi την ανάπτυξη ενός συστήματος υποβοηθούμενου ελλιμενισμού και πρόσδεσης πλοίου, που θα βασίζεται σε δορυφορική τεχνολογία και δεν θα απαιτεί ανθρώπινη παρέμβαση. Το GSAB (Grimaldi Satellite Assisted Berthing) όπως ονομάστηκε, στην πρώτη του φάση θα δίνει υποβοηθητικές πληροφορίες στον πλοίαρχο, ενώ μετά τη δοκιμαστική φάση των 18 μηνών που έχει προγραμματιστεί να ξεκινήσει το Μάρτιο του 2024, θα αποτελέσει αυτόνομο σύστημα αφού περάσει την επικύρωση και πιστοποίηση.

Από τα παραπάνω, γίνεται φανερό ότι οι δορυφορικές αρχιτεκτονικές έχουν τη δυναμική να παράγουν σημαντικά κέρδη από τη χρήση του φάσματος, είναι όμως απαραίτητο, να παραμείνουν ανταγωνιστικές στην αγορά.⁶⁷

⁶⁷ Pelton, Joseph N., Robert J. Oslund, and Peter Marshall. Communications satellites: Global change agents. Routledge, 2004.

Για το λόγο αυτό μερικοί από τους ακόλουθους στόχους θα πρέπει να αποτελούν πρόκληση για το μέλλον:

1. Κάλυψη φάσματος ραδιοσυχνοτήτων που να είναι από 10 έως 100 φορές μεγαλύτερο, με στόχο την αύξηση χωρητικότητας του δικτύου για την παροχή παγκόσμιων δορυφορικών υπηρεσιών.

2. Δημιουργία νέων τύπων τερματικών χρηστών, ιδιαίτερα στη ναυτιλία, που να είναι εξαιρετικά χαμηλού κόστους και χαμηλής κατανάλωσης, αλλά και μικρότερα από τα σημερινά.

3. Ανάπτυξη πιο οικονομικών και αποδοτικών τεχνολογιών που θα μείωναν δραστικά το κόστος των παρεχόμενων δορυφορικών υπηρεσιών, ώστε να αποτελούν προτεραιότητα στην επιλογή.

Σε αυτό το πλαίσιο, της ανάπτυξης δηλαδή πιο αποδοτικών συστημάτων, εντάσσεται και η ιδέα της περαιτέρω εξέλιξης, χαμηλής μάζας δορυφορικών συστημάτων, που δεν θα έμοιαζαν με διαστημικό σταθμό σε τροχιά που θα ζύγιζε 10 έως 100 τόνους. Αυτά τα νέα ευφυή, χαμηλής μάζας δορυφορικά συστήματα θα μπορούσαν να τονώσουν νέες εφαρμογές του δημόσιου καθώς και του ιδιωτικού τομέα και να προσφέρουν οικονομικές λύσεις στο κόστος πρόσβασης στο τροχιακό φάσμα. Η ανάπτυξη συστημάτων λιγότερο περίπλοκων και μικρότερου βάρους στο διάστημα, είναι θεωρητικά δυνατή για περαιτέρω ανάπτυξη, με τέτοια σχέδια δορυφορικών συστημάτων αιχμής. Για να είμαστε πιο ακριβείς, αυτά τα προηγμένα συστήματα μπορεί να ζυγίζουν περίπου το ίδιο με τους μεγαλύτερους δορυφόρους που λειτουργούν τώρα (δηλαδή, 5.000–7.000 kg), αλλά μπορεί επίσης να έχουν 10–20 φορές καλύτερη απόδοση από τον πιο προηγμένο δορυφόρο που χρησιμοποιείται αυτή τη στιγμή. Αυτή η θεωρία βασίζεται στην ιδέα ότι θα μπορούσαν να υπάρξουν πραγματικά καινοτόμες εναλλακτικές σχεδιαστικές λύσεις στα τρέχοντα σχέδια δορυφόρων. Στη μελέτη και τη δημιουργία αυτού του φουτουριστικού οράματος συμβάλλουν επίσης τα εθνικά ερευνητικά ινστιτούτα επικοινωνιών και τα ερευνητικά προγράμματα των εθνικών διαστημικών υπηρεσιών.⁶⁸

Για να είναι αποτελεσματικές, τέτοιες προηγμένες ιδέες σχεδίασης πρέπει να ανταγωνίζονται τα σημερινά συστήματα επικοινωνιών, ενώ να ανταγωνίζονται

⁶⁸ Pelton, Joseph N., Robert J. Oslund, and Peter Marshall. *Communications satellites: Global change agents*. Routledge, 2004.

επίσης τα συστήματα τηλεπικοινωνιών οπτικών ινών και λέιζερ καθώς και τις βελτιώσεις τους με ορίζοντα 15 με 20 χρόνια. Πρέπει επίσης να προσφέρουν δυνατότητες συστήματος και ποιότητα υπηρεσιών που να ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις των καταναλωτών μακροπρόθεσμα.

Αυτός είναι ένας δύσκολος αλλά και προκλητικός στόχος δεδομένης της εκθετικής αύξησης της ζήτησης των ευρυζωνικών υπηρεσιών που προκαλείται από εφαρμογές Διαδικτύου υψηλής ταχύτητας δεδομένων, τη συνεχή επέκταση των χρηστών του συστήματος, την εκρηκτική ανάπτυξη του ηλεκτρονικού εμπορίου παγκοσμίως, τη χρήση εφαρμογών πολυμέσων και την επέκταση των ραδιοφωνικών και τηλεοπτικών συστημάτων μετάδοσης παγκοσμίως.

Ως εκ τούτου, ο κύριος οδηγός του προηγμένου σχεδιασμού δορυφορικών συστημάτων θα πρέπει να είναι η ικανότητα παροχής τεράστιων ποσοτήτων φάσματος από την τροχιά και σε ανταγωνιστικές τιμές με ενσωμάτωση όλων των τεχνολογιών αιχμής προκειμένου να επιτευχθούν αυτοί οι απαιτητικοί στόχοι.

Συνοψίζοντας, ορισμένοι στόχοι που θα πρέπει να επιτευχθούν μελλοντικά είναι:

- Η «έξυπνη κωδικοποίηση δέσμης» να χρησιμοποιείται για την υλοποίηση πολλών ανεξάρτητων, ταυτόχρονων συνδέσεων, επιτρέποντας πολύ πιο μεγαλύτερο φάσμα συχνοτήτων.

- Μείωση του επιπέδου θορύβου και των παρεμβολών μεταξύ των δορυφορικών συστημάτων

- Σημαντικά μεγαλύτερη επαναχρησιμοποίηση συχνότητας
- Δυνατότητα συντήρησης, επισκευής ή σταδιακής ενημέρωσης στοιχείων
- Πολύ βελτιωμένη απόδοση φάσματος⁶⁹

Πλέον των ανωτέρω, από την ευρεία χρήση των δορυφορικών συστημάτων είναι σίγουρο ότι θα προκύψει ένα σημαντικό ζήτημα που θα πρέπει να γεφυρωθεί στο άμεσο μέλλον και αυτό είναι η διαλειτουργικότητα μεταξύ των διαφορετικών δορυφορικών συστημάτων.

Όταν δύο συστήματα GNSS μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό ή χωριστά το ένα από το άλλο χωρίς να παρεμβαίνουν το ένα στο άλλο, ή όταν το ένα σύστημα επηρεάζει ελαφρώς το άλλο, τέτοια συστήματα θεωρούνται "συμβατά".

⁶⁹ Pelton, Joseph N., Robert J. Oslund, and Peter Marshall. Communications satellites: Global change agents. Routledge, 2004.

Δύο συστήματα που δεν αλληλεπιδρούν μεταξύ τους είναι εξ ορισμού «συμβατά» εφόσον οι εκπομπές του ενός συστήματος δεν υποβαθμίζουν τις εκπομπές του άλλου. Για συστήματα GNSS που μεταδίδουν σήματα σε συγκρίσιμες συχνότητες και κυματομορφές, αυτή η υποβάθμιση μπορεί να συμβεί ως αποτέλεσμα μιας ακούσιας αύξησης των επιπέδων θορύβου σε μια δεδομένη συχνότητα ή ως αποτέλεσμα μιας μεγάλης πιθανότητας διασταυρούμενης συσχέτισης μεταξύ των σημάτων διαφόρων συστημάτων. Η αξιόπιστη απόκτηση των σημάτων των δορυφόρων, γίνεται με την οριοθέτηση του επιπέδου σφάλματος στα μεταδιδόμενα σήματα.⁷⁰ Με αυτές τις δυνατότητες, είναι προφανές ότι εάν δεν υπάρχει συντονισμός, τα σήματα από πολλά συστήματα GNSS του ίδιου τύπου που λειτουργούν στις ίδιες συχνότητες μπορεί να προκαλέσουν περισσότερο κακό παρά όφελος.

Η «διαλειτουργικότητα» είναι πολύ πιο απαιτητική από την απλή αποφυγή αμοιβαίας παρεμβολής. Ένα σύστημα θεωρείται «διαλειτουργικό» εάν μπορεί να χρησιμοποιηθεί με ένα άλλο για να προσφέρει σε μια συγκεκριμένη κατηγορία χρηστών μεγαλύτερη εξυπηρέτηση ή απόδοση από ό,τι θα έπαιρναν με τη χρήση του οποιουδήποτε μεμονωμένου συστήματος.⁷¹ Η διαλειτουργικότητα περιλαμβάνει τη συμβατότητα, επειδή τα μη συμβατά συστήματα δεν θα μπορούσαν να συνδυαστούν για να δημιουργήσουν ένα κοινό σύστημα που θα ήταν καλύτερο από κάθε σύστημα μόνο του. Ωστόσο, η επίτευξη χρήσιμου βαθμού διαλειτουργικότητας είναι μια διαδικασία πολύ δυσκολότερη από την συμβατότητα.

⁷⁰ Scharroo, R., et al. "On the along-track acceleration of the LAGEOS satellite." *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 96.B1 (1991): 729-740.

⁷¹ Το ίδιο

4.2 Τα Επόμενα Βήματα

Η ανάγκη για ανάπτυξη τεχνολογιών αιχμής για το μέλλον είναι πάντα επίκαιρη. Η ζήτηση για τηλέφωνο, τηλεοπτική μετάδοση και άλλες παραδοσιακές υπηρεσίες έχει κορυφωθεί και επί του παρόντος αυξάνεται με σταθερό ρυθμό. Το διαδίκτυο, τα πολυμέσα και άλλες IP υπηρεσίες από την άλλη πλευρά, επεκτείνονται γρήγορα και φαίνεται ότι θα συνεχίσουν για αρκετό χρονικό διάστημα.

Οι ευρυζωνικές υπηρεσίες έχουν αυξηθεί με εξαιρετικά ταχύτατο ρυθμό τα τελευταία χρόνια. Μαζί με αυτήν την αύξηση της ζήτησης για υπηρεσίες, φαίνεται να υπάρχει επίσης μια πληθώρα νέων εφαρμογών τηλεπικοινωνιών και πληροφορικής, από την ηλεκτρονική αποκέντρωση και την αυξανόμενη τηλεργασία έως εντελώς νέα συστήματα παρακολούθησης αεροπλάνων και οχημάτων κάθε είδους.

Σε αυτό το πλαίσιο, κινείται και το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things - IoT), το οποίο, είναι ένας νέος τύπος ηλεκτρονικού οικοσυστήματος με κεντρική ιδέα τη διασύνδεση και παρακολούθηση «έξυπνων» συσκευών, επεξεργαστών και αισθητήρων, με σκοπό την διαδραστική ανταλλαγή δεδομένων και επεξεργασία αυτών είτε από μια κεντρική βάση είτε τοπικά. Στη βάση του IoT βρίσκεται και η ανάπτυξη εφαρμογών για το "έξυπνο σπίτι", αλλά αν το δούμε και διασταλτικά, βρισκόμαστε στο κατώφλι μιας νέας εποχής όπου η ανθρώπινη επέμβαση θα είναι όλο και λιγότερο απαιτητή. Ειδικότερα, είναι πλέον φανερό ότι τεχνολογίες διασύνδεσης τερματικών σταθμών, εμπορευματικών πάρκων και ακόμα και λιμένων, στο πλαίσιο δηλαδή της εμπορευματικής ναυτιλίας, θα βασίζονται όλο και περισσότερο στην αρχή του IoT, σε συνδυασμό με καινοτομίες υπηρεσιών GNSS. Αυτή η καινούργια αντίληψη μας οδηγεί στην αναπόφευκτη ανάπτυξη των τεχνολογιών που είναι απαραίτητες για το 5G, και επιπλέον, στο να αποδεχτούμε τη δορυφορική διασύνδεση ως υπερέχουσα έναντι της επίγειας, τόσο στην ξηρά αλλά και πολύ περισσότερο στη θάλασσα όπου λόγω και της παγκόσμιας κάλυψης, είναι ελάχιστη η πιθανότητα μη διαθεσιμότητας ευρυζωνικών υπηρεσιών.

Είναι βέβαια πιθανό, να προκύψουν νέες προκλήσεις, σχετικά με τη διαχείριση ανεπιθύμητων δεδομένων, διασφάλισης απορρήτου. Τα νέα δίκτυα επικοινωνίας όμως θα έχουν όχι μόνο υψηλότερη απόδοση, αλλά και νέα είδη λογισμικών και εφαρμογών που θα παρέχουν συναγερμούς ή προειδοποιήσεις συστήματος με ασυνήθιστα ή "σιωπηλά σήματα κινδύνου". Ως αποτέλεσμα, η μεταφορά

πληροφοριών και οι εφαρμογές τελικού χρήστη - όπως οι βελτιωμένες τεχνικές για την αρχειοθέτηση και την αποθήκευση πληροφοριών - θα συγκλίνουν σταδιακά.

Για να καταστεί δυνατή η συνεχής επικοινωνία με διακομιστές και βάσεις δεδομένων σε όλο τον κόσμο, οι προηγμένες δορυφορικές τεχνολογίες θα πρέπει να συνεργάζονται με εμπορικές, επιστημονικές, εκπαιδευτικές, ψυχαγωγικές και υγειονομικές εφαρμογές. Τα δορυφορικά δίκτυα πρέπει να προχωρήσουν παράλληλα με άλλες ηλεκτρικές και οπτικές τεχνολογίες προκειμένου να παραμείνουν λειτουργικά.

Η μελλοντική ανάπτυξη της επιχείρησης των δορυφόρων θα βασίζεται τελικά στον τρόπο με τον οποίο οι χρήστες αλληλεπιδρούν με τα συστήματα πληροφοριών του σπιτιού και του χώρου εργασίας τους. Όχι μόνο η νέα διαστημική τεχνολογία, αλλά και τα χαμηλού κόστους, μεταφερόμενα και μικροσκοπικά τερματικά προσωπικού χρήστη, φαίνεται να είναι το κλειδί για το μέλλον. Μια ποικιλία νέων εφαρμογών μπορούν να γίνουν εφικτές από τη διαθεσιμότητα αυτών των τερματικών για τις οποίες οι σημερινοί μηχανικοί μόνο εικασίες μπορούν να κάνουν.⁷²

⁷² Kolawole, Michael Olorunfunmi. Satellite communication engineering. CRC Press, 2017.

Κεφάλαιο 5 : Διαπιστώσεις - Συμπεράσματα

Το μόνο όριο στις πιθανές χρήσεις του GNSS είναι η φαντασία κάποιου. Τα επόμενα χρόνια, θα υπάρξει σημαντική πρόοδος στην τοπογραφία, με τα πλεονεκτήματα του χρήστη να είναι η καλύτερη αξιοπιστία θέσης και η ακρίβεια. Τα σημερινά συστήματα GPS και GLONASS θα εκσυγχρονιστούν, καθώς θα υπάρξει και η ανάπτυξη και η εισαγωγή στην αγορά του Galileo. Λόγω της επέκτασης των σημάτων και των κωδικών GNSS, καθώς και της ενσωμάτωσης αισθητήρων για την αντιμετώπιση του ζητήματος της καθαρότητας του σήματος σε δύσκολα μέρη, ένα άλλο εξελικτικό βήμα θα μας οδηγήσει σε μικρότερους, ελαφρύτερους και πιο ικανούς δέκτες GNSS. Επιπλέον, αναμένεται η ανάπτυξη νέων εφαρμογών για τους μεμονωμένους χρήστες. Τα Ευφυή Συστήματα Οχημάτων (IVHS) όπως τα συστήματα κατά της σύγκρουσης στις σιδηροδρομικές και χερσαίες μεταφορές, τα Ευφυή Συστήματα Μεταφορών (ITS), και η διαχείριση στόλου, ο εντοπισμός κλοπής αυτοκινήτου, η καταγραφή δεδομένων ταξιδιού και άλλα είναι μόνο μερικά παραδείγματα χρήσεων των νέων τεχνολογιών.

Άλλες εφαρμογές GNSS ενδέχεται να δημιουργηθούν για την αυτοματοποίηση διαφόρων διεργασιών και λειτουργιών στην καθημερινότητα. Για παράδειγμα, τα συστήματα GNSS θα μπορούν να αυτοματοποιήσουν τους μηχανισμούς που χρησιμοποιούνται για την ταξινόμηση και την ασφαλοστρωση δρόμων και έτσι με την βοήθεια του GNSS να χειριζόμαστε εξ αποστάσεως όλες τις λειτουργίες κίνησης με βάση μια ψηφιακή εφαρμογή που είναι εγκατεστημένη στον υπολογιστή του εξοπλισμού. Με αυτό τον τρόπο ο μηχανισμός θα μπορούσε να λειτουργεί αδιάλειπτα για όλο το 24ώρο χωρίς προσωπικό. Αυτή η δυνατότητα μειώνει αισθητά τα κόστη λειτουργίας και κάνει πιο αποδοτικό και αξιόπιστο το σύστημα.

Η γεωργία ακριβείας είναι επίσης ένα πιθανό μελλοντικό πεδίο δράσης των συστημάτων GNSS καθώς η εύρεση της ακριβούς τοποθεσίας θεωρείται προφανής αναγκαιότητα. Επιπλέον, οι εφαρμογές που ήδη έχουν αναπτυχθεί για αυτό τον σκοπό παρέχουν επίσης δεδομένα για την ποιότητα του εδάφους, τις απαιτήσεις λιπασμάτων, τη συντήρηση των γεωργικών μηχανημάτων και την υγεία των καλλιεργειών. Σε άλλο πεδίο εφαρμογών, ο συνδυασμός της τεχνολογίας λέιζερ με το GNSS μπορεί να προσφέρει άπειρο αριθμό λειτουργιών. Τέλος, αυτές οι τεχνικές εξελίξεις βοηθούν τους οργανισμούς να μεγιστοποιήσουν την αποτελεσματικότητά

τους όσον αφορά τα λειτουργικά έξοδα και προσφέρουν μια ποικιλία επιπλέον πλεονεκτημάτων που εκτείνονται από περιβαλλοντικά ζητήματα έως την ασφάλεια των εργαζομένων.

Η ανάγκη για αξιόπιστα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο είναι επίσης μια πρόκληση. Αρκετές γεωδαιτικές και τοπογραφικές εφαρμογές απαιτούν την μέγιστη ακρίβεια χρονισμού ώστε να αποδίδουν τα αποτελέσματα τους με τα μικρότερα δυνατά σφάλματα. Επιπλέον, ο ακριβής χρονισμός βελτιώνει της υπηρεσίες που παρέχουν οι τηλεφωνικές εταιρείες, οι υπηρεσίες κοινής ωφελείας και πολλές άλλες. Άλλες πιθανές χρήσεις του GNSS περιλαμβάνουν την προστασία του φυσικού περιβάλλοντος όπως για παράδειγμα με την χρήση αισθητήρων που ανιχνεύουν εστίες φωτιάς, αλλά και με την παρακολούθηση της εξέλιξης της δίνοντας χρήσιμες πληροφορίες στους πυροσβέστες για το μέτωπο και την πραγματική έκταση της.. Επιπλέον, μπορούν να παρέχουν πληροφορίες που θα μας βοηθήσουν να κατανοήσουμε καλύτερα πώς σχηματίζεται η ατμόσφαιρα, κάτι που, για παράδειγμα, θα οδηγήσει σε πιο ακριβή μοντέλα ανάλυσης καιρού. Με παρόμοιο τρόπο, οι συσκευές μέτρησης της ποιότητας του αέρα σε συνδυασμό με τα συστήματα GNSS θα αυξήσουν την ακρίβεια της περιβαλλοντικής παρακολούθησης και θα δώσουν την δυνατότητα στους περιβαλλοντολόγους να σχεδιάσουν στρατηγικές περιορισμού της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Συστήματα πλοήγησης και πληροφόρησης πλοίων, ακριβή συστήματα εισόδου λιμένων και χαρτογραφήσεις ακριβείας θα αποτελέσουν την εξέλιξη των θαλάσσιων εφαρμογών ενώ θα κατασκευαστούν εκτεταμένα δίκτυα σταθμών παρακολούθησης κατά μήκος των ακτών. Η ανάπτυξη αυτόνομων εμπορικών πλοίων θα συνεχιστεί όσο θα αναπτύσσεται και η δυνατότητα για ευρεία δορυφορική κάλυψη ώστε να είναι εφικτή η πλοήγηση τους.

Για απαιτήσεις υψηλής αξιοπιστίας και ακεραιότητας στην αεροπορία, το GNSS θα συμπεριληφθεί στα συστήματα πλοήγησης. Οι εφαρμογές θα περιλαμβάνουν αποφυγή σύγκρουσης, προειδοποίηση εγγύτητας, προσέγγιση και προσγείωση, καθώς και αυτόματη πλοήγηση κατά την πτήση. Συνδυάζοντας το GNSS και τους ενσωματωμένους υπολογιστές, οι απογειώσεις και οι προσγειώσεις μπορούν να επιτευχθούν από αεροσκάφη που λειτουργούν σε αυτοματοποιημένη λειτουργία. Τα drones θα ελέγχονται επίσης με τηλεχειρισμό από μεγάλες αποστάσεις (πέρα από τον ορίζοντα) σε μέρη χωρίς πρόσβαση στο Διαδίκτυο. Το GNSS θα χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο στο διάστημα για πλοήγηση

πυραύλων, αναγνώριση διαστημικών σκαφών και ακριβή δορυφορική τοποθεσία (για παράδειγμα, για τηλεπισκόπηση της γης).

Όσον αφορά την αρχιτεκτονική των δικτύων που συνεργάζονται με τα δορυφορικά συστήματα, τα βασικά στοιχεία των μελλοντικών πληροφοριοκεντρικών συστημάτων θα περιλαμβάνουν και δορυφορικές επικοινωνίες καθώς και την ενοποίηση επίγειων και δορυφορικών δικτύων, τα οποία θα βελτιώσουν την ευκολία του χρήστη και την παγκόσμια κάλυψη του δικτύου. Τα περισσότερα σενάρια, ειδικότερα, επικεντρώνονται στην ενίσχυση της ενοποίησης εργαλείων και αντικειμένων ασφαλείας για τη διάδοση δεδομένων και υπηρεσιών ακόμη και σε περίπτωση διακοπής του δικτύου.

Η πλήρης εκμετάλλευση των πλεονεκτημάτων που παρέχονται από την υποκείμενη τεχνολογία και η ευκαιριακή πρόσβαση στο φάσμα αναδείχθηκαν ως βασικά σημεία για τη διευκόλυνση της ενοποίησης μεταξύ δορυφορικών και επίγειων δικτύων. Επιπλέον, η διαχείριση παρεμβολών, κρίθηκε απαραίτητη για να επιτευχθεί η συνύπαρξη των διαφορετικών τεχνολογιών. Τέλος, η ανάπτυξη των μικρών σε διάσταση ελαφρύτερων και οικονομικότερων δορυφόρων θα δώσει νέα ώθηση στην διάδοση δορυφορικών λύσεων για την εκτέλεση εφαρμογών σε περιοχές που δεν καλύπτονται από επίγειους σταθμούς βάσης. Η χρήση του συνδυασμού επίγειων και δορυφορικών σταθμών θα αναβαθμίσει την αξιοπιστία του σήματος και θα αναβαθμίσει την απόδοση των παρεχόμενων υπηρεσιών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Ψήφισμα της Γενικής Συνέλευσης των Ηνωμένων Εθνών για τις δορυφορικές επικοινωνίες 1961.
- Aldridge, Robert C. *First strike!: the Pentagon's strategy for nuclear war*. South End Press, 1983.
- Alper, Joel, and Joseph N. Pelton. "The intelsat global satellite system." (1986): 59-59.
- Bhatta, Basudeb. "Introduction to remote sensing and research." *Research Methods in Remote Sensing*. Springer, Dordrecht, 2013. 1-20.
- Bhatta, Basudeb. *Global Navigation Satellite Systems: New Technologies and Applications*. CRC Press, 2021.
- Bhatta, Basudeb. *Global navigation satellite systems: insights into GPS, GLONASS, Galileo, Compass, and others*. BS Publications, 2010.
- Bauer, Arthur O. "Some historical and technical aspects of radio navigation." *Germany, over the period (1907)*.
- Bedwell, D. 2007, Where Am I?, *American Heritage Magazine*, **22**(4).
- Bhasin, Kul B., et al. "Global Satellite Communications Technology and Systems." (1998).
- Bossler, John D., et al. *Manual of geospatial science and technology*. CRC Press, 2010.
- Bowditch, Nathaniel. "Glossary. The American Practical Navigator. Bethesda." (1995).
- Chatfield, Averil Burton. *Fundamentals of high accuracy inertial navigation*. Vol. 174. Aiaa, 1997.
- Cutler, Thomas J. *Dutton's Nautical Navigation*. Annapolis: Naval Institute Press, 2004.
- Czerniak, Robert J., and James Patrick Reilly. *Applications of GPS for surveying and other positioning*
- *needs in departments of transportation*. Vol. 258. Transportation Research Board, 1998.
- Cruz, Paulo JS, Dan M. Frangopol, and Luis C. Neves, eds. *Bridge maintenance, safety, management, life-cycle performance and cost*. Taylor & Francis Group, 2006.
- Daidzic, Nihad E. "General solution of the wind triangle problem and the critical tailwind angle." *The International Journal of Aviation Sciences (IJAS)* 1.1 (2016): 57-93.
- Elbert, Bruce R. *The satellite communication applications handbook*. Artech house, 2004.

- Eriksen, Torkild, et al. "Tracking ship traffic with space-based AIS: experience gained in first months of operations." *2010 International WaterSide Security Conference*. IEEE, 2010.
- Fall K, Farrell S. Dtn: an architectural retrospective, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications* 2008; **26**(5): 828–836.
- Forte, A. D. M. "At Sea with a Companion The Oxford Companion to Ships and the Sea, Edited by ICB Dear and Peter Kemp." (2007): 205-210.
- Fournier, Mélanie, et al. "Past, present, and future of the satellite-based automatic identification system: Areas of applications (2004–2016)." *WMU journal of maritime affairs* 17.3 (2018): 311-345.
- Garrison, Ervan G. *Techniques in archaeological geology*. Berlin: Springer, 2003.
- Guard, US Coast. "Loran-C User Handbook, COMDTPUB P16562. 6." *Washington, DC* (1992).
- Guerra, André GC, et al. "On small satellites for oceanography: A survey." *Acta Astronautica* 127 (2016): 404-423.
- Gransberg, Douglas D., Calin M. Popescu, and Richard Ryan. *Construction equipment management for engineers, estimators, and owners*. CRC Press, 2006.
- Greidanus, Harm, et al. "Completeness and accuracy of a wide-area maritime situational picture based on automatic ship reporting systems." *The Journal of Navigation* 69.1 (2016): 156-168.
- Hecks, Karl. *Bombing 1939-45: The Air Offensive Against Land Targets in World War Two*. Robert Hale Limited, 1990.
- Hellenen, Øystein, et al. "Technology reference and proof-of-concept for a space-based automatic identification system for maritime security." *4S Symposium Small Satellites Systems and Services*. Vol. 660. 2008.
- Kaplan, E. D. "1996, Understanding GPS: Principles and Applications."
- Kim J, Lee J, Kim J, Yun J. M2M service platforms: survey, issues, and enabling technologies, *IEEE Communications Surveys Tutorials* 2014; **16**(1):61–76.
- Kinzey, Douglas, Tim Gerrodette, and Daniel Fink. "ACCURACY AND PRECISION OF PERPENDICULAR DISTANCE MEASUREMENTS IN SHIPBOARD LINE-TRANSECT SIGHTING SURVEYS." (2002).
- Kolawole, Michael Olorunfunmi. *Satellite communication engineering*. CRC Press, 2017.
- Krakiwsky, Edward J. "GPS and vehicle location and navigation." *GPS world*. Vol. 2, no. 5 (1991).
- Logsdon, J. M. (1998). *Exploring the unknown: selected documents in the history of the US civilian space program*. Accessing space (Vol. 4). NASA.
- Owings, Rich. *GPS Mapping: Make Your Own Maps*. Ten Mile Press, 2005.

- Parkinson, Bradford W. "GPS eyewitness: the early years." *GPS world* 5.9 (1994): 32-45.
- Pelton, Joseph N. "Introduction to satellite communications." *Satellite Communications*. Springer, New York, NY, 2012. 1-3.
- Pelton, J. N., Madry, S., & Camacho-Lara, S. (2013). Satellite applications handbook: The complete guide to satellite communications, remote sensing, navigation, and meteorology. *Handbook of Satellite Application*, 3-19.
- Pelton, Joseph N., Robert J. Oslund, and Peter Marshall. *Communications satellites: Global change agents*. Routledge, 2004.
- Poppen, Richard F., and Darrell L. Mathis. "Integration of GPS with dead-reckoning and map matching for vehicular navigation." *Proceedings of the 1993 National Technical Meeting of the Institute of Navigation*. 1993.
- Quattrochi, Dale A., and Michael F. Goodchild, eds. *Scale in remote sensing and GIS*. CRC press, 1997.
- Samama, Nel. *Global positioning: Technologies and performance*. John Wiley & Sons, 2008.
- Scharroo, R., et al. "On the along-track acceleration of the LAGEOS satellite." *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 96.B1 (1991): 729-740.
- Sickle, Jan Van. "Basic GIS coordinates." (2004).
- Swider, Raymond J. "Directions 2006-System Design-Can GNSS Become a Reality?." *GPS World* 16.12 (2005): 20-21.
- Teunissen, Peter JG, and Oliver Montenbruck, eds. *Springer handbook of global navigation satellite systems*. Vol. 10. New York, NY, USA:: Springer International Publishing, 2017.
- USACE 2002c, *Engineering and Design - Photogrammetric Mapping*, U.S. Army Corps of Engineers.
- Van Sickle, Jan. *GPS for land surveyors*. CRC press, 2008.
- Vespe, Michele, Harm Greidanus, and Marlene Alvarez Alvarez. "The declining impact of piracy on maritime transport in the Indian Ocean: Statistical analysis of 5-year vessel tracking data." *Marine Policy* 59 (2015): 9-15.

Διαδίκτυο

- [JAVAD GNSS](#)
- <https://www.loran.org>
- [Home page \(intersputnik.int\)](#)
- [Convention on the International Maritime Satellite Organization \(imo.org\)](#)