

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ  
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΘΕΜΑ: ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΠΙΛΟΤΟΥ  
ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΠΛΟΙΩΝ**



**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : ΝΟΒΑΚΗΣ ΖΗΣΗΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ  
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΠΑΠΑΣΤΑΜΟΥΔΗΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ**

**ΝΕΑ ΜΗΧΑΝΙΩΝΑ 2013**

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ  
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΘΕΜΑ: ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΠΙΛΟΤΟΥ  
ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΠΛΟΙΩΝ**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : (ΝΟΒΑΚΗΣ ΖΗΣΗΣ)  
ΑΜ : (4383)**

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ :25/09/2013**

Βεβαιώνεται η ολοκλήρωση της παραπάνω πτυχιακής εργασίας

Ο καθηγητής

## Περίληψη

Σκοπός της διπλωματικής αυτής εργασίας είναι η περιγραφή των συστημάτων, μέσω των οποίων επιτυγχάνεται η σωστή πλοήγηση και ο έλεγχος της θέσης και της κατεύθυνσης ενός πλοίου.

Αρχικά γίνεται μια ιστορική αναδρομή που ξεκινάει από το πρώτο γυροσκόπιο το οποίο αποτελείται από ένα βαρύ μεταλλικό δίσκο και μεταλλικούς δακτυλίους και καταλήγει στη σημερινή εξέλιξη αυτού, που είναι πλέον PID ελεγκτές οι οποίοι υλοποιούνται από ένα υπολογιστή.

Παρακάτω περιγράφεται ο τρόπος λειτουργίας των ραντάρ και οι αρχές και τα συστήματα της δορυφορικής ναυτιλίας. Επίσης αναλύονται τα διάφορα δορυφορικά συστήματα πλοήγησης, από τα παλαιότερα μέχρι τα πιο σύγχρονα, με βάση την ψηφιακή επεξεργασία των σημάτων που στέλνουν διάφορες διατάξεις.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται δύο συστήματα αυτόματου πιλότου με τα τεχνολογικά τους χαρακτηριστικά, ενώ παράλληλα εξηγούνται κάποια σχεδιαγράμματα της αρχής λειτουργίας του αυτόματου πιλότου και το υποσύστημα του.

Τέλος εξάγονται κάποια συμπεράσματα που αφορούν την εξέλιξη της ναυτιλίας αλλά και το γεγονός ότι οι βασικές αρχές και ανάγκες της ναυσιπλοΐας παραμένουν διαχρονικά αναλλοίωτες και συνοψίζονται στην αποφυγή προσάραξης, αποφυγή σύγκρουσης και αποφυγή ζημιών λόγω δυσμενών καιρικών συνθηκών.

## **Abstract**

The aim of this study is the description of the systems, which enable the proper navigation and the control of the orientation of a ship.

Initially there is a historical flashback that starts from the first gyroscope which consists of a heavy metal tray and metal rings and ends at the current state of that which is now PID controllers that are implemented by a computer.

Following described the way of radar functioning and the principles and systems of satellite navigation are discussed. Also, the various satellite navigation systems are presented, from the older ones until the contemporary systems, which are based on the digital manipulation of the signals that are emitting the various communication devices.

Subsequently present two autopilot systems with their technological features, while explaining some diagrams of the operating principle of autopilot and subsystems.

Finally draw inferences concerning the development of shipping and the fact that the principles and requirements of navigation remain unchanged over time and summarized to avoid stranding, avoidance, collision avoidance and losses due to adverse weather conditions.

## Πρόλογος

Η μελέτη των θαλάσσιων μέσων μεταφοράς ως προς την κινηματική, τη δυναμική τους αλλά και ως προς τις μεθόδους ελέγχου, πλοήγησης και ναυσιπλοΐας είναι αντικείμενο που απασχολεί χιλιάδες χρόνια. Ο έλεγχος των πλοίων και γενικότερα των θαλάσσιων μέσων αποκτά ολοένα αυξανόμενη σημασία, αφού οι προκλήσεις στις οποίες καλούνται να ανταπεξέλθουν είναι μεγάλου οικονομικού ενδιαφέροντος.

Οι πλωτές εξέδρες άντλησης πετρελαίου ή φυσικού αερίου, η υποβρύχια εγκατάσταση καλωδίων ή αγωγών, η μεταφορά εμπορευμάτων και καυσίμων, αλλά και πιο ειδικές διαδικασίες όπως η προσέγγιση εξέδρας φόρτωσης καυσίμων, η διέλευση μέσα από στενά περάσματα, όπως διώρυγες και η πλευρίση πλοίων είναι μερικές μόνο από τις πολύ μεγάλης σημασίας εφαρμογές του ελέγχου στα θαλάσσια μέσα μεταφοράς.

Αξιοσημείωτες ακόμα είναι οι στρατιωτικές εφαρμογές, όπως ο έλεγχος τορπίλων, η σταθεροποίηση υποβρυχίων και η σταθεροποίηση πλωτών εξέδρων εκτόξευσης πυραύλων. Πέραν όμως της μεγάλης οικονομικής σημασίας ο έλεγχος ενός θαλάσσιου οχήματος αποτελεί πρόκληση ακόμα για έναν λόγο. Τα θαλάσσια οχήματα έχουν περισσότερους βαθμούς ελευθερίας από επενεργητές, με αποτέλεσμα να πρέπει να ελεγχθούν ταυτόχρονα περισσότεροι του ενός βαθμοί ελευθερίας από ένα επενεργητή.

Κρίνεται λοιπόν αναγκαίο να γίνει μια σύντομη περιγραφή των μεθόδων ελέγχου που εφαρμόζονται στα θαλάσσια οχήματα, αφού αυτό είναι άλλωστε και το αντικείμενο που πραγματεύεται η παρούσα εργασία.

Έτσι λοιπόν ακολουθήσαμε μια μεθοδολογική προσέγγιση επάνω στο θέμα της εργασίας η οποία αναλύεται εκτενέστερα σε κεφάλαια και υποκεφάλαια.

## Κεφάλαιο 1

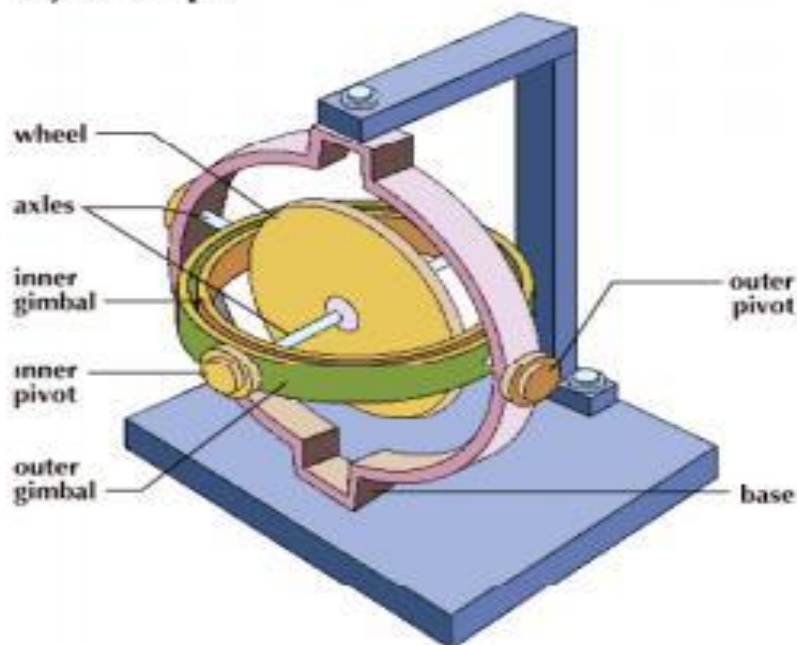
# ΝΑΥΣΙΠΛΟΪΑ, ΠΛΟΗΓΗΣΗ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΠΛΟΙΩΝ.

### 1.1. Ιστορική αναδρομή

Η ιστορία του βασισμένου σε μοντέλο ελέγχου πλοίου ξεκινά με την εφεύρεση του γυροσκοπίου τη δεκαετία του 1850 από το Γάλλο επιστήμονα J.B.L.Foucault. Το γυροσκόπιο είναι μια διάταξη που αποτελείται από ένα βαρύ μεταλλικό δίσκο και μεταλλικούς δακτυλίους με τέτοιο τρόπο συνδεδεμένους, που επιτρέπουν στο δίσκο να περιστρέφεται ελεύθερα προς κάθε κατεύθυνση.

Ο δίσκος λόγω αδράνειας περιστρέφεται προς οποιαδήποτε κατεύθυνση, προκειμένου να διατηρήσει την συμπεριφορά του δηλαδή να παραμείνει ακίνητος, όταν το γυροσκόπιο που είναι τοποθετημένο στο πλοίο κινείται μαζί με αυτό.

### Gyroscope



Σχήμα 1. Γυροσκόπιο. Wheel=τροχός axes=άξονες gimbal=αναρτήρας pivot=άξονας περιστροφής base=βάση inner= εσωτερικός outer= εξωτερικός [1].

Αργότερα αναπτύχθηκε ένα ηλεκτρικό γυροσκόπιο λόγω της ανάγκης για πιο αξιόπιστα συστήματα πλοήγησης σε ατσάλινα πλοία και υποβρύχια. Το γυροσκόπιο αυτό είναι πιο ευαίσθητο σε μαγνητικές διαταραχές, που είναι συνηθισμένες σε αυτά.

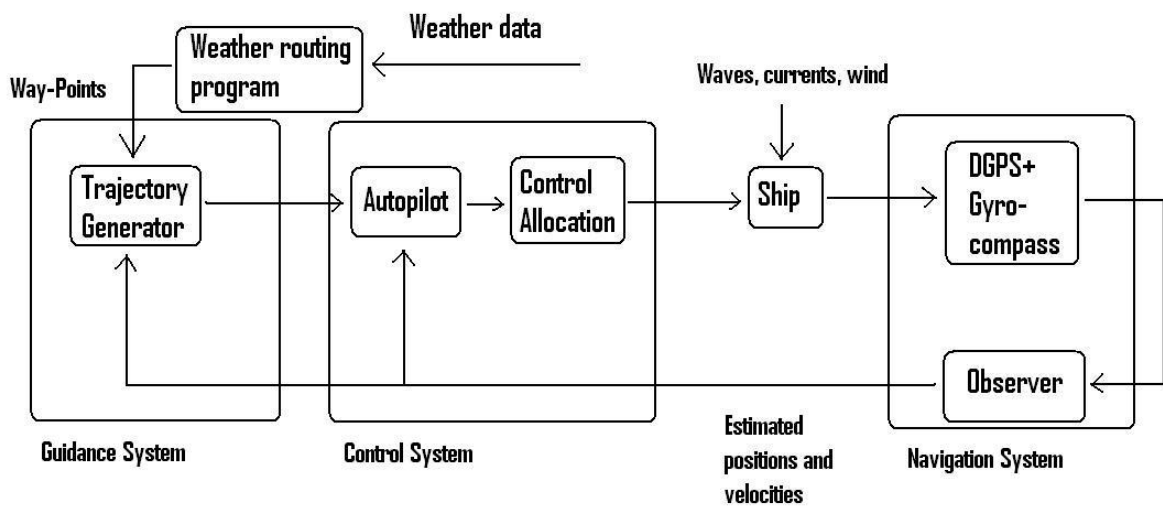
Με βάση το γυροσκόπιο δημιουργήθηκε ο πρώτος autopilot. Εδώ κρίνεται σωστό να δοθεί ο ορισμός του autopilot (αυτόματου πιλότου). Ο autopilot είναι μια συσκευή ή πρόγραμμα που ελέγχει ένα όχημα, στην περίπτωση μας πλοίο, χωρίς να είναι απαραίτητη η συνεχής παρέμβαση του ανθρώπου. Ο πρώτος autopilot (αυτόματος πιλότος) ήταν ένας μεταλλικός μηχανισμός που έλεγε το πηδάλιο του πλοίου οδηγούμενος από ένα γυροσκόπιο, αναπτύχθηκε από τον Elmer Sperry και ήταν γνωστός ως 'Metal Mike'. Ήταν ένας ελεγκτής κλειστού βρόχου που είχε τη δυνατότητα να ελέγξει το πλοίο σε διάφορες καταστάσεις της θάλασσας χρησιμοποιώντας έλεγχο ανατροφοδότησης και αυτόματη προσαρμογή κέρδους ελεγκτή.

Μετέπειτα, το 1922, ο Minorsky παρουσίασε μια λεπτομερή ανάλυση ενός συστήματος ελέγχου ανατροφοδότησης θέσης, όπου χρησιμοποιούσε έναν ελεγκτή τριών όρων, που σήμερα είναι γνωστός ως PID. Οι ελεγκτές των δύο προαναφερθέντων ήταν και οι δύο ελεγκτές μίας εισόδου- μίας εξόδου, που χρησιμοποιούσαν τον προσανατολισμό που υπολογιζόταν από μία γυροσκοπική πυξίδα για να ελέγξουν τη γωνία του πηδαλίου. Τέτοιοι αυτόματοι πιλότοι ήταν ικανοί μόνο να διατηρούν μια προκαθορισμένη πορεία και χρησιμοποιούνται ακόμα και σήμερα σε μικρότερα πλοία για διαδρομές ρουτίνας.

Σήμερα πλέον οι PID ελεγκτές υλοποιούνται από ένα υπολογιστή, ο οποίος συγκρίνει τον επιθυμητό προσανατολισμό με τον προσανατολισμό που μετράται και υπολογίζει τις διορθωτικές κινήσεις που πρέπει να δοθούν στο πηδάλιο. Πρόσφατα χρησιμοποιούνται PID ελεγκτές που υπολογίζονται από τεχνικές LQG και τεχνικές σθεναρού ελέγχου. Ένα πλεονέκτημα των μεθόδων αυτών που αξίζει να αναφερθεί είναι ότι φιλτράρουν τις διαταραχές που προκαλούνται από τα κύματα και έτσι δεν δίνονται συνεχώς διορθωτικές κινήσεις στο πηδάλιο και στο σύστημα προώθησης, με αποτέλεσμα μείωση της φθοράς τους. Οι σημερινοί ελεγκτές, ακόμα, είναι ικανοί να πραγματοποιήσουν πιο δύσκολους ελιγμούς όπως στροφές και διαδικασίες προσάραξης. [1],[2].

## 1.2 Αρχή της Ναυσιπλοΐας, της Πλοήγησης και του Ελέγχου Κατεύθυνσης πλοίων.

Ένα σύστημα ελέγχου θαλάσσιου οχήματος αναπτύσσεται ως τρία ανεξάρτητα συστήματα, αυτά της ναυσιπλοΐας (θαλασσοπορείας), της πλοήγησης και του ελέγχου, τα οποία αλληλεπιδρούν βέβαια μέσω δεδομένων και σημάτων όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα 2 [2].



Σχήμα 2 . Σχηματικό διάγραμμα της λειτουργίας της πλοήγησης και του ελέγχου της κατεύθυνσης του πλοίου.[2].

Επεξήγηση της λειτουργίας του κάθε υποσυστήματος δίνεται παρακάτω:

Ναυσιπλοΐα (Guidance) : Είναι το σύστημα το οποίο διαρκώς υπολογίζει την επιθυμητή τροχιά, που προσδιορίζεται από την θέση, την ταχύτητα και την επιτάχυνση του πλοίου, η οποία χρησιμοποιείται από το σύστημα ελέγχου. Η επιθυμητή τροχιά υπολογίζεται με βάση ποικίλα δεδομένα, όπως οι καιρικές συνθήκες, προσχεδιασμένες συναντήσεις, γνωστές θέσεις εμποδίων ή επικίνδυνων περιοχών ακόμα και με βάση τεχνικές βελτιστοποίησης με σκοπό την εξοικονόμηση καυσίμων.

Πλοήγηση (Navigation) : Είναι η επιστήμη της καθοδήγησης ενός πλοίου καθορίζοντας τη θέση, την πορεία και την απόσταση που ταξίδεψε, ενώ μερικές φορές καθορίζονται ακόμα η ταχύτητα και η επιτάχυνσή του. Σήμερα για τον προσδιορισμό της θέσης χρησιμοποιούνται δορυφορικά συστήματα πλοήγησης, όπως το GPS.



Έλεγχος (Control) : Είναι ο υπολογισμός των δυνάμεων και ροπών που πρέπει να εφαρμοστούν στο πλοίο- όχημα, ώστε να επιτευχθεί ένας συγκεκριμένος σκοπός.

Ο κύριος σκοπός είναι η παρακολούθηση της επιθυμητής τροχιάς, που παρέχεται από το σύστημα ναυσιπλοΐας (guidance system). Ενώ οι έξοδοι του συστήματος πλοήγησης, δηλαδή η θέση, η ταχύτητα και η επιτάχυνση του πλοίου, είναι τα σήματα που ανατροφοδοτούνται και συγκρίνονται με την επιθυμητή τροχιά.

## Κεφάλαιο 2

### ΥΠΕΡΒΟΛΙΚΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑ-PANTAR

#### 2.1. Ραντάρ

Το 1920 κατασκευάζεται στην Αμερική η πρώτη λυχνία magnetron από τον Albert W. Hull της εταιρείας General Electric. Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της είναι η παραγωγή μικροκυμάτων υψηλής συχνότητας και μεγάλης ισχύος.

Όταν ανάλογα σήματα εκπέμπονται από μία πηγή, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να μεταφέρουν σήματα σε μεγάλες αποστάσεις. Δεν είναι λοιπόν τυχαίο, ότι με την ανακάλυψη της λυχνίας, σημειώνεται δραστική πρόοδος στις ασύρματες επικοινωνίες. Άμεση συνέπεια ήταν η βελτίωση των τεχνικών διαμόρφωσης, δηλαδή εκείνων των τεχνικών με τις οποίες μεταβάλλοντας κατάλληλα τα χαρακτηριστικά του εκπεμπομένου σήματος, μεταφέρεται πληροφορία από μία θέση σε μία άλλη. Οι αποστάσεις επικοινωνίας αυξάνονται, η ποιότητα των σημάτων βελτιώνεται και ο δρόμος για την ανάπτυξη του ραντάρ είναι πλέον ανοικτός.

Η συσκευή ραντάρ αναγνωρίζεται διαχρονικά ως το χαρακτηριστικότερο ηλεκτρονικό ναυτιλιακό όργανο. Αποτελεί το «ηλεκτρονικό μάτι» του ναυτικού, το οποίο ερευνά δυναμικά το περιβάλλον, προσδιορίζοντας σε πραγματικό χρόνο τόσο τους ακίνητους ή χερσαίους ναυτιλιακούς κινδύνους, όσο και τους κινούμενους στόχους.

Είναι το κατεξοχήν μέσο σύνθεσης της εικόνας της ναυτιλιακής καταστάσεως. Η ονομασία ραντάρ (radar) αποτελεί συντομογραφία του όρου Radio Detection and Ranging. Τα πρώτα πειράματα που κατέδειξαν την ιδιότητα της ανάκλασης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων από αντικείμενα στα οποία προσπίπτουν, εκτελέστηκαν από τον Heinrich Hertz το 1886. Στη συνέχεια η τεχνική αναπτύχθηκε σταδιακά, ταυτόχρονα από Γερμανούς, Γάλλους, Βρετανούς και Αμερικανούς επιστήμονες. Η πρώτη επιτυχημένη χρήση ανάλογης συσκευής έγινε το 1935 και αφορούσε στον επιτυχή εντοπισμό και στην εξαγωγή της απόστασης επερχομένου αεροσκάφους.

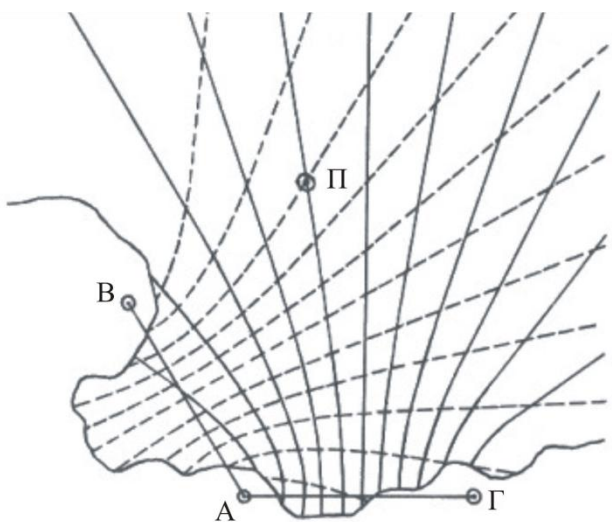
Η πρώτη ναυτιλιακή εφαρμογή έγινε το 1937 με την εγκατάσταση της πρώτης συσκευής ραντάρ σε πολεμικό πλοίο των Η.Π.Α. Το ραντάρ αποτέλεσε ένα από τα σημαντικότερα τεχνολογικά επιτεύγματα του Β΄ Παγκοσμίου Πολέμου, διεκδικώντας επάξια μερίδιο ευθύνης για την επιτυχή έκβαση αυτού του πολέμου.

Το 1944 άρχισε σταδιακά η εγκατάστασή του και στα εμπορικά πλοία, η οποία γενικεύθηκε μετά το τέλος του πολέμου. Με την πάροδο του χρόνου και την εξέλιξη της τεχνολογίας, βελτιώθηκε σημαντικά η ακρίβεια της εξαγόμενης πληροφορίας της συσκευής, καθώς και η περαιτέρω αξιοποίησή της, ώστε να επιτευχθεί η αυτόματη υποτύπωση της ναυτιλιακής κινήσεως.

## 2.2. Υπερβολική Ναυτιλία

Η μέθοδος προσδιορισμού θέσεως στην τομή δύο υπερβολικών γραμμών θέσεως ήταν γνωστή και χρησιμοποιήθηκε επιτυχώς τουλάχιστον από τον Α΄ παγκόσμιο πόλεμο, για τον εντοπισμό της θέσεως των πυροβόλων του εχθρού με την καταγραφή των χρονικών στιγμών που ακουγόταν η βολή του πυροβόλου σε διαφορετικές θέσεις [3]. Με τον τρόπο αυτό η διαφορά του χρόνου διάδοσης του ηχητικού κύματος μετατρέποταν σε διαφορά απόστασης, από την οποία προέκυπτε η αντίστοιχη υπερβολική γραμμή θέσεως (βασική ιδιότητα της υπερβολής).

Εν τούτοις, τα πρώτα ραδιοναυτιλιακά βοηθήματα υπερβολικής ναυτιλίας αναπτύχθηκαν πολύ μεταγενέστερα και συγκεκριμένα κατά το Β' παγκόσμιο πόλεμο. Τα συστήματα αυτά παρείχαν τη δυνατότητα προσδιορισμού της θέσεως (στίγματος) του πλοίου με τη λήψη και επεξεργασία ραδιοσημάτων, τα οποία εκπέμπονται από κατάλληλους σταθμούς ξηράς σε αποστάσεις από τις ακτές κατά πολύ μεγαλύτερες από την εμβέλεια του ραδιογωνιομέτρου και του ραντάρ.



Σχήμα 3. Προσδιορισμός θέσεως (στίγματος) υπερβολικής ναυτιλίας

Στα συστήματα υπερβολικής ναυτιλίας η θέση του πλοίου προσδιορίζεται στην τομή δύο υπερβολικών γραμμών θέσεως (Σχήμα 3), οι οποίες προκύπτουν ως εξής:

- Η 1η υπερβολική γραμμή θέσεως προκύπτει από τη μέτρηση της διαφοράς των αποστάσεων του πλοίου από τους σταθμούς Α και Β.
- Η 2η υπερβολική γραμμή θέσεως προκύπτει από τη μέτρηση της διαφοράς των αποστάσεων του πλοίου από τους σταθμούς Α και Γ.

Τα κυριότερα ραδιοναυτιλιακά βοηθήματα υπερβολικής ναυτιλίας που δημιουργήθηκαν κατά τον Β' παγκόσμιο πόλεμο, ήταν τα εξής:

- Το σύστημα CONSOL, που αναπτύχθηκε από τους Γερμανούς και χρησιμοποιήθηκε ευρέως για τη ναυτιλία ανοικτής θαλάσσης υποβρυχίων με την ονομασία SONNE.
- Το σύστημα DECCA, που αναπτύχθηκε από τους Βρετανούς και χρησιμοποιήθηκε ιδιαίτερα για την εκμετάλλευση πληροφοριών στίγματος στην απόβαση της Νορμανδίας.
- Το σύστημα LORAN, που αναπτύχθηκε το 1941 από τις ΗΠΑ για την παροχή στίγματος ακριβείας ανοικτής θαλάσσης. Μετά τη λήξη του πολέμου αναπτύχθηκε περαιτέρω και διατέθηκε για ελεύθερη χρήση με την ονομασία LORAN-A με συχνότητα εκπομπής σταθμών ξηράς 1700 –2000 KHz και εμβέλεια 540 ν.μ. Το 1957 δημιουργήθηκε το σύστημα LORAN-C με συχνότητα εκπομπής σταθμών ξηράς 100 KHz και εμβέλεια 1080 ν.μ.

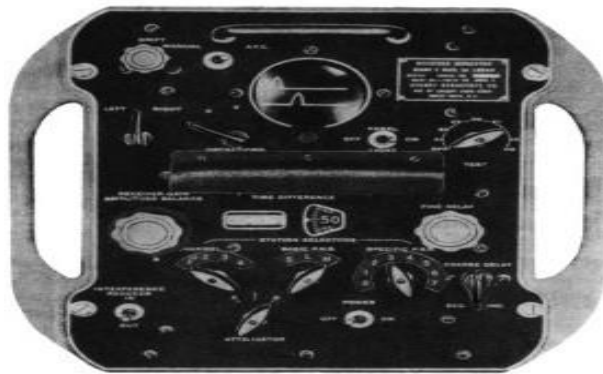
Από τις πρώτες εφαρμογές των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων στη ναυτιλία ήταν η δραστική αναβάθμιση των παραδοσιακών δεκτών των συστημάτων υπερβολικής ναυτιλίας με την ενσωμάτωση σε αυτούς μικροεπεξεργαστή, παρέχοντας έτσι την δυνατότητα να εκτελείται αυτόματη επεξεργασία των λαμβανομένων ραδιοσημάτων για τον υπολογισμό και την ένδειξη των γεωγραφικών συντεταγμένων της θέσεως (στίγματος) σε ειδική ψηφιακή οθόνη.



α. Παλιός δέκτης υπερβολικού συστήματος DECCA(δεκαετία 1950-1960)



β. Νεότερος δέκτης συστήματος DECCA, με ψηφιακή οθόνη ενδείξεως γεωγραφικών συντεταγμένων [δεκαετία 1970-1980]



γ. Παλιός δέκτης υπερβολικού συστήματος LORAN [δεκαετία 1950-1960]



δ. Νεότερος δέκτης LORAN με ψηφιακή οθόνη ενδείξεως γεωγραφικών συντεταγμένων [δεκαετία 1970-1980]

Σχήμα 4. Εξέλιξη δεκτών συστημάτων υπερβολικής ναυτιλίας

Τα πρώτα βοηθήματα υπερβολικής ναυτιλίας, παρά τις μετέπειτα βελτιώσεις τους, διέθεταν περιορισμένη εμβέλεια (μέχρι τα 250 ν.μ. για το DECCA και τα 2000 ν.μ. για το LORAN). Για το λόγο αυτό, από το 1947 έγιναν στις ΗΠΑ μελέτες για την ανάπτυξη ενός νέου συστήματος υπερβολικής ναυτιλίας παγκόσμιας κάλυψης. Η δημιουργία του συστήματος αυτού ολοκληρώθηκε περί τα τέλη της δεκαετίας του 1950 και έλαβε την ονομασία Omega. Το συγκεκριμένο σύστημα, λειτουργώντας στις συχνότητες VLF, επέτρεπε την εύρεση στίγματος σε οποιοδήποτε σημείο της υδρογείου, καθώς και κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας (για δέκτες εγκατεστημένους σε υποβρύχια). Το σύστημα OMEGA καταργήθηκε οριστικά το 1999, με την ωρίμανση του προγράμματος δορυφορικής ναυτιλίας GPS. Γενικότερα, η ανάδειξη του κλάδου της δορυφορικής ναυτιλίας, οδήγησε σταδιακά στο περιθώριο την χρήση των λοιπών ραδιοναυτλιακών βοηθημάτων. Σήμερα πλέον, μόνο το σύστημα LORAN βρίσκεται σε χρήση και σε συγκεκριμένες γεωγραφικές περιοχές.

Η κατά τη δεκαετία του 1970 εξέλιξη της ψηφιακής τεχνολογίας είχε σαν αποτέλεσμα την τεράστια βελτίωση των λειτουργικών και επιχειρησιακών δυνατοτήτων των κλασικών υπερβολικών συστημάτων ναυτιλίας (σχήμα 6). Οι νέοι δέκτες των υπερβολικών συστημάτων, συγκρινόμενοι με τους αντίστοιχους της παλαιότερης γενιάς, είχαν μικρότερες διαστάσεις και βάρος (σχήμα 6). Επιπρόσθετα, ήταν περισσότερο εύχρηστοι καθώς περιείχαν ενσωματωμένο μικροεπεξεργαστή και ψηφιακή οθόνη, με τη βοήθεια του οποίου ήταν δυνατή η επεξεργασία των λαμβανομένων σημάτων στο δέκτη και η άμεση (σε πραγματικό χρόνο) ένδειξη του στίγματος με τις γεωγραφικές συντεταγμένες, καθώς και η επίλυση διαφόρων ναυτλιακών προβλημάτων, όπως: ακολουθητέα πορεία για άφιξη σε διάφορα σημεία προορισμού, απόσταση και διόπτευση μεταξύ διαφόρων σημείων, επίλυση προβλημάτων λοξοδρομικού πλου, υπολογισμός πραγματικής ως προς το βυθό πορείας και ταχύτητας κλπ.

## **Κεφάλαιο 3**

### **ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗΣ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ**

#### **3.1. Εισαγωγή**

Τα πρώτα δορυφορικά συστήματα ναυσιπλοΐας αναπτύχθηκαν κατά τη δεκαετία του 1960 από τις ΗΠΑ και την Σοβιετική Ένωση (σύστημα NAVSAT/TRANSIT των ΗΠΑ και σύστημα TSIKADA της Σοβιετικής Ένωσης) για στρατιωτικές καταρχήν χρήσεις, παρέχοντας παγκόσμια κάλυψη ανεξάρτητα από τις επικρατούσες συνθήκες ορατότητας.

Παρά το γεγονός ότι τα πρώτα αυτά δορυφορικά συστήματα σχεδιάστηκαν για στρατιωτικές χρήσεις, μετά την πλήρη ανάπτυξή τους, διατέθηκαν και για διάφορες πολιτικές χρήσεις (ναυσιπλοΐα, αεροπλοΐα, γεωδαισία κλπ.), παραμένοντας σε χρήση μέχρι το τέλος της δεκαετίας του 1990 περίπου.

#### **3.2. Το Δορυφορικό Σύστημα NAVSAT /TRANSIT των ΗΠΑ**

Το 1959, το Πολεμικό Ναυτικό των ΗΠΑ ανέθεσε στο εργαστήριο εφαρμοσμένης φυσικής του πανεπιστημίου John Hopkins την δημιουργία ενός δορυφορικού συστήματος ναυτιλίας για την υποστήριξη των πυρηνικών του υποβρυχίων και συγκεκριμένα για την παροχή στίγματος μεγάλης ακρίβειας.

Το σύστημα αυτό ολοκληρώθηκε το 1963, με την επωνυμία NAVSAT (Navy Navigation Satellite System) / TRANSIT. Κατά τη χρήση του διαπιστώθηκε ότι το σύστημα δεν εξασφάλιζε την επιθυμητή ακρίβεια στίγματος και έτσι το 1967 αποδεδειγμένη για εμπορική χρήση. Εκτός από τη ναυσιπλοΐα, το NAVSAT/TRANSIT χρησιμοποιήθηκε και σε εφαρμογές όπως η αεροπλοΐα και η γεωδαισία [4].

Το σύστημα NAVSAT / TRANSIT είχε σχεδιαστεί να λειτουργεί με πέντε ή έξι δορυφόρους, οι οποίοι περιφέρονταν γύρω από τη γη σε πολικές τροχιές και ύψος 1100 περίπου χιλιόμετρα πάνω από την επιφάνειά της, με περίοδο περιφοράς 106 λεπτά. Τα τροχιακά επίπεδα των δορυφόρων του συστήματος είχαν σχεδιαστεί να τέμνονται στον άξονα περιστροφής της γης και να σχηματίζουν ίσες μεταξύ τους γωνιακές αποστάσεις (σχήμα 5α). Εντούτοις με την πάροδο του χρόνου τα επίπεδα αυτά απέκλιναν από την αρχική τους θέση (σχήμα 5β) και οι αντίστοιχοι δορυφόροι αντικαθίσταντο από νέους.

Με την παραπάνω διάταξη και περιφορά των δορυφόρων, κάθε σημείο της επιφάνειας της γης, λόγω της περιστροφής της τελευταίας γύρω από τον άξονά της, διερχόταν διαδοχικά κάτω από την τροχιά κάθε δορυφόρου και ο προσδιορισμός του ναυτιλιακού στίγματος ήταν εφικτός μόνο όταν υπήρχε διάβαση δορυφόρου πάνω από τον ορίζοντα, γεγονός που συνέβαινε κάθε 90 κατά μέσο όρο λεπτά (ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος). Η ακρίβεια του ναυτιλιακού στίγματος ήταν της τάξεως του ενός δέκατου του ναυτικού μιλίου (περίπου 180 μέτρα). Για τον ακριβή προσδιορισμό της πραγματικής τροχιάς και της ακριβούς θέσεως κάθε δορυφόρου του συστήματος, υπήρχαν τέσσερις επίγειοι σταθμοί παρακολουθήσεως, οι οποίοι κατέγραφαν τη μεταβολή της συχνότητας των δορυφορικών σημάτων και στη συνέχεια διαβίβαζαν τις πληροφορίες αυτές στο υπολογιστικό κέντρο, για περαιτέρω επεξεργασία. Οι πληροφορίες αυτές (Δορυφορικές Εφημερίδες και Δορυφορικό Αλμανάκ) διαβιβάζονταν κάθε 12 ώρες προς κάθε δορυφόρο του συστήματος, ο οποίος τις αποθήκευε στη μνήμη του και στη συνέχεια τις εξέπεμπε ανά 2 λεπτά ως ναυτιλιακό μήνυμα, για αξιοποίηση από τους δορυφορικούς δέκτες και την εξαγωγή του ναυτιλιακού στίγματος. Παρά το γεγονός ότι το σύστημα NAVSAT/TRANSIT παρείχε ακρίβεια θέσεως πολύ ικανοποιητική για τα δεδομένα της τότε εποχής (200 περίπου μέτρα), χαρακτηριζόταν από την ενδογενή αδυναμία της μη συνεχούς διαθεσιμότητάς του. Για τον καθορισμό του επόμενου ναυτιλιακού στίγματος μεσολαβούσαν μεγάλα χρονικά διαστήματα, τα οποία σε ορισμένες περιπτώσεις υπερέβαιναν το χρονικό διάστημα της μίας ώρας.



α. αρχικές (σχεδιασθείσες) τροχιές





### β. πραγματικές τροχιές

Σχήμα 5. Δορυφορικές τροχιές συστήματος NAVSAT/ TRANSIT [7].

Για τον ακριβή προσδιορισμό της πραγματικής τροχιάς και της ακριβούς θέσεως κάθε δορυφόρου του συστήματος, υπήρχαν τέσσερις επίγειοι σταθμοί παρακολούθησεως, οι οποίοι κατέγραφαν τη μεταβολή της συχνότητας των δορυφορικών σημάτων και στη συνέχεια διαβίβαζαν τις πληροφορίες αυτές στο υπολογιστικό κέντρο, για περαιτέρω επεξεργασία.

Οι πληροφορίες αυτές (Δορυφορικές Εφημερίδες και Δορυφορικό Αλμανάκ) διαβιβάζονταν κάθε 12 ώρες προς κάθε δορυφόρο του συστήματος, ο οποίος τις αποθήκευε στη μνήμη του και στη συνέχεια τις εξέπεμπε ανά 2 λεπτά ως ναυτιλιακό μήνυμα, για αξιοποίηση από τους δορυφορικούς δέκτες και την εξαγωγή του ναυτιλιακού στίγματος. Παρά το γεγονός ότι το σύστημα NAVSAT/TRANSIT παρείχε ακρίβεια θέσεως πολύ ικανοποιητική για τα δεδομένα της τότε εποχής (200 περίπου μέτρα), χαρακτηριζόταν από την ενδογενή αδυναμία της μη συνεχούς διαθεσιμότητάς του. Για τον καθορισμό του επόμενου ναυτιλιακού στίγματος μεσολαβούσαν μεγάλα χρονικά διαστήματα, τα οποία σε ορισμένες περιπτώσεις υπερέβαιναν το χρονικό διάστημα της μίας ώρας.

## **Κεφάλαιο 4**

# **ΨΗΦΙΑΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ**

### **4.1. Εισαγωγή**

Από τη δεκαετία του 1980 και έπειτα, δημιουργείται έτσι ένας νέος κλάδος της ηλεκτρονικής, ο κλάδος της Ψηφιακής Επεξεργασίας Σήματος. Ιδιαίτερα στη σύγχρονη εποχή, η τεχνολογία αυτή χαρακτηρίζεται από διαρκή ανάπτυξη. Οι εφαρμογές της επεκτείνονται σε κάθε σύστημα μεταφοράς, αποθήκευσης και επεξεργασίας πληροφορίας, όπως συστήματα επεξεργασίας δεδομένων σε συσκευές καθορισμού στίγματος, σε συστήματα παρακολούθησης κινητών οχημάτων, πλοίων, ανθρώπων, σε ραδιοεντοπιστικές (radar) και ηχοεντοπιστικές συσκευές (sonar), σε συστήματα επεξεργασίας ήχου και εικόνας, στις τηλεπικοινωνίες και τα ασύρματα ή ενσύρματα δίκτυα μεταφοράς δεδομένων.

Η ανάπτυξη του κλάδου της Ψηφιακής Επεξεργασίας Σήματος προήλθε από την επαναστατική πρόοδο που σημειώθηκε τόσο στην τεχνολογία των μικροεπεξεργαστών, όσο και στη δυνατότητα κατασκευής λογισμικού υψηλού επιπέδου για τον προγραμματισμό τους. Στην ψηφιακή τεχνολογία, κάθε σήμα προερχόμενο από οποιοδήποτε δέκτη συλλογής πληροφορίας, ηλεκτρομαγνητικής, ακουστικής ή οπτικής (εικόνα), μετατρέπεται σε μία ακολουθία αριθμών, που ουσιαστικά αποτελούν δείγματα του λαμβανόμενου σήματος. Αφού έχουμε να κάνουμε με ακολουθίες αριθμών, είναι εφικτό να χρησιμοποιήσουμε περαιτέρω κατάλληλα διαμορφωμένα μαθηματικά –λογικά μοντέλα, που εκτελούν την επιθυμητή επεξεργασία στους αριθμούς.

Η μαθηματική λογική λοιπόν, αποδίδεται μέσω μιας εφαρμογής λογισμικού σε εκατομμύρια εντολών που εκτελούνται σχεδόν ταυτόχρονα και σε ελάχιστο χρόνο από συστήματα μικροεπεξεργαστών, με την τελικά επεξεργασμένη πληροφορία να αποθηκεύεται σε συναφούς τεχνολογίας ψηφιακά μέσα αποθήκευσης (ψηφιακή μνήμη). Τα μέσα αυτά διαθέτουν τεράστια χωρητικότητα αποθήκευσης δεδομένων, η οποία χωρητικότητα χαρακτηρίζεται και αυτή από διαρκή τάση περαιτέρω αύξησης.

Συνοπτικά, τα πλεονεκτήματα που απορρέουν από την εφαρμογή τεχνικών επεξεργασίας σήματος είναι τα παρακάτω:

- Απαλοιφή θορύβου – αύξηση της αντοχής στα παράσιτα - θόρυβο και κατ' επέκταση αύξηση της εμβέλειας που είναι εκμεταλλεύσιμο ένα σήμα.
- Εντοπισμός και απομόνωση ιδιαιτέρων χαρακτηριστικών σήματος, δηλαδή αναγνώριση επιθυμητού σήματος μέσα από μία πληθώρα σημάτων.
- Συσχέτιση σήματος με τράπεζα δεδομένων και ένταξή του σε κατηγορία.
- Εκτέλεση με ψηφιακά φίλτρα, μεγάλης ακριβείας αυτόματης παρακολούθησης πλοίων, ταξινόμηση και εύρεση προτεραιότητας ως προς τον ελιγμό αποφυγής συγκρούσεως. Επιπλέον, βελτίωση της ακρίβειας του ίχνους και της τροχιάς των παραπλεόντων πλοίων.
- Βέλτιστη διαχείριση και επεξεργασία της πληροφορίας.
- Μείωση του κόστους του εξοπλισμού.

## **4.2. Δορυφορικά συστήματα ναυσιπλοΐας δεύτερης γενιάς [GPS – GLONASS]**

Από το τέλος της δεκαετίας του 1970 και κυρίως κατά την δεκαετία του 1980, άρχισε η υλοποίηση σχετικών προγραμμάτων των ΗΠΑ αλλά και της Σοβιετικής Ένωσης για τη δημιουργία δορυφορικών συστημάτων ναυσιπλοΐας δεύτερης γενιάς (συστήματα GPS και GLONASS αντιστοίχως).

Τα συστήματα αυτά καλύπτουν εκτός από τις ναυτιλιακές εφαρμογές και ένα ευρύ φάσμα επιπλέον (στρατιωτικών και πολιτικών) εφαρμογών και για τον λόγο αυτό είναι γνωστά ως συστήματα προσδιορισμού θέσεως, πλοηγήσεως και χρόνου [PNT Systems (Position, Navigation and Time Systems)].

## **4.3. Το Παγκόσμιο Δορυφορικό Σύστημα Προσδιορισμού Θέσεως GPS των ΗΠΑ**

Κατά το 1973 το υπουργείο άμυνας των ΗΠΑ, ενοποίησε δύο ανεξάρτητα προγράμματα του ναυτικού και της αεροπορίας στο πρόγραμμα αναπτύξεως ενός νέου δορυφορικού

συστήματος προσδιορισμού θέσεως, πλοηγήσεως και χρόνου υψηλών λειτουργικών προδιαγραφών και επιχειρησιακών δυνατοτήτων, γνωστού με την ονομασία “Παγκόσμιο Σύστημα Προσδιορισμού Θέσεως NAVSTAR GPS (NAVigation Satellite Timing And Ranging Global Positioning System). Οι βασικές λειτουργικές προδιαγραφές και επιχειρησιακές δυνατότητες που ελήφθησαν υπόψη για τον σχεδιασμό του συστήματος GPS είναι οι εξής:

Ο προσδιορισμός της θέσεως θα πρέπει να παρέχεται:

- σε οποιοδήποτε σημείο επάνω, ή κοντά στην επιφάνεια της γης, για την κάλυψη όλων των επιχειρησιακών απαιτήσεων του υπουργείου άμυνας των ΗΠΑ, καθώς και για πολιτικές χρήσεις,
- συνεχώς, χωρίς μεγάλες χρονικές διακοπές (οι διαδοχικές θέσεις του δέκτη προσδιορίζονται σε χρονικά διαστήματα λίγων δευτερολέπτων),
- αυτόνομα (χωρίς απαίτηση καταχώρησης στοιχείων από τον χρήστη),
- για απεριόριστο αριθμό δεκτών,
- παθητικά (χωρίς εκπομπή ραδιοσημάτων από τον χρήστη),
- ανεξάρτητα από τις καιρικές συνθήκες,
- με τη χρήση δεκτών πολύ μικρών διαστάσεων και βάρους,
- σε δύο διαφορετικά επίπεδα ακρίβειας για στρατιωτικές και πολιτικές χρήσεις αντιστοίχως.

Σύμφωνα με τα σχέδια ανάπτυξης, το νέο δορυφορικό σύστημα εκτός από τον καθορισμό θέσεως, θα έπρεπε να παρείχε και τα κάτωθι στοιχεία:

- ταχύτητα και πορεία σκάφους για κάλυψη αναγκών πλοηγήσεως,
- παγκόσμιο χρόνο UTC (Universal Time Coordinated), για κάλυψη αναγκών συγχρονισμού - συντονισμού τηλεπικοινωνιακών και λοιπών συστημάτων.

Οι βασικές αρχές λειτουργίας του συστήματος GPS είναι οι εξής:

- Χρησιμοποιεί 24 δορυφόρους.
- Οι δορυφόροι του συστήματος GPS περιστρέφονται σε ύψος 20.200 Km περίπου σε έξι τροχιακά επίπεδα.
- Οι τροχιές των δορυφόρων του συστήματος GPS έχουν σχεδιασθεί με τέτοιο τρόπο, ώστε σε οποιοδήποτε σημείο της γήινης επιφάνειας και σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή να λαμβάνονται σήματα τουλάχιστον από 4–10 δορυφόρους.

#### **4.4. Δορυφορικό Σύστημα GLONASS της πρώην Σοβιετικής Ένωσης**

Παράλληλα με την ανάπτυξη του συστήματος GPS η Σοβιετική Ένωση είχε σχεδιάσει ένα δορυφορικό σύστημα αντίστοιχων χαρακτηριστικών και δυνατοτήτων, γνωστό με το όνομα GLONASS (Global Navigation Satellite System). Η ανάπτυξη του συστήματος GLONASS άρχισε το 1982, το σύστημα τέθηκε σε επιχειρησιακή χρήση το έτος 1995 και εξακολουθεί να λειτουργεί και να υποστηρίζεται από τη Ρωσική Ομοσπονδία. Εν τούτοις το σύστημα GLONASS δεν παρέχει ακόμη ικανοποιητική συνεχή παγκόσμια κάλυψη χωρίς χρονικά κενά λόγω του περιορισμένου αριθμού διαθέσιμων δορυφόρων (μόνο 14 δορυφόροι βρίσκονταν σε επιχειρησιακή χρήση τον Σεπτέμβριο του 2008 και το κενό χρονικό διάστημα μεταξύ διαδοχικών χρόνων προσδιορισμού θέσεως είναι περίπου 3 ώρες).

#### **4.5. Ηλεκτρονικοί Χάρτες και Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών**

##### **Το σύστημα ECDIS**

##### **4.5.1.Εισαγωγή**

Ένας ιστορικός σταθμός στην εξέλιξη των μεθόδων ναυσιπλοΐας αποτελεί η κατά την δεκαετία του 1990 έκδοση από τον Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό και τον Διεθνή Υδρογραφικό Οργανισμό, πρωτοποριακών θεσμικών αποφάσεων, τεχνικών και λειτουργικών προδιαγραφών για την αξιοποίηση της τεχνολογίας των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών στη ναυσιπλοΐα με τη χρήση των Ηλεκτρονικών Ναυτιλιακών Χαρτών ENC (Electronic Navigational Charts) και των Συστημάτων ECDIS (Electronic Chart Display and Information System).

##### **4.5.2. Ηλεκτρονικοί Ναυτιλιακοί Χάρτες ENC (Electronic Navigational Charts)**

Ο αναλυτικός ορισμός του Ηλεκτρονικού Ναυτιλιακού Χάρτη ENC δίδεται στις λειτουργικές προδιαγραφές των συστημάτων ECDIS του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού [9] και είναι ο εξής: «*Ο Ηλεκτρονικός Ναυτιλιακός Χάρτης (Electronic Navigational Chart -*

ENC), είναι η τυποποιημένη ως προς το περιεχόμενο, τη δομή και τον τύπο (content, structure, format) βάση δεδομένων που κατασκευάζεται από τις κρατικές υδρογραφικές υπηρεσίες, για να χρησιμοποιηθεί με το σύστημα ECDIS. Ο Ηλεκτρονικός Ναυτιλιακός Χάρτης (ENC) περιέχει όλες τις αναγκαίες για την ασφαλή πλοήγηση χαρτογραφικές πληροφορίες και είναι δυνατό να περιέχει και επιπρόσθετες ως προς τον έντυπο χάρτη πληροφορίες (π.χ. Ναυτιλιακές Οδηγίες – Πλοηγοί), οι οποίες είναι δυνατό να θεωρηθούν απαραίτητες για την ασφάλεια της ναυσιπλοΐας». Σύμφωνα με τον παραπάνω ορισμό του IMO και τις λεπτομερείς τεχνικές προδιαγραφές των ENC's, οι ENC's δεν είναι απλοί ψηφιακοί χάρτες, αλλά μία εξελιγμένη βάση δεδομένων (Object Oriented Data Base) γεωγραφικών, ναυτιλιακών και λοιπών πληροφοριών, η οποία περιλαμβάνει 200 περίπου κλάσεις εξειδικευμένων ναυτιλιακών αντικειμένων, όπως π.χ. φάροι, ναυάγια, υποβρύχιοι αγωγοί κλπ. 200 περίπου περιγραφές (attributes) για την αναλυτική περιγραφή των παραπάνω 200 κλάσεων αντικειμένων.

Το βασικό πλεονέκτημα των Ηλεκτρονικών Ναυτιλιακών Χαρτών έναντι όλων των άλλων ψηφιακών χαρτών έγκειται στον ειδικό τρόπο σχεδιασμού της αντικειμενοστραφούς βάσης δεδομένων και το χρησιμοποιούμενο τυπολογικό μοντέλο διαύλου-κόμβων (chain-node model) για την εξειδικευμένη υποστήριξη των αναγκών της ναυσιπλοΐας.

### **4.5.3. Τα συστήματα ECDIS (Electronic Chart Display and Information System)**

Τα συστήματα Απεικόνισης Ηλεκτρονικού Χάρτη και Πληροφοριών ECDIS απεικονίζουν σε μία μόνο οθόνη όλες τις απαραίτητες για την ασφαλή εκτέλεση του πλου πληροφορίες (χαρτογραφικές και ναυτιλιακές πληροφορίες που περιέχονται στους ναυτικούς χάρτες και τις ναυτιλιακές εκδόσεις, σχεδιασθείσα πορεία, πραγματική πορεία, ακριβές στίγμα σε πραγματικό χρόνο, κλπ). Τα συστήματα ECDIS με τη βοήθεια του λογισμικού που διαθέτουν, παρέχουν τη δυνατότητα εκτέλεσης όλων των διαδικασιών και εργασιών που απαιτούνται για την προετοιμασία, σχεδίαση, εκτέλεση και υποτύπωση του πλου.

Πέραν των βασικών αυτών δυνατοτήτων τα συστήματα ECDIS διασυνδέονται με άλλα συστήματα, όπως το ραντάρ με σύστημα αυτομάτου υποτυπώσεως στόχων ARPA και το σύστημα AIS που παρουσιάζεται σε επόμενη ενότητα και με τον τρόπο αυτό παρέχουν πολύ μεγαλύτερες δυνατότητες.

## **4.6. Άλλα δορυφορικά συστήματα προσδιορισμού θέσεως πλοηγείσεως και Χρόνου**

Εκτός από τα βασικά δορυφορικά συστήματα ναυσιπλοΐας δεύτερης γενιάς, τα οποία έχουν σχεδιαστεί για παγκόσμια κάλυψη (GPS και GLONASS), έχουν δημιουργηθεί ή βρίσκονται στο στάδιο της υλοποίησης και διάφορα άλλα συμπληρωματικά, ή αυτόνομα δορυφορικά συστήματα προσδιορισμού θέσεως με παγκόσμια ή περιφερειακή (τοπική) γεωγραφική κάλυψη. Τα συμπληρωματικά δορυφορικά συστήματα προσδιορισμού θέσεως χρησιμοποιούν τα εκπεμπόμενα από τους δορυφόρους των αυτόνομων δορυφορικών συστημάτων (GPS GLONASS κλπ.) σήματα αλλά και άλλα συμπληρωματικά σήματα που εκπέμπονται από άλλους δορυφόρους και επιγείους σταθμούς. Τα κυριότερα από τα συμπληρωματικά και αυτόνομα δορυφορικά συστήματα αναφέρονται συνοπτικά στη συνέχεια.

### **4.6.1. Συμπληρωματικά δορυφορικά συστήματα (Augmentation Systems)**

Το σύστημα EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service), της Ευρωπαϊκής Ένωσης, το οποίο χρησιμοποιεί την υφιστάμενη υποδομή των δορυφόρων των συστημάτων GPS και GLONASS καθώς και ένα δίκτυο επίγειων σταθμών και ορισμένους γεωστατικούς δορυφόρους.

Το σύστημα WAAAS (Wide Area Augmentation System) στην περιοχή ΗΠΑ- Καναδά. Το σύστημα WAAS, όπως και το σύστημα EGNOS συμπληρώνει το σύστημα GPS με ένα δίκτυο επίγειων σταθμών και τρεις γεωστατικούς δορυφόρους επάνω από την περιοχή ΗΠΑ-Καναδά.

Τα συστήματα QZSS της Ιαπωνίας είναι ένα υπό ανάπτυξη συμπληρωματικό δορυφορικό σύστημα για την περιοχή της Ιαπωνίας, το οποίο έχει σχεδιαστεί να λειτουργεί με τρεις δορυφόρους σε περίπου πολικές τροχιές (Quasi Zenith Satellite System- QZSS).

#### **4.6.2. Αυτόνομα δορυφορικά συστήματα προσδιορισμού θέσεως**

Το σύστημα Galileo είναι το αναπτυσσόμενο από την Ευρωπαϊκή Ένωση και την Ευρωπαϊκή Διαστημική Υπηρεσία ESA (European Space Agency) νέο παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα ναυσιπλοΐας. Το σύστημα Galileo, όταν ολοκληρωθεί (το έτος 2013), θα αντικαταστήσει το σύστημα EGNOS. Το σύστημα Galileo έχει σχεδιασθεί ως ένα πολιτικό αυτόνομο παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα ναυσιπλοΐας, το οποίο θα παρέχει υπηρεσίες προσδιορισμού θέσεως υψηλής ακρίβειας της τάξεως του ενός μέτρου σε όλους τους πολιτικούς χρήστες χωρίς περιορισμούς. Επιπλέον το σύστημα θα παρέχει και άλλες υπηρεσίες, όπως υποστήριξη επιχειρήσεων έρευνας και διάσωσης.

Το σύστημα COMPASS, ή BEIDOU είναι το αναπτυσσόμενο από την Κίνα, αυτόνομο δορυφορικό σύστημα προσδιορισμού θέσεως πλοηγείσεως και χρόνου. Το σύστημα έχει σχεδιαστεί να λειτουργεί αρχικά με 5 γεωστατικούς δορυφόρους για επίτευξη αυτόνομης κάλυψης στην περιοχή της Κίνας με λιγότερους δορυφόρους από τα συστήματα GPS και GLONASS. Το σύστημα αυτό έχει ήδη τεθεί σε λειτουργία και είναι γνωστό με το όνομα BEIDOU-1. Η επόμενη φάση του προγράμματος προβλέπει την επέκταση του συστήματος με 30 επιπλέον δορυφόρους για την δημιουργία ενός συστήματος παγκόσμιας κάλυψης ανάλογης των συστημάτων GPS και GLONASS. Το νέο αυτό σύστημα είναι γνωστό με το όνομα BEIDOU-1, ή COMPASS.

#### **4.6.3. Εκσυγχρονισμός των συστημάτων GPS και GLONASS.**

Οι ΗΠΑ έχουν ανακοινώσει πρόγραμμα εκσυγχρονισμού του συστήματος GPS, προκειμένου να του προσδώσουν δυνατότητες ανάλογες με τις δυνατότητες του νέου ευρωπαϊκού συστήματος Galileo. Το νέο σύστημα GPS θα αποτελείται από δορυφόρους νεότερης τεχνολογίας (GPS-III), προκειμένου να αναβαθμισθούν οι παρεχόμενες για πολιτικές και στρατιωτικές χρήσεις υπηρεσίες. Ανάλογο πρόγραμμα εκσυγχρονισμού έχει ανακοινωθεί από τη Ρωσική ομοσπονδία για το σύστημα GLONASS. Το νέο σύστημα GLONASS θα αποτελείται από δορυφόρους νεότερης τεχνολογίας (GLONASS-M και GLONASS-K), προκειμένου να παρέχει αναβαθμισμένες υπηρεσίες για πολιτικές και στρατιωτικές χρήσεις ανάλογες των συστημάτων Galileo και GPS-III.



#### **4.7. Το παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα ναυσιπλοΐας GNSS (Global Navigational Satellite System)**

Τα δορυφορικά συστήματα GLONASS-M, Galileo, GPS-III καθώς και το υπό ανάπτυξη σύστημα COMPASS της Κίνας, έχουν σχεδιασθεί ως αυτόνομα συστήματα, κάθε ένα από τα οποία διαθέτει το δικό του ανεξάρτητο δορυφορικό σχηματισμό και το δικό του σύστημα επίγειων σταθμών. Εν τούτοις παράλληλα με την αυτονομία τους τα συστήματα αυτά προβλέπεται να έχουν έχουν διαλειτουργικές δυνατότητες (τουλάχιστον τα τρία πρώτα), οι οποίες επιτρέπουν στους χρήστες, εφόσον διαθέτουν τους κατάλληλους δέκτες να λαμβάνουν και να επεξεργάζονται δορυφορικά σήματα από οποιοδήποτε συνδυασμό δορυφόρων (Galileo, GPS, GLONASS). Με τον τρόπο αυτό οι χρήστες θα έχουν στην διάθεσή τους αντί των τριών ανεξάρτητων συστημάτων, ένα εικονικό ενιαίο παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα ναυσιπλοΐας, το οποίο θα χρησιμοποιεί 80 περίπου δορυφόρους, έναντι των 24-30 δορυφόρων που θα διαθέτει κάθε ένα από τα τρία αυτόνομα συστήματα (Galileo, GPS-III, GLONASS-M). Το εικονικό αυτό παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα ναυσιπλοΐας, αναφέρεται στη σχετική βιβλιογραφία με το όνομα GNSS (Global Navigational Satellite System).

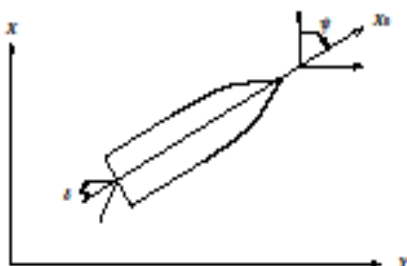
## Κεφάλαιο 5

### ΑΥΤΟΜΑΤΟΙ ΠΙΛΟΤΟΙ ΠΛΟΙΩΝ

#### 5.1. Εισαγωγή

Προκειμένου να διατηρείται η πορεία του πλοίου κατά την πλεύση σε επιθυμητή τιμή, χρησιμοποιείται αυτόματος πιλότος διατήρησης πορείας. Πρακτικά ο αυτόματος πιλότος διατηρεί την επιθυμητή πορεία του πλοίου μετατρέποντας τη γωνία διεύθυνσης  $\Psi$  και τη συγκρίνει με τη τιμή αναφοράς  $\Psi_d$  (Σχήμα 2).

Ως διάταξη μέτρησης της γωνίας  $\psi$  χρησιμοποιείται γυροσκοπική πυξίδα (gyrocompass). Ο ρυθμός μεταβολής της γωνίας (heading rate) λαμβάνεται από κατάλληλο αισθητήριο (rate sensor), από γυροσκόπιο, με διαφορίση του σήματος της γωνίας  $\psi$  ή ακόμη και με εκτίμηση της κατάστασης μέσω παρατηρητή (state observer).



Σχήμα 2: Η κίνηση του πλοίου στο οριζόντιο επίπεδο

Οι εξισώσεις κίνησης που προκύπτουν από την εφαρμογή των εξισώσεων της δυναμικής στερεού σώματος, (Abkowitz, 1964), δίνουν:

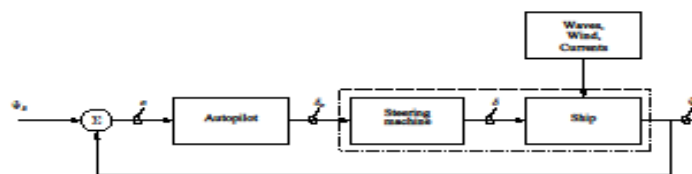
$$m (\dot{v} - v\dot{r} - xg\dot{r}^2) = X$$

$$m (\dot{v} + v\dot{r} + xg\dot{r}') = Y \quad (1)$$

$$I_z (\dot{v} + mxg(\dot{v} + ru)) = N$$

όπου  $m$  είναι η μάζα του πλοίου,  $v, u$  είναι οι ταχύτητες κατά τις  $x, y$  συντεταγμένες αντίστοιχα,  $\dot{r} = d/dt$  η ταχύτητα,  $I_z$  είναι η ροπή αδράνειας κατά τον άξονα  $z$ ,  $xg$  είναι η θέση του κέντρου μάζας,  $X, Y$  είναι οι υδροδυναμικές δυνάμεις και  $N$  είναι οι υδροδυναμικές ροπές.

Ένας αυτόματος πιλότος ρυθμίζεται κατάλληλα προκειμένου να επιτύχει ικανοποιητική απόδοση σε διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας. Ρυθμίσεις χρειάζονται για να ληφθούν υπόψη οι επιδράσεις από τον αέρα, τα θαλάσσια κύματα, τα ρεύματα, την ταχύτητα το πλοίου, το βάθος του νερού και άλλα. Οι ρυθμίσεις είναι χρονοβόρες και δαπανηρές. Είναι αποδεκτό ότι οι αυτόματοι πιλότοι δεν λειτουργούν αποτελεσματικά σε κακό καιρό ή μετά από αλλαγή ταχύτητας πλεύσης. Επίσης έχουν παρατηρηθεί προβλήματα σε μεγάλες πηδαλιουχίες. Αίτια αυτών των δυσλειτουργιών είναι οι ακατάλληλες ρυθμίσεις ή η απλουστευτική προσέγγιση του προβλήματος με έλεγχο PID. Τέτοιου είδους προβλήματα αντιμετωπίστηκαν με επιτυχία, κάνοντας χρήση αυτόματου πιλότου αυτοπροσαρμοζόμενων παραμέτρων (self-tuning autopilots), όπου ο ΑΠ διαθέτει την δυνατότητα προσαρμογής των παραμέτρων του λαμβάνοντας υπόψη τις συνθήκες λειτουργίας.



Σχήμα 1: Διάταξη αυτόματου πιλότου πορείας πλοίου

Για την αυτοματοποίηση στην ναυσιπλοΐα, δηλαδή για το αυτόματο πιλοτάρισμα των πλοίων, περιγράφονται συγκεκριμένοι μικροεπεξεργαστές, που χρησιμοποιούνται σε διάφορες περιπτώσεις αυτόματης πλοήγησης. Οι διατάξεις αυτές φέρουν μικροεπεξεργαστές, που υλοποιούν την αυτόματη πλοήγηση του πλοίου, σε περιπτώσεις που αυτό είναι αναγκαίο.

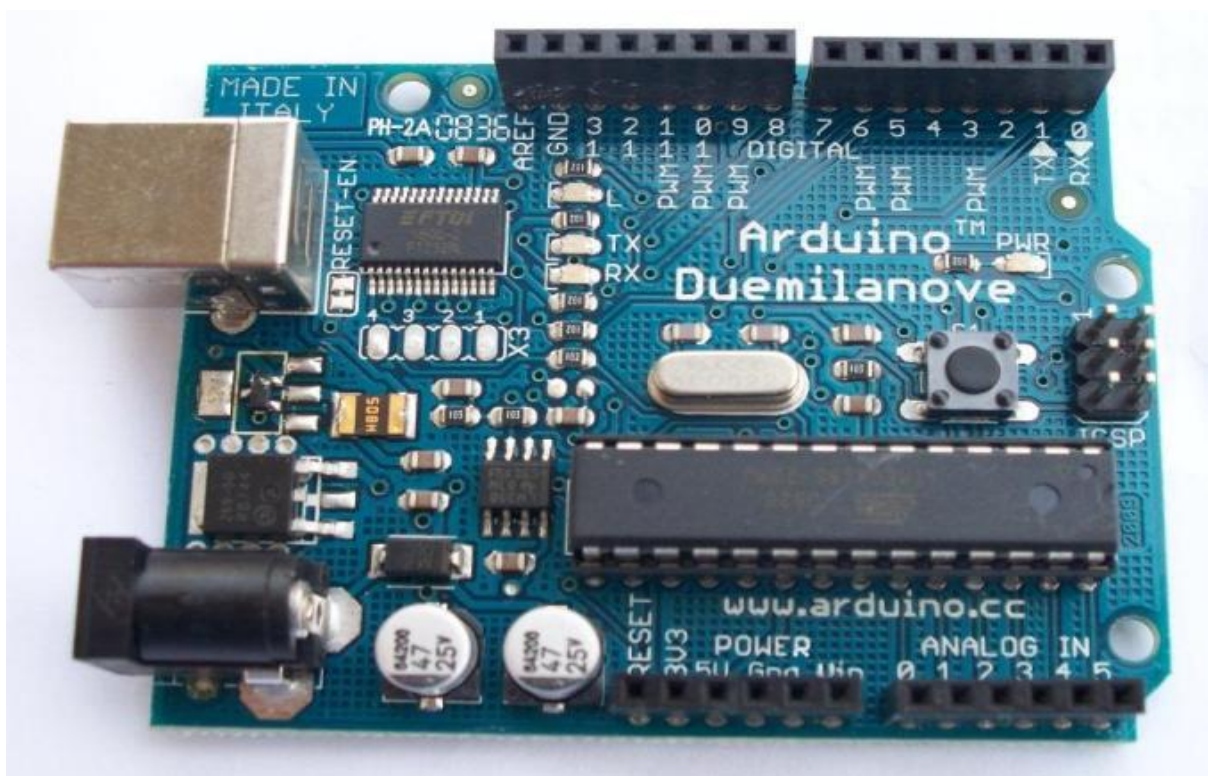
## 5.2. Arduino Duemilanove

Πρόκειται για μια πλατφόρμα μικροεπεξεργαστή βασισμένη στον μικροεπεξεργαστή ATmega328. Έχει 14 ψηφιακές εισόδους/εξόδους, εκ των οποίων οι 6 μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως εξοδοί PWM σήματος. Ακόμα έχει 6 αναλογικές εισόδους, έναν 16MHz κρύσταλλο ταλαντωτή, μια σύνδεση usb, μία είσοδο τάσης, ένα ICSP header και ένα κουμπί reset.

### Χαρακτηριστικά :

Μικροεπεξεργαστής	AT mega328
Τάση εισόδου	5V
Προτεινόμενη τάση εισόδου	7-12 V
Ταση εισόδου (όρια)	6-20 V
Ψηφιακές εισοδοι	14( από τα οποία τα 6 παρέχουν PWM είσοδο)
Αναλογικές εισοδοι	6
DC ρεύμα για είσοδο/έξοδο	40Ma
DC ρεύμα για έξοδο 3.3 V	50Ma
Μνήμη FLASH	32 KB(ATmega328)
SRAM	2KB(ATmega328)
EEPROM	1KB(ATmega328)
Συχνότητα ρολογιού	16 MHz

Στο παρακάτω σχήμα 13 παρουσιάζεται η διάταξη ενός τέτοιου συστήματος.



Σχήμα 13. Η πλατφόρμα Arduino Duemilanove.

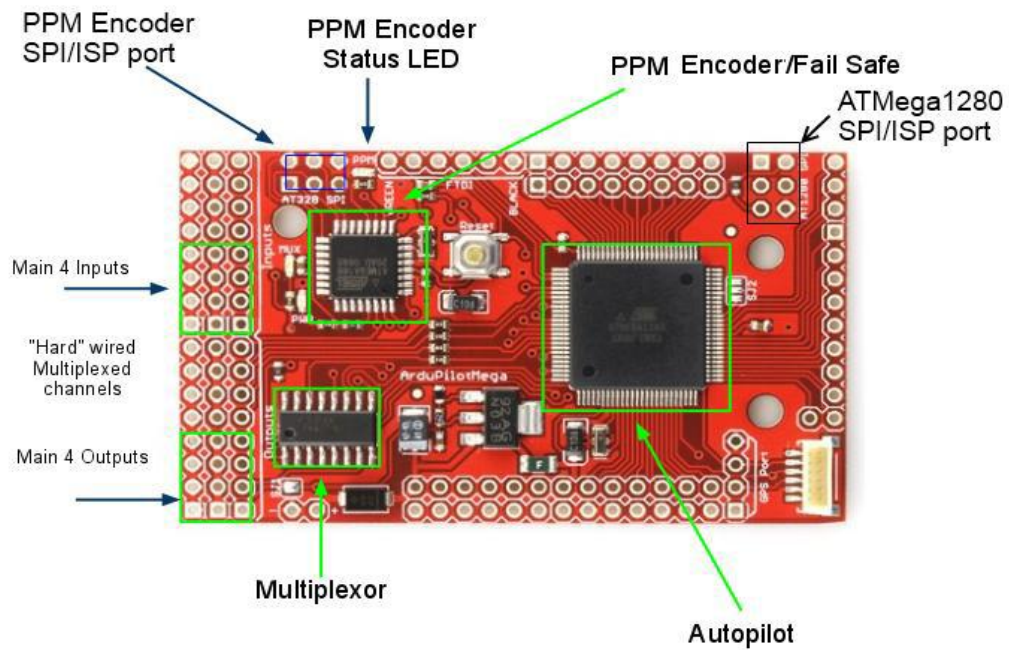
Μερικές από τις ψηφιακές εισόδους/εξόδους έχουν εξειδικευμένες λειτουργίες. Τα pins 0 (RX) και 1 (TX) χρησιμοποιούνται για να λαμβάνουν και να στέλνουν, αντίστοιχα, δεδομένα σειριακά. Είναι συνδεδεμένα με τα αντίστοιχα pins του FTDI USB-to-TTL Serial chip και δεν λειτουργούν όταν η πλατφόρμα είναι συνδεδεμένη μέσω της θύρας usb. Ακόμα τα pins 2 και 3 χρησιμοποιούνται για εξωτερικά interrupts, τα 10,11,12,13 για SPI επικοινωνία, ενώ τα αναλογικά pins A4 (SDA) και A5 (SCL) για I2C επικοινωνία.

Τροφοδοτείται με σταθερά 5V που παρέχονται από ένα voltage regulator στο 5V pin. Ο Arduino Duemilanove έχει τον ρόλο του συλλέκτη δεδομένων από τους 5 infrared proximity sensors. Οι αισθητήρες αυτοί έχουν αναλογική έξοδο, για αυτό και συνδέονται στις αναλογικές εισόδους, 0 έως 5, της πλατφόρμας. Ο επεξεργαστής παίρνει μετρήσεις των τιμών των εξόδων των αισθητήρων.

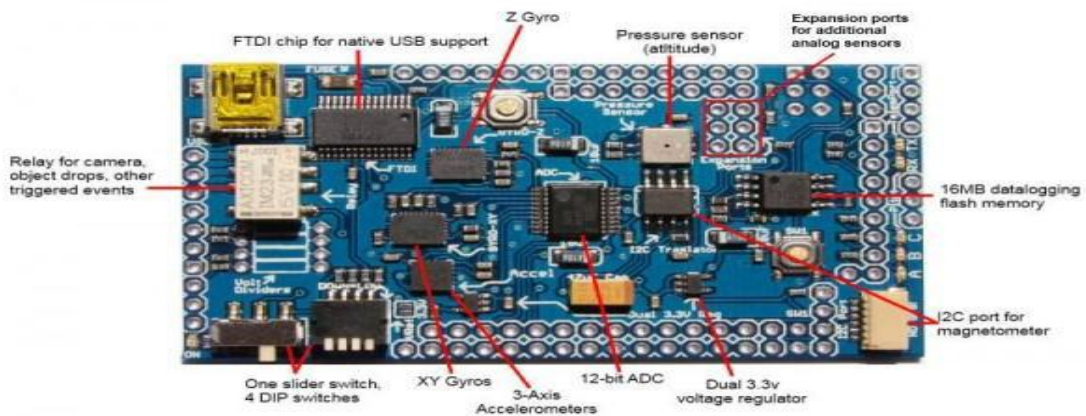
Στη συνέχεια δημιουργεί ένα πακέτο δεδομένων που αποτελείται από ένα χαρακτήρα αρχής (header), τις μετρήσεις ανά δύο διαχωρισμένες από ένα χαρακτήρα (delimiter) και μετά την τελευταία μέτρηση, το άθροισμα των μετρήσεων, για λόγους ελέγχου της ορθότητας του πακέτου που αποστέλλεται, και ένα χαρακτήρα τέλους (footer) . Το πακέτο δεδομένων αυτό το στέλνει σειριακά και ασύγχρονα (όποτε έχει έτοιμα τα δεδομένα) μέσω του pin 1 (TX) στο pin (RX) του Ardupilot Mega. Χωρίς προγραμματιστικές τροποποιήσεις θα μπορούσε να συλλέγει δεδομένα από άλλους αισθητήρες με αναλογικές εξόδους, όπως από κάποιο ανεμόμετρο ή βαρόμετρο, αρκεί βέβαια το σήμα τους να μην ξεπερνούσε τα 40mA ρεύμα και τα 5V τάση .

### **5.3. Ardupilot Mega 1**

Πρόκειται για έναν autopilot βασισμένο σε IMU (inertial measurement unit). Αποτελείται από μία πλατφόρμα βασισμένη στον επεξεργαστή ATmega2560 (Microcontroller Board) και μία πλατφόρμα η οποία έχει διάφορους αισθητήρες, χρησιμοποιείται σαν inertial measurement unit (IMU) και τοποθετείται πάνω την πρώτη. Φαίνονται παρακάτω η καθεμία ξεχωριστά με επεξηγήσεις των pins και των chips τους, αλλά και συνδεδεμένες ως Ardupilot Mega 1.



Σχήμα 14. Microcontroller Board



Σχήμα 15. IMU Shield



Σχήμα 16. Ardupilot Mega 1

Τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά του Ardupilot Mega 1 είναι :

➤ 8 αναλογικές εισοδοι, οι οποίες μπορούν να συνδεθούν με τις εξόδους ενός δέκτη συστήματος τηλεκατεύθυνσης. Με αυτό τον τρόπο ο autopilot παίρνει τα control actions των actuators ή κάποιο set point. Για τα πειράματά δεν χρησιμοποιήθηκε καμία αναλογική είσοδο, καθώς τα control actions δίνονται μέσω ασύρματου δικτύου IEEE 802.15.4 .

➤ 8 αναλογικές εξοδοι, μέσω των οποίων παρέχεται PWM σήμα στους ελεγκτές των κινητήρων και στους σερβοκινητήρες του οχήματος. Χρησιμοποιήθηκαν οι εξοδοι 5 και 6 για τον έλεγχο του κινητήρα της προπέλας και του σερβοκινητήρα του πηδαλίου, αντίστοιχα.

➤ Η τροφοδοσία συνδέεται σε οποιαδήποτε αναλογική είσοδο ή έξοδο στα αντίστοιχα βέβαια pins της τάσης και της γείωσης.

➤ 4 serial ports, που χρησιμοποιούνται ως εξής :

Port 0	USB
Port 1	GPS
Port 2	Dataflash
Port 3	Xbee Telemetry

- I2C port για σύνδεση μαγνητομέτρου ή όποιου άλλου αισθητήρα έχει τη δυνατότητα σύνδεσης I2C.
- Διάφοροι αισθητήρες: XY gyro, Z gyro, 3-axis accelerometer, Pressure sensor, 3 expansion ports for extra analog sensors.

Μετρήσεις από τα gyros και το accelerometer σε συνδυασμό με μετρήσεις από το magnetometer χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του προσανατολισμού, του roll και του pitch του πλοίου. Σημειώνεται ότι ο προσανατολισμός δίνεται ως γωνία απόκλισης της πλώρης από την διεύθυνση που δείχνει προς το μαγνητικό βορρά. Ο ρόλος του Ardupilot Mega 1 είναι να διαχειρίζεται τις μετρήσεις από τους αισθητήρες και τις ενέργειες ελέγχου.



## **Κεφάλαιο 6**

### **ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Παρά τις συνεχείς εξελίξεις της τεχνολογίας, οι βασικές αρχές και ανάγκες της ναυσιπλοΐας παραμένουν διαχρονικά αναλλοίωτες και συνοψίζονται στην αποφυγή προσάραξης, αποφυγή σύγκρουσης και αποφυγή ζημιών λόγω δυσμενών καιρικών συνθηκών. Οι μόνες αλλαγές που δημιουργούνται με τη πάροδο του χρόνου είναι ο εκσυγχρονισμός των χρησιμοποιούμενων μεθόδων και των διατιθέμενων μέσων για την επίτευξη των προαναφερθέντων βασικών σκοπών (αποφυγή προσάραξης, σύγκρουσης και ζημιών λόγω καιρικών συνθηκών). Ο εκσυγχρονισμός των μεθόδων ναυσιπλοΐας και η ανάπτυξη εξελιγμένων συστημάτων για την αυτοματοποίηση των εργασιών και διαδικασιών της παραδοσιακής ναυτιλίας για την προετοιμασία εκτέλεση και υποτύπωση του πλου, σε καμία περίπτωση δεν μετατρέπει τον ρόλο του αξιωματικού φυλακής γέφυρας σε απλό χειριστή για την παρακολούθηση και καταγραφή της κατάστασης σε ένα πλήρως αυτοματοποιημένο σύστημα. Απεναντίας η χρησιμο- ποίηση αυτοματοποιημένων μεθόδων απαιτεί υψηλό βαθμό επαγγελματικής κατάρτισης, ετοιμότητας και εγρήγορσης για την επιλογή, την αξιολόγηση και την κατάλληλη αξιοποίηση των απαραίτητων στοιχείων και πληροφοριών που διατίθενται από τα σύγχρονα ολοκληρω- μένα συστήματα ναυτιλίας INS και ολοκληρωμένα συστήματα γέφυρας IBS.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Thor I. Fossen, Marine Control Systems: Guidance, Navigation and Control of Ships, Rigs and Underwater Vehicles, 2002
2. T. I. Fossen, Guidance and Control of Ocean Vehicles, John Wiley & Sons, 1994
3. Ψύλλας Α. “Ραδιοναυτιλιακά Βοηθήματα”. Αθήναι 1961.
4. Billur Barshan. “Gyroscopes” in Wiley Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering. p 547. 2007. John Wiley & Sons, Inc.
5. C.Powell. 1981. “Hyperbolic Origins”, Journal of Navigation vol 34. no 3. London. Royal Institute of Navigation. p. 424.
6. International Hydrographic Bureau. SP 39. “Radio Aids to Maritime Navigation and Hydrography. Chapter II Decca”. Monaco. Febr 1962
7. Bowditch, “The American Practical Navigator”, DMA 1977.
- 8 Paul Williams ed al. (2008) “e-Navigation and the Case for e-Loran”, Journal of Navigation vol 61, p473–484.
9. International Maritime Organization, IMO Resolution MSC.232(82) “Revised Performance Standards for Electronic Chart Display and Information Systems (ECDIS)”, adopted on 5 December 2006, MSC82/24/Add.2/Annex 24.
10. International Hydrographic Organization: “Transfer Standard for Digital Hydrographic Data”, Special Publication No. 57, IHO S-57, Edition 3.1 - November 2000.
- 11 Παλληκάρης Α, “Συστήματα Ηλεκτρονικού Χάρτη”. ΣΝΔ 2006.
- 12 “Handbook on the Global Maritime Distress and Safety System”. 3rd Edition. 2001. IMO London, 2001.
- 13 .“Global Maritime Distress and Safety System”. NP 285. UK Hydrographic Office. 2002.
- 14 Ιστοσελίδα <http://www.jotron.com>
15. IMO Resolution MSC.74(69), Annex 3, “Recommendation on performance standards for a universal Shipborn Automatic Identification System (AIS)”. www.imo.org
14. IALA Guideline No. 1028 “On The Automatic Identification System (AIS)” Volume 1, Part I “Operational Issues” International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities Edition 1.3 December 2004
15. Ιστοσελίδα <http://www.imo.org> (International Maritime Organization)
16. Ιστοσελίδα <http://www.iho.shom.fr> (International Hydrographic Organization)
- 17 .Ιστοσελίδα <http://www.iala-aism.org> (International Association of Marine Aids to

Navigation and Lighthouse Authorities)

18. IMO Resolution MSC.86(70), Annex 3, “*Recommendation on performance standards for an Integrated Navigation Systems (INS)*”. [www.imo.org](http://www.imo.org)

19. IMO Resolution MSC.64(67), Annex 1, “*Recommendation on performance standards for Integrated Bridge Systems (IBS)*”. [www.imo.org](http://www.imo.org)

20. IMO SN Cir. 265. “*Guidelines on the application of SOLAS Regulation V/15 to INS, IBS and Bridge Design*”. October 2007

21. “Development of an e-Navigation Strategy” IMO. Sub-Committee on safety of Navigation. NAV 54/13 28 March 2008

22. Ιστοσελίδα [http:// www.iho-ohi.net/english/committees-wg/committees-workinggroups-overview.html](http://www.iho-ohi.net/english/committees-wg/committees-workinggroups-overview.html)

23. IALA/AISM 16th Conference. 2006. “*Aids to navigation in a digital world*”, Keynote address by Efthimios E. Mitropoulos, Secretary-General of the International Maritime Organization, Shanghai, 22 May 2006.

24. <http://www.arduino.cc/>

25.. <http://code.google.com/p/ardupilot-mega/wiki/home>

26. <http://diydrones.com/profiles/blogs/ardupilot-main-page/>

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη .....	1
Abstract.....	2
Πρόλογος.....	3
<u>Κεφάλαιο 1</u> ΝΑΥΣΙΠΛΟΪΑ, ΠΛΟΗΓΗΣΗ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΠΛΟΙΩΝ... 4	4
1.1 Ιστορική αναδρομή.....	4
1.2 Αρχή της Ναυσιπλοΐας, της Πλοήγησης και του Ελέγχου Κατεύθυνσης πλοίων.....	6
<u>Κεφάλαιο 2</u> ΥΠΕΡΒΟΛΙΚΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑ-PANTAP.....	8
2.1 Ραντάρ.....	8
2.2 Υπερβολική ναυτιλία.....	9
<u>Κεφάλαιο 3</u> ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗΣ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ.....	13
3.1 Εισαγωγή.....	13
3.2 Δορυφορικά συστήματα NAVSAT/TRANSIT των ΗΠΑ.....	13
<u>Κεφάλαιο 4</u> ΨΗΦΙΑΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ.....	16
4.1 Εισαγωγή.....	16
4.2 Δορυφορικά συστήματα ναυσιπλοΐας δεύτερης γενιάς (GPS-GLONASS).....	17
4.3 Το παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα προσδιορισμού θέσεως GPS των ΗΠΑ.....	17
4.4 Δορυφορικό σύστημα GLONASS της πρώην Σοβιετικής Ένωσης.....	18
4.5 Ηλεκτρονικοί χάρτες και γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών. Το σύστημα ECDIS... 19	19
4.5.1 Εισαγωγή.....	19
4.5.2 Ηλεκτρονικοί ναυτιλιακοί χάρτες ENC (Electronic Navigation Charts).....	19
4.5.3 Το σύστημα ECDIS (Electronic chart Display and Information System).....	20
4.6 Άλλα δορυφορικά συστήματα προσδιορισμού θέσεως πλοηγείσεως και χρόνου.....	21
4.6.1 Συμπληρωματικά δορυφορικά συστήματα (Augmentation systems).....	21
4.6.2 Αυτόματα δορυφορικά συστήματα προσδιορισμού θέσεως.....	22
4.6.3 Το παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα ναυσιπλοΐας.....	22
4.7. Το παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα ναυσιπλοΐας GNSS (Global Navigational Satellite System).....	23
<u>Κεφάλαιο 5</u> ΑΥΤΟΜΑΤΟΣ ΠΙΛΟΤΟΣ ΠΛΟΙΩΝ.....	24
5.1 Εισαγωγή.....	24
5.2 Arduino Duemilanove.....	25
5.3 Ardupilot Mega1.....	27
<u>Κεφάλαιο 6</u> Συμπεράσματα.....	31
Βιβλιογραφία.....	32

