

Σχεδίαση και Υλοποίηση Ενσωματωμένου Συστήματος Πραγματικού Χρόνου για Ιχνηλάτηση Κατευθυντικών Κεραιών από Κινούμενο Όχημα



Σταύρος Αποστολάκης

Σχολή Ηλεκτρονικών Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών

Πολυτεχνείο Κρήτης

Καθηγητής Απόστολος Δόλλας (ΗΜΜΥ)

Καθηγητής Διονύσιος Πνευματικάτος (ΗΜΜΥ)

Αναπληρωτής Καθηγητής Ιωάννης Παπαευσταθίου (ΗΜΜΥ)

Μεταπτυχιακό Δίπλωμα Ειδίκευσης

Χανιά 2016

Ευχαριστίες

Από ψυχής θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου κ.Απόστολο Δόλλα για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε και μου ανέθεσε το συγκεκριμένο θέμα ως μεταπτυχιακή εργασία. Για την εποικοδομητική συνεργασία την οποία είχαμε και για την άμεση και συνεχή διαθεσιμότητα όποτε τον χρειαζόμουν για ερωτήσεις και την επίλυση αποριών. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ.Διονύσιο Πνευματικάτο, Καθηγητή, και τον κ.Ιωαννη Παπαευσταθίου, Αναπλήρωτη Καθηγητή, για την συμμετοχή τους ως μέλη της εξεταστικής επιτροπής. Επιπλέον να ευχαριστήσω τον κ.Ευριπίδη Σωτηριάδη, Μεταδιδασκτορικός, για τις πολύτιμες συμβουλές του και την βοήθεια που μου παρείχε για την εύρεση και παραγγελία του αναγκαίου εξοπλισμού που χρειαζόμουν για την διατριβή. Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ.Μάρκο Κιμιωνή, ΕΕΔΙΠ, για την υλικοτεχνική υποστήριξη που μου παρείχε όποτε την είχα ανάγκη και για την προσωπική του ενασχόληση και εργασία για την κατασκευή των εξαρτημάτων που χρειάστηκα. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους προπτυχιακούς και μεταπτυχιακούς φοιτητές του εργαστηρίου για την βοήθεια που μου παρείχαν σε οποιοδήποτε πρόβλημα προέκυπτε στο οποίο μπορούσαν να συνεισφέρουν με την εμπειρία τους και την καλή τους διάθεση.

Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή	1
1.1	Περιγραφή του Προβλήματος	1
1.2	Σχετική Έρευνα	2
1.3	Συνεισφορά της Διατριβής	5
1.4	Περιγραφή της Διατριβής	6
2	Μελέτη & Μοντελοποίηση	8
2.1	Εισαγωγή	8
2.2	Επιλογή Γεωγραφικής Περιοχής	9
2.3	Αρχιτεκτονική Ασύρματου Δικτύου	9
2.4	Επιλογή Σταθμού Βάσης	11
2.5	Ανάλυση Κίνησης	12
2.5.1	Οριζόντια Γωνία Περιστροφής	13
2.5.2	Κατακόρυφη Γωνία Περιστροφής	14
2.6	Καμπυλότητα της Γης	15
3	Αρχιτεκτονική & Υλικό Συστήματος	16
3.1	Εισαγωγή	16
3.2	Αρχιτεκτονική Υποσυστήματος Στεριάς	16
3.3	Αρχιτεκτονική Υποσυστήματος Πλοίου	17
3.3.1	Α.Υ.Π - Έκδοση 1	17
3.3.2	Α.Υ.Π - Έκδοση 2	18
3.3.3	Α.Υ.Π - Έκδοση 3	19
3.4	Παρουσίαση Υλικού	20
3.4.1	Διάταξη GPS	20
3.4.2	Βάση Περιστροφής	22
3.4.3	Ενσωματωμένο Σύστημα Ελέγχου	25
3.4.3.1	Μικροελεγκτής AVR	25
3.4.3.2	Αναπτυξιακή Πλακέτα STK-500	26
3.4.3.3	Μετατροπέας RS232/485	27
3.4.3.4	RS232 Driver	27
3.4.3.5	Πυξίδα CMPS01	28
3.4.4	Σταθμός Βάσης Στεριάς	29

4	Λειτουργικότητα Συστήματος	30
4.1	Εισαγωγή	30
4.2	Διάγραμμα Ροής Πρώτης Γενιάς	31
4.3	Διάγραμμα Ροής Δευτερης Γενιάς	32
4.4	Διάγραμμα Ροής Τρίτης Γενιάς	33
4.5	Λειτουργία ανά Διεργασία	34
4.5.1	Αρχικοποίηση Συστήματος	35
4.5.2	Λήψη Εντολής GPS	35
4.5.3	Έλεγχος Ορθότητας Εντολής GPS	37
4.5.4	Αποκωδικοποίηση Εντολών GPS	38
4.5.5	Γεωδαιτικοί Υπολογισμοί	39
4.5.6	Λήψη & Έλεγχος Δεδομένων Πυξίδας	41
4.5.7	Παραγωγή Εντολής PELCO D	41
5	Δοκιμές Συστήματος	43
5.1	Εισαγωγή	43
5.2	Δοκιμές Εξοπλισμού Δικτύωσης	43
5.3	Δοκιμές Ενσωματωμένου Συστήματος	44
5.4	Δοκιμές σε Κινούμενο Όχημα	46
5.5	Δοκιμές στο Πλοίο	48
6	Συμπεράσματα	53
A	Πρωτόκολλο NMEA 1083	59
B	Σύστημα Γεωγραφικών Συντεταγμένων	67
Γ	Απεικόνιση Γεωγραφικών Συντεταγμένων	69
Δ	Υπολογισμός Απόστασης με την Χρήση Γεωγραφικών Συντεταγμένων	72
Ε	Σύστημα Παγκόσμιου Εντοπισμού Θέσης (GPS)	78
Z	Οδηγός Συστήματος	80

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

1.1 Περιγραφή του Προβλήματος

Η επιβατική ναυτιλία αποτελεί έναν από τους βασικούς παράγοντες ανάπτυξης της παγκόσμιας οικονομίας καθώς διευκολύνει την μετακίνηση των ανθρώπων και των εμπορευμάτων μεταξύ των παράκτιων περιοχών και των νησιών, συμβάλλοντας έτσι στην αύξηση της οικονομικής δραστηριότητας, των εμπορικών συναλλαγών και της ανάπτυξης του τουρισμού. Στον συγκεκριμένο κλάδο της ναυτιλίας η κατηγορία των πλοίων που χρησιμοποιείται είναι τα επιβατικά (passenger ships), τα οποία έχουν ως βασικό χαρακτηριστικό την μεταφορά μεγάλου αριθμού ανθρώπων κι οχημάτων.

Σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά που περιγράψαμε παραπάνω, οι υπηρεσίες εποπτείας κι ασφαλείας των θαλασσιών συγκοινωνιών επιβάλλουν σε πλοία αυτής της κατηγορίας να τηρούν αυστηρούς κανόνες ασφαλείας και λειτουργίας για την αποφυγή κάποιου ατυχήματος. Στα πλαίσια αυτών των κανόνων ασφαλείας και λειτουργίας μία από τις υποχρεώσεις των πλοίων είναι να μπορούν βρίσκονται σε συνεχή και αδιάκοπη επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο με τις κρατικές υπηρεσίες ασφαλείας, τους φορείς εποπτείας της ναυσιπλοΐας, με άλλα παραπλέοντα πλοία και τέλος με την πλοιοκτήτρια εταιρία στην οποία αυτά ανήκουν.

Η βασική τεχνολογία που χρησιμοποιείται για την εξυπηρέτηση της παραπάνω ανάγκης είναι η ασύρματη επικοινωνία μέσω ραδιοσυχνοτήτων *VHF/UHF*, καθώς η συγκεκριμένη μέθοδος παρέχει την δυνατότητα να γίνονται εκπομπές μετάδοσης σε αρκετά μεγάλες αποστάσεις. Η εναλλακτική μέθοδος η οποία χρησιμοποιείται για την κάλυψη της παραπάνω ανάγκης είναι η τεχνολογία της δορυφορικής ζεύξης.

Η τεχνολογία της δορυφορικής ζεύξης προσφέρει μεγαλύτερο εύρος φάσματος (bandwidth) σε σύγκριση με την τεχνολογία *VHF/UHF* και παρέχει πρακτικά απεριόριστη εμβέλεια στον χρήστη. Το κοινό χαρακτηριστικό των δύο τεχνολογιών είναι ότι χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο για την μετάδοση σημάτων φωνής. Εκτός όμως από το προαναφερθέν σκοπό οι παραπάνω τεχνολογίες χρησιμοποιούνται και για άλλου είδους υπηρεσίες όπως είναι η συλλογή δεδομένων από διάφορα συστήματα ή αισθητήρες του πλοίου και την μετάδοση αυτών των δεδομένων σε σταθμούς επεξεργασίας στην στεριά.

Πλην όμως των υπαρχόντων υπηρεσιών η μαζική εξάπλωση των φορητών έξυπνων συσκευών με δυνατότητα σύνδεσης σε ασύρματα δίκτυα WiFi, έχει οδηγήσει τις ναυτιλιακές εταιρίες να επιθυμούν να παρέχουν προς τους επιβάτες τους συνεχή κι αδιάκοπη σύνδεση στο διαδίκτυο ώστε να απολαμβάνουν διάφορες τις διαδικτυακές υπηρεσίες όπως είναι το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο (e-mail) και τα δίκτυα κοινωνικής δικτύωσης (social media) κ.τ.λ.

Όμως αυτού του είδους οι υπηρεσίες απαιτούν μεγάλο εύρος φάσματος (bandwidth) και ανταλλαγή μεγάλου όγκου δεδομένων με αποτέλεσμα η χρήση της δορυφορικής ζεύξης να αδυνατεί να ανταπεξέλθει από έναν αριθμό χρηστών και μετά. Συνεπώς σε μία προσπάθεια να υπάρξει αποσυμφόρηση της δορυφορικής ζεύξης και ταυτόχρονα να παρέχεται σε μεγαλύτερο αριθμό επιβατών το σύνολο των διαδικτυακών υπηρεσιών, οι εταιρίες αναζητούν άλλου είδους τεχνολογικές λύσεις που να προσφέρουν υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης, με την μέγιστη δυνατή αξιοπιστία για μεγάλες αποστάσεις σε θαλάσσιο περιβάλλον.

1.2 Σχετική Έρευνα

Κατά το παρελθόν έχουν υπάρξει ερευνητικές εργασίες οι οποίες έχουν διερευνήσει τις τεχνολογικές δυνατότητες που υπάρχουν για την παροχή υπηρεσιών ίντερνετ σε πλοία. Οι εργασίες αυτές έχουν ασχοληθεί με την γενική ανασκόπηση των υπαρχόντων τεχνολογιών και των δυνατοτήτων που αυτές παρέχουν, τα πρωτόκολλα δικτύωσης που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την βελτιστοποίηση των υπηρεσιών ίντερνετ, τις τεχνικές δυσκολίες και τις προκλήσεις οι οποίες μπορούν να προκύψουν από το θαλάσσιο περιβάλλον και τέλος την παρουσίαση ολοκληρωμένων συστημάτων τα οποία υλοποιήθηκαν, δοκιμάστηκαν και εγκαταστάθηκαν ώστε να παρέχουν υπηρεσίες ίντερνετ υψηλών ταχυτήτων σε πλοία.

Πιο συγκεκριμένα ο J.S. Pathmasuntharam et al. in [1] and [2], κι ο Ming-Tuo Zhou et al. [3], περιγράφουν το έργο TPITON το οποίο είχε ως στόχο την ανάπτυξη ενός high-speed maritime ship-to-ship/shore δικτύου. Παρουσιάζουν τις τυπικές ανάγκες των maritime χρηστών, τους παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν την επικοινωνία στο θαλάσσιο περιβάλλον και καθορίζουν τις προδιαγραφές τις οποίες θα πρέπει να διαθέτει ένα δίκτυο τέτοιου είδους. Τέλος πραγματοποιούν μία περιγραφή της αρχιτεκτονικής του συστήματος όπως αυτό σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε κι έπειτα παρουσιάζουν τα συμπεράσματα που προέκυψαν απ' όλη την εργασία.

Ο Khurram Shabih Zaidi et al. [4] στην εργασία του πραγματοποιεί μία γενική παρουσίαση των πιθανών τεχνολογικών λύσεων που θα μπορούσαν να εφαρμοστούν για την δημιουργία ενός παράκτιου δικτύου που θα χρησιμοποιείται από τα πλοία, αναλύοντας τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της κάθε λύσης που εξετάζει.

Ο Lambros Lambrinos et al. [5], εξειδίκευσε την μελέτη του στις real-time εφαρμογές, όπως το instant messaging και το audio videoconferencing. Μελέτησε τις δυνατότητες που υπάρχουν για την δημιουργία ενός IP-based δικτύου το οποίο να μπορεί να εξυπηρετήσει τέτοιου είδους εφαρμογές και βάσει των υπαρχόντων τεχνολογιών πρότεινε εκείνες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την δημιουργία ενός long-range wireless δικτύου που να υποστηρίζει υπηρεσίες τηλεφωνίας VoIP (Voice-over-IP).

Ο Παναγιώτης Χατζηγιάννης στην μεταπτυχιακή του διατριβή με τίτλο "Connecting Land-Based Networks to Ships" [6] εξετάζει τις υπάρχουσες μεθόδους οι οποίες χρησιμοποιούνται για την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ των πλοίων και των παράκτιων δικτύων. Οι τεχνολογίες που εξετάζονται είναι η τεχνολογία 802.16 WiMAX, τα ασύρματα δίκτυα 2G/3G και το δορυφορικό ίντερνετ. Τα κριτήρια τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για να εξεταστεί η κάθε τεχνολογία ήταν το κόστος, η εμβέλεια εκπομπής και το προσφερόμενο εύρος ζώνης. Για την κάθε τεχνολογία εξετάζεται ο εξοπλισμός που χρειάζεται για την δημιουργία ενός ασύρματου δικτύου και παρουσιάζονται οι πιθανές αρχιτεκτονικές που αυτό μπορεί να έχει. Τέλος για την κάθε τεχνολογία πραγματοποιούνται δοκιμές απόδοσης και γίνεται αξιολόγηση των αποτελεσμάτων.

Τέλος στα πλαίσια της διπλωματικής μου εργασίας με τίτλο "Ενσωματωμένο σύστημα για την ιχνηλάτιση σταθερών κατευθυντικών κεραιών από κινούμενα οχήματα" [7] υπήρξε η παρουσίαση ενός συστήματος παροχής διαδικτυακών υπηρεσιών σε κινούμενο όχημα από ένα στατικό δίκτυο WiFi, το οποίο με τις κατάλληλες μεταβολές και προσθήκες θα μπορούσε να επεκταθεί η χρήση του και σε πλοία.

Όμως εκτός από τις ακαδημαϊκές εργασίες υπάρχουν αρκετές ολοκληρωμένες εμπορικές προτάσεις οι οποίες προσφέρουν διαδικτυακές υπηρεσίες για τα επιβατικά πλοία. Οι συγκεκριμένες προτάσεις χρησιμοποιούν τεχνολογίες όπως το WiFi internet, το mobile internet 3G/4G και το δορυφορικό ίντερνετ.

Η τεχνολογία του WiFi χρησιμοποιείται κυρίως από επιβατικά πλοία τα οποία βρίσκονται ελλιμενισμένα στο λιμάνι ή πλέουν κοντά σε αυτό. Βασική προϋπόθεση για την λειτουργία της συγκεκριμένης μεθόδου είναι η ύπαρξη της υποδομής στην περιοχή του λιμανιού για την παροχή ασύρματου ίντερνετ.

Οι χρήστες που βρίσκονται πάνω στο πλοίο συνδέονται με την κεραία (WiFi router) που είναι εγκαταστημένη στην στεριά είτε άμεσα με την απευθείας σύνδεση μίας συσκευής σε αυτήν, είτε έμμεσα με την συσκευή να συνδέεται σε ένα bridge-router το οποίο βρίσκεται σε σύνδεση με την κεραία στην στεριά.

Το κόστος για την απόκτηση και εγκατάσταση του εξοπλισμού δικτύωσης που απαιτεί η συγκεκριμένη τεχνολογία δεν ξεπερνά τις μερικές εκατοντάδες ευρώ και το μηνιαίο κόστος χρήσης τις μερικές δεκάδες. Το βασικό μειονέκτημα της συγκεκριμένης υπηρεσίας είναι ότι περιορίζεται αποκλειστικά για το λιμάνι και τις κοντινές περιοχές σε αυτό.

Το mobile internet 3G/4G είναι μία εναλλακτική τεχνολογία η οποία προσφέρει σύνδεση στο ίντερνετ δια μέσου του ασύρματου δικτύου κινητής τηλεφωνίας. Καθώς οι φορητές συσκευές αυτής της τεχνολογίας είναι ευρέως διαδεδομένες οι εταιρίες κινητής τηλεφωνίας έχουν προβεί σε επενδύσεις εξοπλισμού ώστε να μπορούν να διαθέσουν την συγκεκριμένη τεχνολογία σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερες περιοχές. Αυτό έχει ως συνέπεια σε αρκετές παράκτιες περιοχές από τις οποίες περνάνε τα πλοία κατά την εκτέλεση των δρομολογίων τους να μπορούν να αξιοποιήσουν την συγκεκριμένη τεχνολογία για πρόσβαση στο διαδίκτυο.

Η αξιοποίηση του δικτύου 3G/4G μπορεί να γίνει με την απευθείας σύνδεση των συσκευών που υποστηρίζουν την συγκεκριμένη τεχνολογία σε αυτό ή με την χρήση ειδικών 3G/4G router για συσκευές που δεν την υποστηρίζουν αλλά διαθέτουν δυνατότητα σύνδεσης σε WiFi. Το βασικό μειονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι ότι οι εταιρίες που διαχειρίζονται το δίκτυο απαιτούν μηνιαία συνδρομή χρήσης και χρέωση στον όγκο δεδομένων που γίνονται upload/download από τον χρήστη.

Τέλος υπάρχει και το δορυφορικό ίντερνετ το οποίο είναι η πιο διαδεδομένη τεχνολογία που χρησιμοποιούν τα επιβατικά πλοία. Αυτό οφείλεται στο ότι η εμβέλεια της δορυφορικής ζεύξης είναι απεριόριστη και δεν υπόκειται σε γεωγραφικούς περιορισμούς κι ότι το κόστος απόκτησης και χρήσης του εξοπλισμού είναι μερικές χιλιάδες ευρώ.

Όμως παρόλο που ως υπηρεσία έχει υψηλή διαθεσιμότητα κι αξιοπιστία δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μαζική χρήση από τους επιβάτες ενός πλοίου, καθώς οι ταχύτητες που προσφέρονται από τους παρόχους έχουν τιμές που ξεκινάνε από 128kbps/32kbps (Download/Upload) και φθάνουν έως και 6Mbps/1Mbps (Download/Upload) με αρκετά μεγάλο latency μετάδοσης λόγω της απόστασης πλοίου-δορυφόρων.

Σε σχέση με τις παραπάνω εργασίες και τις εμπορικές λύσεις που παρουσιάστηκαν, το σύστημα που προτείνουμε αποτελεί την υλοποίηση ενός επίγειου δικτύου WiFi υψηλών ταχυτήτων το οποίο μπορεί χωρίς την χρήση του δορυφορικού ίντερνετ, να παρέχει σε επιβατικά πλοία που δραστηριοποιούνται σε παράκτιες περιοχές, διαδικτυακές υπηρεσίες που απαιτούν μεγάλο εύρος φάσματος κι ανταλλαγή μεγάλου όγκου δεδομένων.

Το σύστημα χρησιμοποιεί εξοπλισμό ασύρματης δικτύωσης τεχνολογίας WiFi για εκπομπή σε μεγάλες αποστάσεις με το κόστος απόκτησης, εγκατάστασης και χρήσης του να είναι αρκετά μικρότερο σε σχέση με το κόστος που απαιτείται για το δορυφορικό ίντερνετ ή το mobile internet 3G/4G. Ο συγκεκριμένος εξοπλισμός προσφέρει ταχύτητες που φθάνουν έως και τα 150Mbps την στιγμή που το δορυφορικό δεν μπορεί να ξεπεράσει τα 6Mbps.

Το mobile internet 3G/4G παρόλο που προσφέρει τα ίδια επίπεδα ταχυτήτων διατίθεται με ογκοχρέωση δεδομένων κι όχι με μηνιαία συνδρομή όπως οι άλλες δύο υπηρεσίες. Η μέγιστη απόσταση για την οποία μπορεί να υπάρξει συνδεσιμότητα μεταξύ δύο κεραίων WiFi φθάνει μέχρι και τα 50km, προσφέροντας έτσι ένα συγκριτικό πλεονεκτήματα σε σχέση με το ίντερνετ κινητής τηλεφωνίας το οποίο δεν μπορεί να λειτουργήσει για τέτοιες αποστάσεις.

Ένα αντίστοιχο σύστημα με παρόμοια τεχνολογία και μεθοδολογία με αυτή που προτείνουμε κι εμείς στην παρούσα εργασία, το οποίο θα το παρουσιάσουμε αναλυτικά στις παρακάτω ενότητες, έχει αναπτύξει και υλοποιήσει η εταιρία BTS.Inc [8] με έδρα την Ινδιανάπολη των ΗΠΑ. Η συγκεκριμένη εταιρία παρέχει στους πελάτες της τον μηχανισμό στρέψης μαζί με την κεραία που είναι τοποθετημένη πάνω στον μηχανισμό, καθώς επίσης και το σύστημα ελέγχου του μηχανισμού στρέψης. Έχει παρουσιάσει διάφορες εκδόσεις οι οποίες διαφοροποιούνται στην κατηγορία του μηχανισμού στρέψης που χρησιμοποιούν και το είδος της κεραίας που θα βρίσκεται τοποθετημένος πάνω σε αυτόν.

Αξιοποιώντας λοιπόν τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τις προγενέστερες ακαδημαϊκές εργασίες και συγκρίνοντας την πρότασή μας με τις υπάρχουσες εμπορικές λύσεις, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η πρότασή μας υπερτερεί σε κόστος κι επιδόσεις σε σχέση με τις τεχνολογίες 2G/3G και το δορυφορικό ίντερνετ για χρήση σε παράκτιες περιοχές.

1.3 Συνεισφορά της Διατριβής

Η παρούσα διατριβή στηρίζεται στα αποτελέσματα και την τεχνογνωσία που προέκυψαν από την διπλωματική μου εργασία με τίτλο: "Ενσωματωμένο σύστημα για την ιχνηλάτιση σταθερών κατευθυντικών κεραιών από κινούμενα οχήματα". Στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας παρουσιάστηκε μία ολοκληρωμένη πρόταση για το πως είναι δυνατόν να υπάρξει παροχή διαδικτυακών υπηρεσιών υψηλών ταχυτήτων σε κινούμενο όχημα επί του εδάφους με την χρήση κατευθυντικής κεραίας WiFi.

Η πρόταση περιελάμβανε την μελέτη των υπαρχόντων τεχνολογικών λύσεων που θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν για την υλοποίηση ενός τέτοιου συστήματος, την μοντελοποίηση του τρόπου λειτουργίας του βασιζόμενοι στο υπάρχων θεωρητικό υπόβαθρο και τέλος την κατασκευή και την δοκιμή του σε πραγματικές συνθήκες. Έχοντας λοιπόν ως βάση την παραπάνω εργασία αποφασίσαμε να προχωρήσουμε στην εφαρμογή της όλης ιδέας σε επιβατικά πλοία.

Όμως η μετάβαση από ένα κινούμενο όχημα στην στεριά σ' ένα επιβατικό πλοίο το οποίο κινείται στην θάλασσα μας ανάγκασε να προβούμε σε σημαντικές τροποποιήσεις σε όλες της φάσεις της σχεδιαστικής ροής που είχαμε ακολουθήσει στην διπλωματική εργασία, καθώς οι απαιτήσεις και οι προδιαγραφές που έπρεπε να ληφθούν υπόψη ήταν εντελώς διαφορετικές σε σχέση με αυτές της διπλωματικής εργασίας.

Πιο συγκεκριμένα υπήρξε αλλαγή του εξοπλισμού δικτύωσης τόσο για την κεραία που χρησιμοποιήσαμε στο κινούμενο όχημα, το οποίο πλέον ήταν πλοίο αντί για όχημα, όσο και για την κεραία που διέθετε ο κάθε σταθμός βάσης. Η αλλαγή αυτή ήταν επιτακτική καθώς υπήρχε η ανάγκη για μεγαλύτερη εμβέλεια εκπομπής και την δυνατότητα να εξυπηρετούνται περισσότεροι χρήστες δια μέσου του δικτύου.

Εκτός από τον εξοπλισμό δικτύωσης υπήρξε αλλαγή και του μηχανισμού περιστροφής καθώς η νέα κεραία λόγω βάρους δεν μπορούσε να στραφεί από τον μηχανισμό που χρησιμοποιήθηκε στην διπλωματική εργασία. Όσον αφορά το ενσωματωμένο σύστημα υπήρξε διόρθωση σφαλμάτων και στην λειτουργικότητα του λογισμικού που δεν είχαν εντοπιστεί στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας. Επιπλέον υπήρξαν επεκτάσεις και τροποποιήσεις σε αυτή την λειτουργικότητα καθώς υπήρξε τόσο προσθήκη επιπλέον υλικού όσο και διαφοροποίηση του υπάρχοντος.

1.4 Περιγραφή της Διατριβής

Στο Κεφάλαιο 2 παρουσιάζεται η θεωρητική μελέτη που έγινε ώστε να επιλυθούν μία σειρά από κρίσιμα θέματα όπως είναι η επιλογή της γεωγραφικής περιοχής στην οποία θα δημιουργηθεί το ασύρματο δίκτυο και τι αρχιτεκτονική αυτό θα έχει, τον τρόπο με τον οποίο μία κεραία της στεριάς επιλέγεται από τον ενσωματωμένο σύστημα του πλοίου, την μοντελοποίηση της κίνησης της βάσης περιστροφής που βρίσκεται πάνω στο πλοίο και τον τρόπο με τον οποίο επηρεάζει η καμπυλότητα της Γης αυτή την κίνηση.

Στο Κεφάλαιο 3 παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική των δύο υποσυστημάτων του συστήματος ΡΟΤΑ τα οποία είναι το υποσύστημα της στεριάς και το υποσύστημα του πλοίου. Όσον αφορά το υποσύστημα του πλοίου επειδή υπήρξαν μεταβολές στις αρχικές προδιαγραφές κατά την διάρκεια της ανάπτυξης του συστήματος δημιουργήθηκαν τρεις (3) διαφορετικές εκδόσεις οι οποίες και παρουσιάζονται. Τέλος γίνεται μία αναλυτική παρουσίαση του υλικού που χρησιμοποιήθηκε για να δομηθούν τα δύο υποσύστημα.

Στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάζεται η αλγοριθμική λειτουργία του συστήματος και πιο συγκεκριμένα του υποσυστήματος του πλοίου καθώς μόνο σε αυτό υπάρχουν εξαρτήματα στα οποία εκτελείτε λογισμικό το οποίο σχεδιάσαμε. Για την διευκόλυνση του αναγνώστη η αλγοριθμική λειτουργικότητα χωρίστηκε σε διακριτές διεργασίες οι οποίες παρουσιάζονται υπό την μορφή διαγραμμάτων ροής κι έπειτα για την κάθε διεργασία περιγράφεται η λειτουργικότητα της.

Στο Κεφάλαιο 5 παρουσιάζεται η μεθοδολογία η οποία ακολουθήθηκε ώστε να πιστοποιηθεί η σωστή λειτουργία του συστήματος σύμφωνα με τις προδιαγραφές που είχαν τεθεί. Αρχικά γίνεται η περιγραφή των στατικών δοκιμών εντός του χώρου του εργαστηρίου κι ακολούθως η περιγραφή των δοκιμών που έγιναν εν κινήσει στην στεριά με την χρήση ενός κινούμενου οχήματος κι έπειτα με το πλοίο.

Τέλος στο Κεφάλαιο 6 παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την παρούσα διατριβή και γίνεται σχολιασμός επί αυτών των συμπερασμάτων. Ακολούθως γίνονται προτάσεις για βελτιώσεις και τροποποιήσεις στο υπάρχον σύστημα οι οποίες θα βελτιώσουν την απόδοση και την λειτουργία του.

Κεφάλαιο 2

Μελέτη & Μοντελοποίηση

2.1 Εισαγωγή

Η παρούσα εργασία έχει ως σκοπό την δημιουργία ενός παράκτιου ασύρματου δικτύου υψηλών ταχυτήτων το οποίο θα μπορεί να εξυπηρετεί τις διαδικτυακές ανάγκες των επιβατών ενός πλοίου. Γενικά για την δημιουργία ασύρματων δικτύων υψηλών ταχυτήτων, υπάρχουν διάφορες προσεγγίσεις όσον αφορά την επιλογή της αρχιτεκτονικής, του εξοπλισμού και των πρωτοκόλλων επικοινωνίας που θα χρησιμοποιηθούν, οι οποίες ποικίλουν ανάλογα με τις ανάγκες των τελικών χρηστών και τις προδιαγραφές που αυτοί θέτουν. Στην παρούσα εργασία ο καθορισμός των προδιαγραφών προέκυψε ύστερα από συζητήσεις που έγιναν με το έμπειρο και εξειδικευμένο προσωπικό δύο εγχώριων ναυτιλιακών εταιριών, της ANEK Lines και της Hellenic Seaways, οι οποίες δέχτηκαν να μας βοηθήσουν.

Στα πλαίσια των συζητήσεων οι εταιρίες μας παρείχαν πληροφορίες, οδηγίες και φυσική πρόσβαση σε χώρους των πλοίων που διαθέτουν, ώστε να μπορέσουμε να καθορίσουμε με ακρίβεια τις προδιαγραφές οι οποίες θα έπρεπε να ληφθούν υπόψη κατά την σχεδίαση και την υλοποίηση του συστήματος μας. Το πρώτο βήμα για την έναρξη της σχεδίασης του συστήματος ήταν να αποφασιστεί η αρχιτεκτονική που θα είχε το ασύρματο δίκτυο ώστε μετά βάσει αυτής της αρχιτεκτονικής να επιλεγεί ο κατάλληλος εξοπλισμός δικτύωσης. Όμως η αρχιτεκτονική που έχει ένα ασύρματο δίκτυο εξαρτάται κατά βάση από γεωγραφικούς παραμέτρους οπότε για να μπορέσουμε να την καθορίσουμε θα πρέπει πρώτα να γνωρίζουμε την γεωγραφική περιοχή στην οποία θα γίνει η εγκατάσταση του ασύρματου δικτύου.

2.2 Επιλογή Γεωγραφικής Περιοχής

Όπως αναφέραμε και προηγούμενη ενότητα (Ενότητα 2.1), το πρώτο βήμα για τον καθορισμό της αρχιτεκτονικής του δικτύου είναι η επιλογή της γεωγραφικής περιοχής στην οποία αυτό το δίκτυο θα εγκατασταθεί. Στην περίπτωση του συστήματος μας η γεωγραφική περιοχή καθορίστηκε βάσει των δρομολογίων που εκτελούσαν τα πλοία της κάθε εταιρίας. Καθώς όμως για την εγκατάσταση του ασύρματου δικτύου στο σύνολο των περιοχών στις οποίες δραστηριοποιούνταν και οι δύο εταιρίες χρειαζόταν εξοπλισμός δικτύωσης σε ποσότητες που δεν διαθέταμε, τελικά αποφασίστηκε να δημιουργηθεί ένα δίκτυο το οποίο θα εξυπηρετούσε μόνο ένα δρομολόγιο από το σύνολο των δρομολογίων και των δύο εταιριών.

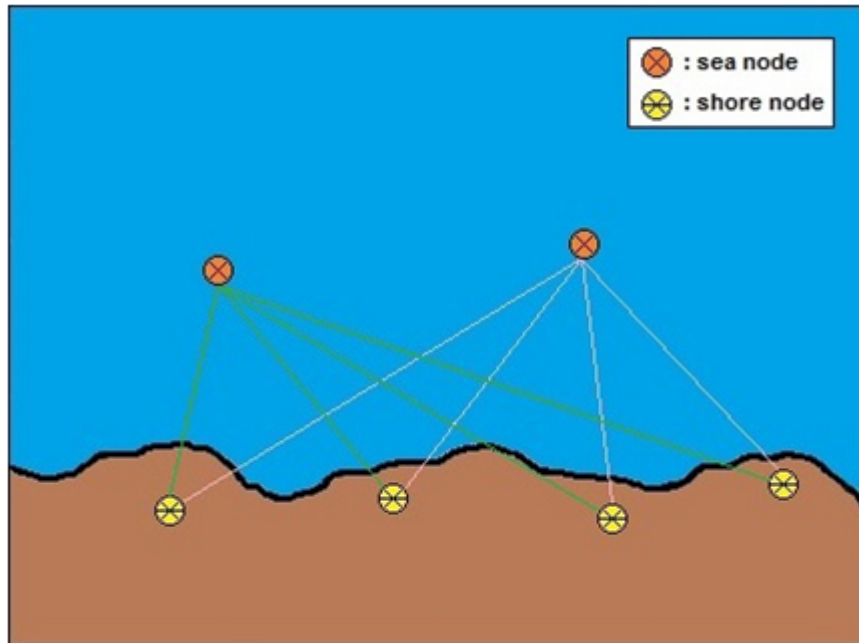
Η επιλογή του δρομολογίου βασίστηκε στην εξής μεθοδολογία: Αρχικά για το κάθε δρομολόγιο έγινε μελέτη της περιοχής από την οποία διέρχεται το πλοίο και καθορίστηκε ο αριθμός των πιθανών σημείων για την εγκατάσταση των κεραιών. Τα κριτήρια βάσει των οποίων σε ένα σημείο μπορεί να υπάρξει εγκατάσταση κεραιάς είναι η ύπαρξη παροχής ρεύματος, η ύπαρξη ενσύρματου δικτύου από τους εγχώριους *ISPs* ή εναλλακτικά η ύπαρξη δικτύου κινητής τηλεφωνίας με υποστήριξη τεχνολογίας 3G/4G. Επιπλέον το σημείο αυτό θα πρέπει να βρίσκεται σε τέτοιο ύψος ώστε η κεραία να μην παρεμποδίζεται από φυσικά ή τεχνικά εμπόδια και να εκπέμπει στην μέγιστη δυνατή απόσταση λαμβάνοντας υπόψη και την καμπυλότητα της Γης (Ενότητα 2.8).

Αφού λοιπόν υπήρξε για το κάθε δρομολόγιο ο καθορισμός των πιθανών σημείων εγκατάστασης, επιλέχθηκε από αυτά τα σημεία ο ελάχιστος αριθμός που είναι αναγκαίος ώστε να υπάρχει πλήρης κάλυψη σήματος κατά μήκος όλου του δρομολογίου δίχως την ύπαρξη τυφλών σημείων (περιοχή χωρίς δίκτυο). Έτσι λοιπόν το δρομολόγιο το οποίο τελικά επιλέξαμε ήταν αυτό που με τον μικρότερο αριθμό σημείων εγκατάστασης προσέφερε την μέγιστη δυνατή κάλυψη σήματος.

2.3 Αρχιτεκτονική Ασύρματου Δικτύου

Αφού επιλέχθηκε η περιοχή στην οποία θα γίνει η εγκατάσταση του ασύρματου δικτύου το επόμενο βήμα ήταν να καθοριστεί η αρχιτεκτονική του. Γενικά ένα δίκτυο δεδομένων αποτελείται από κόμβους οι οποίοι ανταλλάσσουν μεταξύ τους δεδομένα κι ανάλογα την αρχιτεκτονική του δικτύου κάθε κόμβος ακολουθεί συγκεκριμένο πρωτόκολλο και συμπεριφέρεται με συγκεκριμένο τρόπο. Στην περίπτωση του συστήματος μας καταλήξαμε ότι το δίκτυο δεδομένων θα έπρεπε να είναι ένα ασύρματο δίκτυο ευρείας περιοχής με τοπολογία Point-to-Multipoint (PtMP).

Η βασική διαφοροποίηση που υπήρχε στο δίκτυο μας σε σχέση με άλλα δίκτυα της ίδιας τοπολογίας ήταν ότι οι κόμβοι του δικτύου μας δεν ήταν όλοι στατικοί. Πιο συγκεκριμένα οι κόμβοι που αποτελούσαν το δίκτυο μας χωριζόντουσαν σε δύο κατηγορίες: α) στους κόμβους οι οποίοι ήταν τοποθετημένοι σε σταθερά σημεία στην στεριά και β) στους κόμβους που βρισκόντουσαν τοποθετημένοι πάνω στο πλοίο και κινούνταν μαζί με αυτό.



Εικόνα. 2.1: Κατανομή των κόμβων στην τοπολογία του δικτύου.

Οι κόμβοι της στεριάς δεν μπορούσαν να επικοινωνήσουν και να ανταλλάξουν δεδομένα μεταξύ τους και το ίδιο ίσχυε και για την επικοινωνία μεταξύ των κόμβων που βρισκόντουσαν στα πλοία. Ο κόμβος που ήταν εγκαταστημένος πάνω στο πλοίο μπορούσε να επικοινωνήσει και να ανταλλάξει δεδομένα με όλους τους κόμβους που βρισκόντουσαν στην στεριά. Έπειτα ο κάθε κόμβος της ακτής συνδεόταν με τους τελικούς χρήστες μέσω ενσύρματου δικτύου υψηλών ταχυτήτων των τοπικών *ISPs* (Internet Server Providers). Στην περίπτωση όπου στην περιοχή που βρισκόταν ο κόμβος δεν υπήρχε ενσύρματο δίκτυο η σύνδεση με τον τελικό χρήστη πραγματοποιήθηκε με την χρήση εξοπλισμού που υποστήριζε τεχνολογία 3G/4G.

2.4 Επιλογή Σταθμού Βάσης

Όπως περιγράψαμε και στην Ενότητα 2.3 η αρχιτεκτονική του δικτύου συμπεριλαμβάνει στατικούς και μη στατικούς κόμβους. Πιο συγκεκριμένα οι στατικοί κόμβοι αποτελούνται από κατευθυντικές κεραίες οι οποίες έχουν τοποθετηθεί σε σταθερά σημεία στην στεριά και με συγκεκριμένο προσανατολισμό προς την θάλασσα. Από την άλλη ο μη στατικός κόμβος, δηλαδή αυτός που βρίσκεται πάνω στο πλοίο, αποτελείται από μία κατευθυντική κεραία WiFi η οποία περιστρέφεται προς οποιαδήποτε κατεύθυνση με την βοήθεια ενός μηχανισμού περιστροφής.

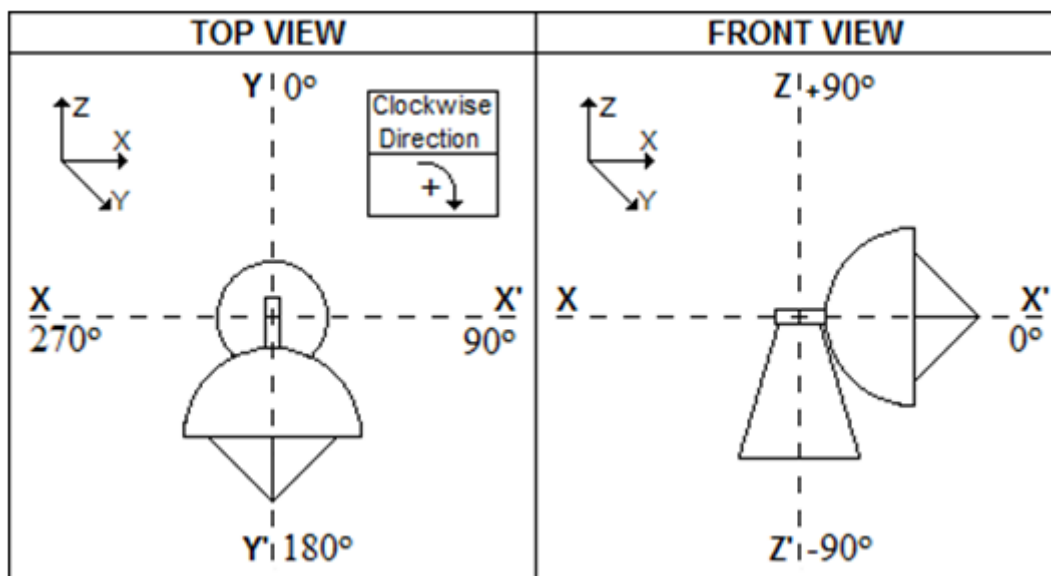
Καθώς το πλοίο κινείται η κεραία που βρίσκεται πάνω σε αυτό πρέπει να είναι στραμμένη σε μία από τις κεραίες της στεριάς ώστε να υπάρχει συνδεσιμότητα μεταξύ τους. Η κεραία της στεριάς που επιλέγεται για να στραφεί η κεραία του πλοίου είναι αυτή που βρίσκεται στην κοντινότερη απόσταση. Ο υπολογισμός της απόστασης μεταξύ της κεραίας του πλοίου και μίας από τις κεραίες στην στεριά ακολουθεί της παρακάτω μεθοδολογία. Αρχικά θεωρούμε τις δύο κεραίες ως δύο σημεία που βρίσκονται στο Καρτεσιανό επίπεδο. Σύμφωνα με τον Διανυσματικό Λογισμό, σε ένα Καρτεσιανό επίπεδο με δύο σημεία (x_1, y_1) και (x_2, y_2) η μεταξύ τους απόσταση υπολογίζεται από τον τύπο: $d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$. Λόγω όμως της καμπυλότητας της Γης ο παραπάνω τύπος δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της απόστασης μεταξύ της κεραίας του πλοίου και της στεριάς.

Ο εναλλακτικός τύπος που χρησιμοποιείται σε αυτή την περίπτωση προέρχεται από το γεωδαιτικό μοντέλο "Flat Surface Model" και πιο ειδικά το "Spherical Earth Projection" (Παράρτημα Γ). Ο συγκεκριμένος τύπος χρησιμοποιεί για τον υπολογισμό της απόστασης μεταξύ δύο σημείων τις γεωδαιτικές τους συντεταγμένες (ϕ, λ) αντί τις καρτεσιανές συντεταγμένες (x, y) . Έχουμε λοιπόν ότι για τον υπολογισμό της απόστασης μεταξύ δύο σημείων με γεωγραφικές συντεταγμένες (ϕ_1, λ_1) και (ϕ_2, λ_2) ισχύει ο παρακάτω τύπος: $D = R \cdot \sqrt{(\Delta\phi)^2 + (\cos\phi_m \cdot \Delta\lambda)^2}$. Όπου D είναι η απόσταση μεταξύ των δύο σημείων, R είναι η ακτίνα της Γης και την θεωρούμε ίση με $R = 6731km = 3958.7miles = 3440.07nauticalmiles$, $\Delta\phi = \phi_2 - \phi_1$, $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$ και $\phi_m = \frac{\phi_1 + \phi_2}{2}$ το μέσο γεωγραφικό πλάτος.

Να σημειωθεί ότι όλοι οι υπολογισμοί γίνονται σε μοίρες εκτός της περίπτωση του $\cos\phi_m$ όπου ανάλογα την γλώσσα προγραμματισμού που χρησιμοποιείται μπορεί να υπολογίζει το \cos με όρισμα σε μοίρες (*degrees*) ή σε ακτίνια (*radians*). Για τον μετασχηματισμό από μοίρες σε ακτίνια κι αντιστρόφως ισχύει η σχέση: $1^\circ = \frac{\pi}{180}$ ακτίνια. Αφού λοιπόν με την χρήση των γεωγραφικών συντεταγμένων υπολογιστεί η απόσταση D για μία από τις κεραίες της στεριάς, επαναλαμβάνουμε την διαδικασία και για τις υπόλοιπες κι από το σύνολο των υπολογισμένων αποστάσεων D επιλέγουμε αυτή με την μικρότερη τιμή.

2.5 Ανάλυση Κίνησης

Καθώς το πλοίο κινείται κι αλλάζει συνεχώς θέση, ο μηχανισμός περιστρέφει την κεραία οριζόντια και κάθετα έτσι ώστε να διατηρήσει τον προσανατολισμό της προς το σημείο στην στεριά όπου βρίσκεται η κατευθυντική κεραία που έχει επιλεγεί. Θεωρούμε ότι ο μηχανισμός περιστροφής βρίσκεται σε Καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων και είναι τοποθετημένος με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι παράλληλος προς τα επίπεδα $xx'yy'$ και $zz'yy'$ (Εικόνα 2.2).

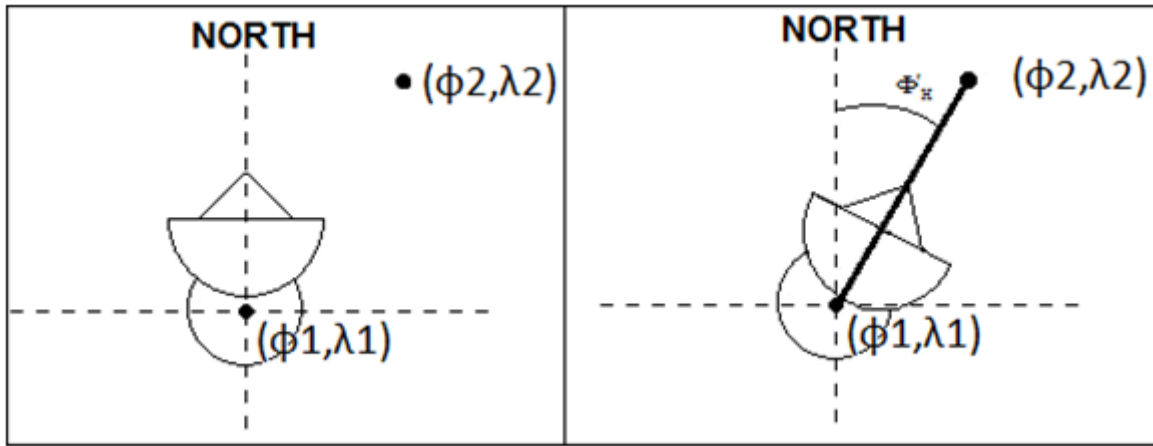


Εικόνα. 2.2: Προσανατολισμός του μηχανισμού περιστροφής στο Καρτεσιανό σύστημα.

Παρατηρούμε ότι η σύνθετη κίνηση που εκτελεί ο μηχανισμός περιστροφής για να βρεθεί από την τρέχουσα θέση σε μία νέα, αποτελείται από δύο διαφορετικές κινήσεις οι οποίες μπορούν να μελετηθούν ανεξάρτητα μεταξύ τους. Η πρώτη κίνηση είναι η περιστροφή γύρω από τον κατακόρυφο άξονα zz' κατά 360° μοίρες και η δεύτερη κίνηση είναι η περιστροφή γύρω από τον οριζόντιο άξονα yy' κατά 135° μοίρες συνολικά ή από $+90^\circ$ έως και -45° μοίρες εάν ορίσουμε τον άξονα xx' ως την θέση όπου ο μηχανισμός έχει περιστραφεί κατά 0° μοίρες. Η γωνία που διαγράφει η κεραία κατά τη διάρκεια της περιστροφικής της κίνησης γύρω από τον άξονα zz' ορίζεται ως η γωνία οριζόντιας περιστροφής και συμβολίζεται με ϕ_H (Οριζόντια γωνία). Η γωνία που διαγράφει η κεραία κατά τη διάρκεια της περιστροφικής της κίνησης γύρω από τον άξονα yy' ορίζεται ως η γωνία κατακόρυφης περιστροφής και συμβολίζεται με ϕ_V (Κατακόρυφη γωνία). Καθώς αυτές οι δύο περιστροφικές κινήσεις μπορούν να μελετηθούν ανεξάρτητα, ακολουθεί παρακάτω αναλυτική περιγραφή για την κάθε μία ξεχωριστά.

2.5.1 Οριζόντια Γωνία Περιστροφής

Θεωρούμε τον μηχανισμό περιστροφής να είναι τοποθετημένος σε σημείο με γεωγραφικές συντεταγμένες (ϕ_1, λ_1) και η κεραία που βρίσκεται πάνω σε αυτόν έχει προσανατολισμό προς τον Βορρά. Για να στραφεί η κεραία προς ένα άλλο σημείο με γεωγραφικές συντεταγμένες (ϕ_2, λ_2) , θα πρέπει να περιστραφεί ως προς το επίπεδο $xx'yy'$ κατά μία γωνία ϕ'_H (Εικόνα 2.3). Η συγκεκριμένη γωνία σύμφωνα με την θεωρία της γεωδαισίας ορίζεται ως η γωνία του αζιμούθιου και υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\tan \phi'_H = \frac{\sin(\lambda_2 - \lambda_1)}{\cos(\phi_1) \cdot \tan(\phi_2) - \sin(\phi_1) \cdot \cos(\lambda_2 - \lambda_1)} \Rightarrow \phi'_H = \tan^{-1}(\tan \phi'_H).$$


Εικόνα. 2.3: Γωνία οριζόντιας περιστροφής.

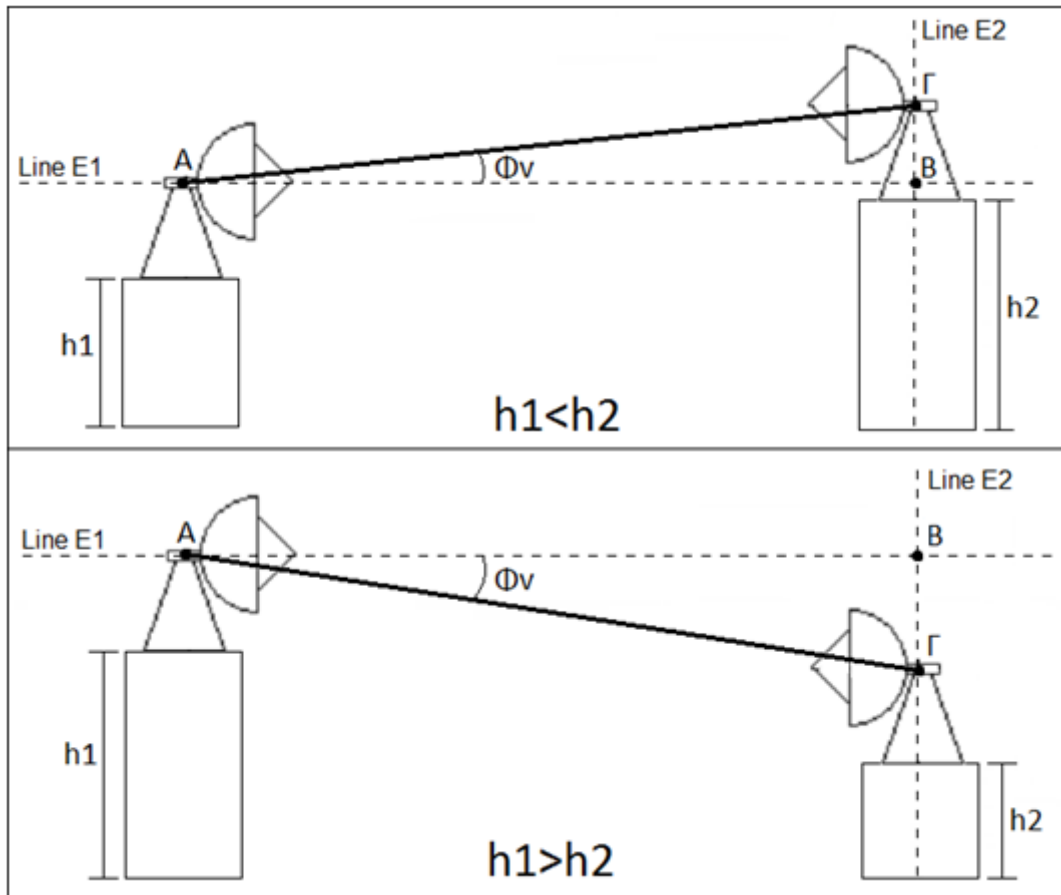
Ωστόσο η κεραία είναι τοποθετημένη πάνω στο πλοίο το οποίο κινείται προς οποιασδήποτε κατεύθυνση στο επίπεδο της θάλασσας. Θεωρώντας λοιπόν ως άξονα αναφοράς την διεύθυνση Βορρά-Νότου το διάνυσμα κίνησης του πλοίου αναλόγως την φορά κίνησης του, σχηματίζει μια γωνία θ με τον άξονα αναφοράς, γωνία η οποία συμπίπτει με το αζιμούθιο του διανύσματος κίνησης του πλοίου. Η γωνία θ θεωρείται μηδέν όταν το διάνυσμα κίνησης συμπίπτει με τον άξονα αναφοράς και κοιτάει προς το Βορρά και βαθμονομείται βάση της φορά του ρολογιού.

Η βάση της κεραίας βρίσκεται πάνω στο πλοίο οπότε σε κατάσταση αρχικοποίησης η στόχευση της κεραίας θα ταυτίζεται με το διάνυσμα κίνησης του πλοίου. Έτσι όταν η κεραία θα στραφεί προς κάποιον σταθμό βάσης, για να στραφεί στην σωστή κατεύθυνση θα πρέπει εκτός από την γωνία ϕ'_H να συνυπολογιστεί και η γωνία θ . Το τελικό αποτέλεσμα που θα προκύψει θα είναι η γωνία οριζόντιας περιστροφής της βάσης ϕ_H . Η σχέση που προκύπτει για τις δύο αυτές γωνίες είναι η εξής:

- Εάν $\theta < \phi'_H$ τότε $\phi_H = -\theta + \phi'_H$, η κεραία στρέφεται προς την δεξιά πλευρά του πλοίου.
- Εάν $\theta > \phi'_H$ τότε $\phi_H = \theta - \phi'_H$, η κεραία στρέφεται προς την αριστερή πλευρά του πλοίου.

2.5.2 Κατακόρυφη Γωνία Περιστροφής

Όπως βλέπουμε στην Εικόνα 2.4, θεωρούμε μία ευθεία E_1 παράλληλη στο επίπεδο της θάλασσας η οποία τέμνει την κεραία που βρίσκεται στο πλοίο στο σημείο A . Επιπλέον θεωρούμε την ευθεία E_2 η οποία είναι κάθετη ως προς την ευθεία E_1 και τέμνει την E_1 στο σημείο B και την κεραία της ακτής στο σημείο Γ . Για να ελαχιστοποιηθούν οι απώλειες μετάδοσης ισχύος μεταξύ των δύο κεραιών, θα πρέπει η κεραία που βρίσκεται στο πλοίο να στραφεί κατακόρυφα κατά μία γωνία Φ_V ως προς την ευθεία E_1 ώστε το κέντρο του ανακλαστήρα της κεραίας του πλοίου να είναι παράλληλο προς την νοητή ευθεία $A\Gamma$.



Εικόνα. 2.4: Γωνία κατακόρυφης περιστροφής.

Υποθέτουμε ότι η κεραία που βρίσκεται στο πλοίο έχει ύψος h_1 και κεραία της ακτής ύψος h_2 . Η απόσταση $B\Gamma$ είναι ίση με την διαφορά $h_2 - h_1$ εάν $h_2 > h_1$ ή $h_1 - h_2$ εάν $h_2 < h_1$, και η απόσταση AB είναι ίση με την απόσταση D των δύο κεραιών. Από την τριγωνομετρία γνωρίζουμε ότι ισχύει η σχέση $\tan(\Phi_V) = \frac{B\Gamma}{A\Gamma} = y$, επομένως η γωνία Φ_V μπορεί να υπολογιστεί από τον αντίστροφο εφαπτομένη του y σύμφωνα με τον τύπο $\Phi_V = \tan^{-1}(y)$.

2.6 Καμπυλότητα της Γης

Όπως αναφέραμε και στην Ενότητα 2.2 η καμπυλότητα της Γης είναι μία σημαντική παράμετρος η οποία επηρεάζει το μέγιστο δυνατό όριο της απόστασης για το οποίο υπάρχει οπτική επαφή μεταξύ της κεραίας του πλοίου και της στεριάς είναι η καμπυλότητα της Γης. Σύμφωνα με την θεωρία Γεωδαισίας ισχύει ότι εάν βρισκόμαστε στην επιφάνεια της θάλασσας και κοιτάζουμε προς μια κατεύθυνση στην οποία δεν υπάρχουν φυσικά εμπόδια και στεριά, παρατηρούμε μια γραμμή η οποία φαίνεται νοητά να αγγίζει τον ουράνιο θόλο της Γης. Αυτή η γραμμή ονομάζεται Ορίζοντας και είναι εκείνο το νοητό σημείο μέχρι το οποίο βλέπει το ανθρώπινο μάτι και κατ' επέκταση μέχρι εκείνο το σημείο που μπορεί η κεραία μας να διακρίνει τον σταθμό βάσης.

Επιπλέον ισχύει ότι εάν ένας άνθρωπος στέκεται σε ένα σημείο με ένα ύψος h μέτρων, τότε αυτός μπορεί να δει μέχρι την οριακή απόσταση $d = 3,570 \cdot \sqrt{h} \text{ km}$ όπου την ονομάζουμε απόσταση μέχρι τον Ορίζοντα. Βασιζόμενοι ότι σε ιδανικές συνθήκες η μέγιστη εμβέλεια εκπομπής τόσο των κεραιών της στεριάς όσο και των κεραιών των πλοίων είναι τα 50km , καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι για να υπάρξει η μέγιστη δυνατή αξιοποίηση τους θα έπρεπε οι κεραίες της στεριάς να τοποθετηθούν σε υψόμετρο άνω των 200m και με τις κεραίες των πλοίων να βρίσκονται επί της ουσίας στο επίπεδο της θάλασσας.

Κεφάλαιο 3

Αρχιτεκτονική & Υλικό Συστήματος

3.1 Εισαγωγή

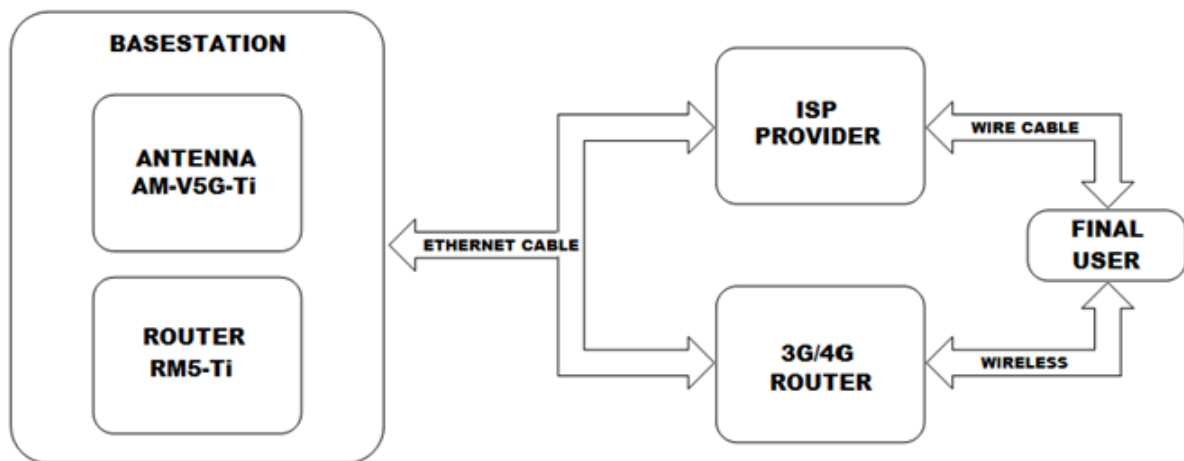
Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιάσουμε την αρχιτεκτονική του συστήματος POTA και θα κάνουμε μία αναλυτική περιγραφή των εξαρτημάτων που το αποτελούν. Το σύστημα POTA βάση της ανάλυσης που κάναμε στην Ενότητα 2.3 μπορούμε να το διακρίνουμε ως δύο υποσυστήματα τα οποία συνεργάζονται μεταξύ τους αλλά βρίσκονται σε διαφορετικές τοποθεσίες. Έτσι λοιπόν έχουμε το υποσύστημα που βρίσκεται στην στεριά και το υποσύστημα που βρίσκεται στο πλοίο. Στις επόμενες ενότητες θα ακολουθηθεί ο συγκεκριμένος διαχωρισμός και η παρουσίαση των σχηματικών διαγραμμάτων των διαφόρων αρχιτεκτονικών θα γίνει σε επίπεδο υποσυστημάτων.

Να σημειωθεί ότι λόγω αναθεώρησης των σχεδιαστικών απαιτήσεων και της αντικατάστασης διαφόρων εξαρτημάτων με άλλα διαφορετικού τύπου, χρειάστηκε τρεις φορές να υπάρξει τροποποίηση της αρχιτεκτονικής του υποσυστήματος του πλοίου κατά την διάρκεια ανάπτυξης του όλου συστήματος, σε αντίθεση με την αρχιτεκτονική του υποσυστήματος της στεριάς η οποία δεν δέχθηκε καμία μεταβολή. Για να υπάρξει πλήρης κατανόηση του εύρους της εργασίας στις παρακάτω ενότητες θα γίνει παρουσίαση και των τριών αρχιτεκτονικών που σχεδιάστηκαν για το υποσύστημα του πλοίου καθώς επίσης και η αρχιτεκτονική του υποσυστήματος της στεριάς.

3.2 Αρχιτεκτονική Υποσυστήματος Στεριάς

Το υποσύστημα της στεριάς προβλέπει την εγκατάσταση στατικών κεραιών WiFi σε διάφορα σημεία και με συγκεκριμένο προσανατολισμό ώστε να υπάρξει η μέγιστη δυνατή κάλυψη δικτύου για τα πλοία που εκτελούν το συγκεκριμένο δρομολόγιο. Οι κεραιές που χρησιμοποιήθηκαν ήταν το μοντέλο airMax AM-V5G-Ti της εταιρίας Ubiquiti και ανήκουν στην κατηγορία των κεραιών τύπου sector. Έπειτα πάνω σε κάθε κεραία προσαρμόστηκε ο δρομολογητής (radio router) RM5-Ti της ίδιας εταιρίας.

Η κεραία μαζί με τον δρομολογητή (radio router) συγκροτούν έναν σταθμό βάσης ο οποίος παρέχει μία κάλυψη σήματος (antenna coverage) σε με μία περιοχή 120° μοιρών γύρω από την κεραία, με εμβέλεια (antenna range) μέχρι τα 50km και με κέρδος κεραίας (antenna gain) τα 19dBi. Ο κάθε σταθμός βάσης συνδέεται ενσύρματα (ADSL/VDSL) με τους τελικούς χρήστες μέσω των τοπικών παρόχων ίντερνετ (ISPs) ή στην περίπτωση που ο σταθμός βάσης βρίσκεται σε περιοχή όπου δεν υπάρχει ενσύρματο δίκτυο η σύνδεση με τον τελικό χρήστη επιτυγχάνεται με την χρήση τεχνολογίας 3G/4G. Ακολουθεί το σχηματικό διάγραμμα της αρχιτεκτονικής που περιγράφηκε παραπάνω.



Εικόνα. 3.1: Διάγραμμα αρχιτεκτονικής υποσυστήματος στεριάς.

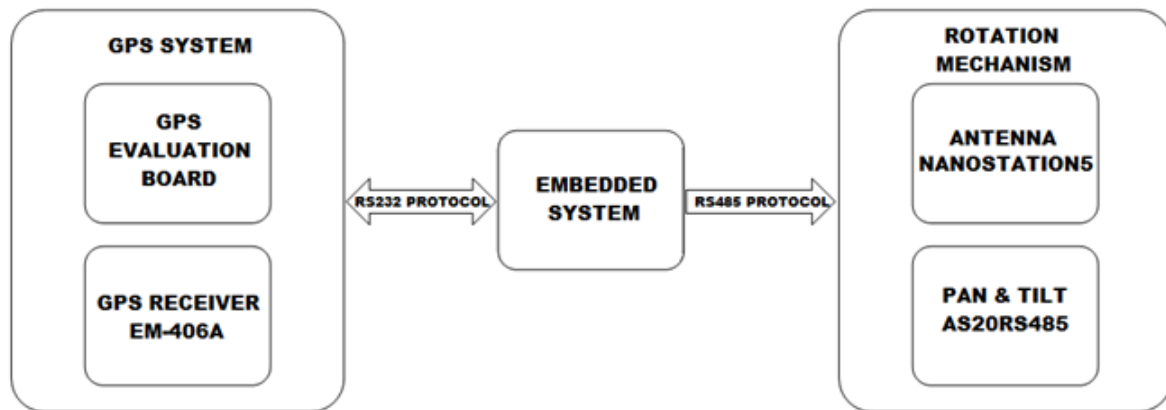
3.3 Αρχιτεκτονική Υποσυστήματος Πλοίου

Όπως αναφέραμε στην εισαγωγική ενότητα, κατά την διάρκεια αυτής της εργασίας αναπτύχθηκαν τρεις εκδόσεις του υποσυστήματος του πλοίου. Η ανάπτυξη και οι βελτιώσεις της κάθε νέας έκδοσης στηρίχθηκαν στην εμπειρία και στα αποτελέσματα που προέκυπταν από την προηγούμενη. Ακολουθεί αναλυτική περιγραφή της κάθε έκδοσης του υποσυστήματος του πλοίου.

3.3.1 Α.Υ.Π - Έκδοση 1

Η πρώτη έκδοση του υποσυστήματος αποτελείται από τρία διακριτά εξαρτήματα (modules). Πιο αναλυτικά το πρώτο εξάρτημα με όνομα "GPS SYSTEM" αποτελείται από τον δέκτη GPS και το GPS Evaluation Board, το δεύτερο εξάρτημα με όνομα "ROTATION MECHANISM" αποτελείται από την βάση περιστροφής AS20RS485 και την WiFi κεραία Nanostation5 η οποία είναι τοποθετημένη πάνω στην βάση περιστροφής και τέλος το τρίτο εξάρτημα με όνομα "EMBEDDED SYSTEM" είναι το ενσωματωμένο σύστημα ελέγχου που ελέγχει την βάση περιστροφής και στρέφει την κεραία.

Η μεταξύ τους συνδεσμολογία παρουσιάζεται στο σχηματικό διάγραμμα που ακολουθεί.



Εικόνα. 3.2: Διάγραμμα αρχιτεκτονικής πρώτης γενιάς υποσυστήματος πλοίου.

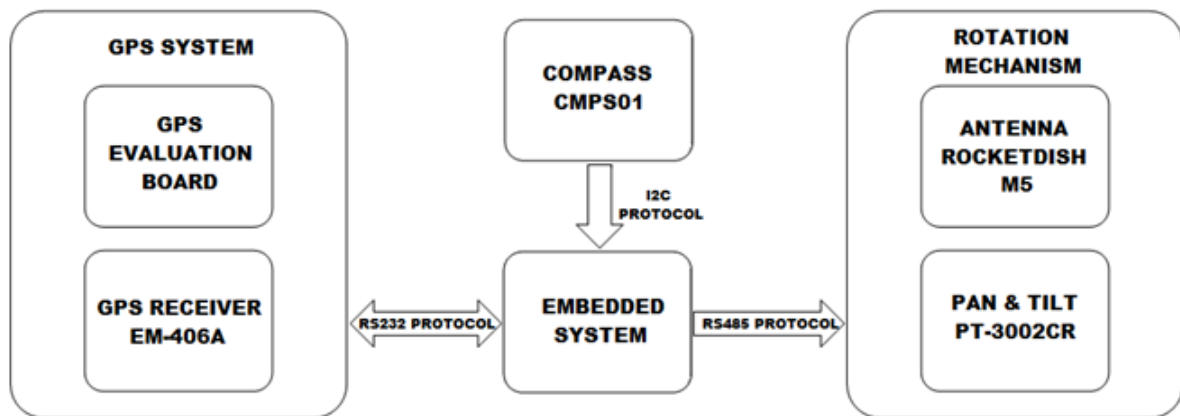
Η πρώτη έκδοση χρησιμοποιήθηκε για να δοκιμαστεί η σωστή λειτουργία του συστήματος εντός του εργαστηρίου κι έπειτα σε κινούμενο όχημα στη στεριά. Με τα συμπεράσματα και τις νέες απαιτήσεις που προέκυψαν, δημιουργήθηκε μία δεύτερη αρχιτεκτονική του συστήματος η οποία παρουσιάζεται παρακάτω.

3.3.2 Α.Υ.Π - Έκδοση 2

Η δεύτερη έκδοση του υποσυστήματος αποτελείται από τέσσερα διακριτά εξαρτήματα (modules). Πιο αναλυτικά το πρώτο εξάρτημα με όνομα "GPS SYSTEM" είναι ακριβώς το ίδιο με αυτό που χρησιμοποιήθηκε στην πρώτη έκδοση του υποσυστήματος χωρίς να έχει υπάρξει κάποια μεταβολή. Όσον αφορά το εξάρτημα "ROTATION MECHANISM" υπήρξε αντικατάσταση της κεραίας Nanostation5 με την κεραία RocketDishM5 καθώς βάσει των προδιαγραφών υπήρχε ανάγκη για μεγαλύτερη εμβέλεια και καλύτερη απόδοση.

Όμως η νέα κεραία ζύγιζε $12kg$ κι ο μηχανισμός στρέψης AS20RS485 δεν μπορούσε να την περιστρέψει γι' αυτό και αντικαταστάθηκε από τον μηχανισμό στρέψης PT-3002CR όπου άνηκε στην κατηγορία των heavy duty μηχανισμών. Νέα προσθήκη στο υποσύστημα αποτέλεσε το εξάρτημα της ηλεκτρομαγνητικής πυξίδας "COMPASS CMPS01" το οποίο προστέθηκε ώστε να υπάρξει βελτίωση της ακρίβειας κατά την οριζόντια περιστροφή του μηχανισμού. Τέλος όσον αφορά το ενσωματωμένο σύστημα ελέγχου υπήρξε η εγκατάσταση μίας επιπλέον διεπαφής για την επικοινωνία του με την πυξίδα.

Η μεταξύ τους συνδεσμολογία παρουσιάζεται στο σχηματικό διάγραμμα που ακολουθεί.



Εικόνα. 3.3: Διάγραμμα αρχιτεκτονικής δεύτερης γενιάς υποσυστήματος πλοίου.

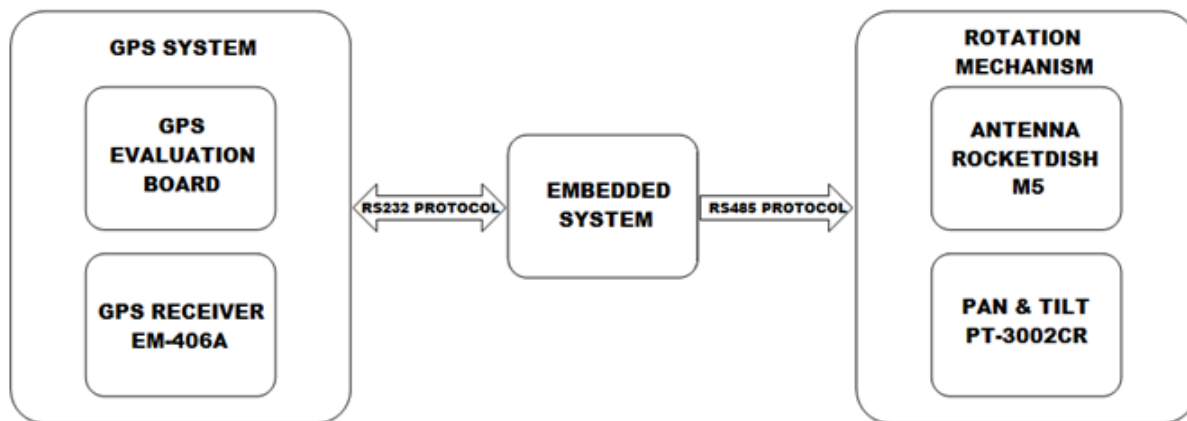
Η δεύτερη έκδοση δοκιμάστηκε εντός του εργαστηρίου αλλά όχι σε κινούμενο όχημα στη στεριά καθώς το βάρος της τρέχουσας έκδοσης δεν μας το επέτρεπε. Μετά την ολοκλήρωση των εργαστηριακών δοκιμών το σύστημα μεταφέρθηκε στο πλοίο ώστε για να δοκιμαστεί σε πραγματικές συνθήκες.

Στις πραγματικές συνθήκες όπου ένα πλήθος από άλλα συστήματα εκπομπής και λήψης ακτινοβολίας (ασύρματοι, ραντάρ κ.τ.λ) βρίσκονται σε ταυτόχρονη λειτουργία πάνω στο πλοίο, το σύστημα μας αδυνατούσε να ανταποκριθεί βάσει των προδιαγραφών που είχαν οριστεί καθώς η πυξίδα αδυνατούσε να λειτουργήσει σωστά σε περιβάλλον έντονης ακτινοβολίας. Έτσι λοιπόν επανασχεδιάστηκε το σύστημα και δημιουργήθηκε μία τρίτη έκδοση ώστε το σύστημα να μπορέσει να λειτουργήσει σε πραγματικές συνθήκες χωρίς την ύπαρξη της πυξίδας.

3.3.3 Α.Υ.Π - Έκδοση 3

Η τρίτη έκδοση του συστήματος αποτελεί επί της ουσίας την δεύτερη έκδοση του συστήματος χωρίς την ύπαρξη της πυξίδας η οποία αφαιρέθηκε όπως αναφέραμε στην προηγούμενη ενότητα. Σε αυτή την έκδοση η σωστή στρέψη της βάσης περιστροφής γίνεται με την χρήση στατιστικών τεχνικών στο επίπεδο του κώδικα.

Η συνδεσμολογία παρουσιάζεται στο σχηματικό διάγραμμα που ακολουθεί.



Εικόνα. 3.4: Διάγραμμα αρχιτεκτονικής τρίτης γενιάς υποσυστήματος πλοίου.

3.4 Παρουσίαση Υλικού

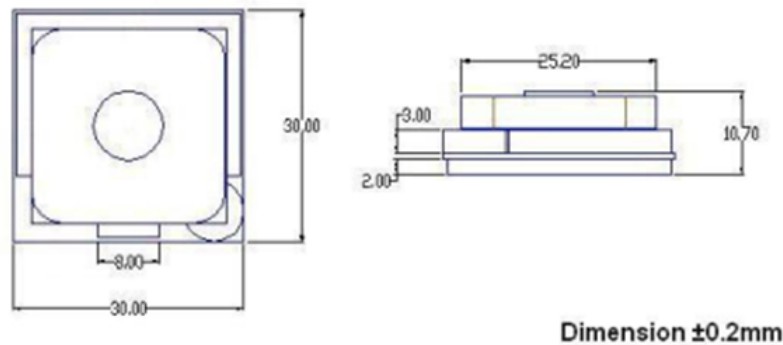
Στις Ενότητες 3.2 και 3.3 έγινε μία γενική παρουσίαση την αρχιτεκτονικής των υποσυστημάτων της στεριάς και του πλοίου και των εξαρτημάτων που αποτελούν το καθένα. Σε αυτή την ενότητα θα γίνει μία αναλυτική παρουσίαση του κάθε εξαρτήματος παρουσιάζοντας για το καθένα τις δυνατότητες και τις προδιαγραφές του.

3.4.1 Διάταξη GPS

Και στις τρεις εκδόσεις του συστήματος χρησιμοποιήθηκε η ίδια διάταξη GPS για την λήψη σε πραγματικό χρόνο του γεωγραφικού στίγματος του πλοίου. Η διάταξη GPS αποτελείται από τον δέκτη GPS και το αναπτυσσόμενο GPS Evaluation Board. Ο δέκτης GPS που χρησιμοποιήθηκε είναι ο EM-406A της εταιρίας USGlobalSat (Εικόνα 3.5) ο οποίος βασίζεται στο χαμηλής κατανάλωσης chipset SiRF StarIII (45 – 55mA at 4.5 – 6.5V) με συχνότητα λειτουργίας στα 1575MHz.

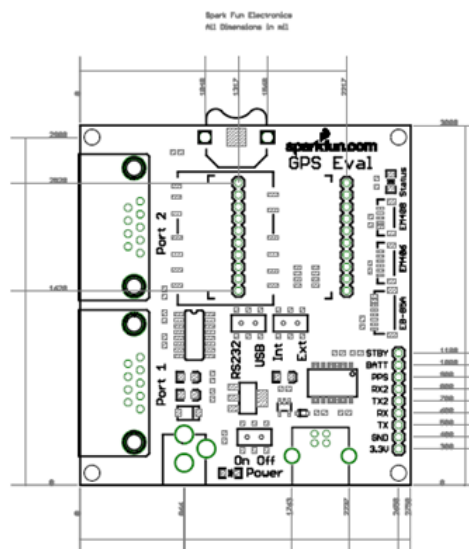
Διαθέτει ενσωματωμένη κεραμική κεραία η οποία παρέχει υψηλή ευαισθησία κι απόδοση στο δέκτη (Sensitivity : $-163dBm$) κι όταν η κεραία βρίσκεται σε άμεση επαφή με τον ουρανό (all-in-view tracking mode) μπορεί να λαμβάνει δεδομένα μέχρι κι από 20 δορυφόρους των συστημάτων γεωεντοπισμού GPS και GLONASS. Ο δέκτης μπορεί να λειτουργεί σωστά για θερμοκρασίες που κυμαίνονται από $-40^{\circ}C$ έως και $+85^{\circ}C$, για ταχύτητες που φθάνουν έως τα $1850km/h$ και σε υψόμετρο $18km$ από την στάθμη της θάλασσας.

Το σφάλμα στις μετρήσεις που προσδιορίζουν το γεωγραφικό στίγμα του δέκτη GPS ανέρχεται στα 10m για όλη την υφήλιο εκτός από την Βόρεια Αμερική όπου λόγω του συστήματος WAAS (Wide Area Augmentation System) το σφάλμα ανέρχεται μόλις στα 5m. Τα δεδομένα εξόδου που παρέχονται στον τελικό χρήστη, ακολουθούν την κωδικοποίηση NMEA 0183 και μεταδίδονται σε TTL serial level κατευθείαν προς τον μικροελεγκτή.



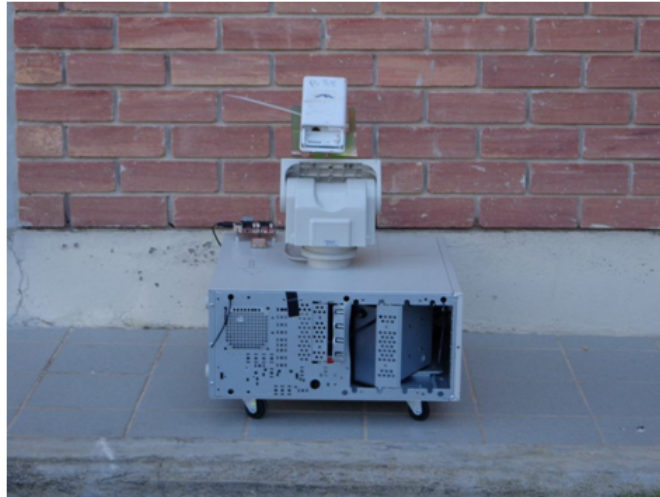
Εικόνα. 3.5: Δέκτης GPS.

Η αναπτυξιακή πλακέτα GPS Evaluation Board (Εικόνα 3.6) κατασκευάζεται από την εταιρία Sparkfun και χρησιμοποιείται για την εύκολη και γρήγορη διασύνδεση των συσκευών GPS που διαθέτουν TTL σειριακή επικοινωνία χωρίς να απαιτείται η χρήση επιπρόσθετου (costum) υλικού. Υποστηρίζει δύο ειδών επικοινωνία την σειριακή RS-232 με την χρήση μίας θύρας DB9 και την σειριακή δια μέσου USB. Το αναπτυξιακό τροφοδοτείτε είτε μέσω DC barrel jack των 5V είτε δια μέσω του USB. Τα μοντέλα δεκτών GPS που υποστηρίζονται από το αναπτυξιακό είναι τα: EM-406A, EM-408, FV-M8 και Lassen IQ.



3.4.2 Βάση Περιστροφής

Η διάταξη της βάσης περιστροφής αποτελείται από τον μηχανισμό στρέψης μαζί με την κεραία που είναι τοποθετημένη πάνω σε αυτή και την περιστρέφει. Στην Εικόνα 3.7 βλέπουμε την διαμόρφωση που είχε η διάταξη της πρώτης γενιάς.



Εικόνα. 3.7: Διαμόρφωση βάσης περιστροφής πρώτης γενιάς.

Στην συγκεκριμένη διαμόρφωση ο μηχανισμός περιστροφής ο οποίος επιλέχτηκε είναι το μοντέλο AS20RS485 της εταιρίας COP-USA. Ο συγκεκριμένος μηχανισμός μπορεί να δεχθεί φορτία βάρους έως και 6kg τα οποία μπορεί να τα στρέψει οριζόντια και κατακόρυφα με ακρίβεια 2° μοιρών. Το εξωτερικό κάλυμμα του μηχανισμού έχει πιστοποίηση λειτουργίας IP67 οπότε μπορεί να λειτουργήσει χωρίς προβλήματα σε θαλάσσιο περιβάλλον.



Εικόνα. 3.8: Μηχανισμός περιστροφής AS20RS485.

Ο τρόπος με το οποίο εκτελείται η οριζόντια και η κατακόρυφη περιστροφή από τον μηχανισμό στρέψης καθορίζεται από έναν ελεγκτή ο οποίος βρίσκεται ενσωματωμένος εντός της συσκευής. Ο ενσωματωμένος ελεγκτής μέσω μίας σειριακής θύρας RS485

δέχεται τις εντολές ελέγχου οι οποίες κωδικοποιούνται σύμφωνα με το πρωτόκολλο Pelco D.

Για να μπορεί να λαμβάνει ο ενσωματωμένος ελεγκτής του μηχανισμού στρέψης με τον σωστό τρόπο τις εντολές ελέγχου που στέλνονται από την σειριακή θύρα RS232 του μικροελεγκτή παρεμβάλετε στην μεταξύ τους επικοινωνία ένας μετατροπέας RS232/RS485.

Στις αρχικές δοκιμές στον μηχανισμό περιστροφής προσαρμόστηκε η WiFi κεραία NanoStation5 της εταιρίας Ubiquiti. Η κεραία λειτουργεί στην ζώνη συχνοτήτων των $5GHz$ όπου είναι ελεύθερη για χρήση εντός Ε.Ε, προσφέροντας ευρύ φάσμα κι αξιόπιστη λειτουργία για ζεύξεις μεγάλων αποστάσεων. Ο ενσωματωμένος δρομολογητής (radio router) που υπάρχει μαζί με την κεραία υποστηρίζει ταχύτητες έως $25 + Mbps$ σε TCP/IP για αποστάσεις έως και τα $10km$. Η συγκεκριμένη κεραία είναι ιδανική για να χρησιμοποιηθεί σε Point-to-Point (PtP) ή Point-to-Multipoint (PtMP) εφαρμογές.



Εικόνα. 3.9: Κεραία NanoStation5.

Στην Εικόνα 3.10 παρουσιάζεται η διαμόρφωση που είχε η διάταξη στην δεύτερη και την τρίτη γενιά:



Εικόνα. 3.10: Διαμόρφωση βάσης περιστροφής δεύτερης & τρίτης γενιάς.

Σε αυτή την διαμόρφωση ο μηχανισμός στρέψης που επιλέχθηκε ήταν το μοντέλο PT-3002CR της εταιρίας 2BSecurity System. Ο συγκεκριμένος μηχανισμός στρέψης ανήκει στην κατηγορία "heavy duty" και μπορεί να δεχθεί φορτία βάρους έως και 25kg τα οποία μπορεί να τα στρέψει οριζόντια και κατακόρυφα με ακρίβεια 1° μοίρας. Το εξωτερικό κάλυμμα του μηχανισμού έχει πιστοποίηση λειτουργίας IP67 οπότε μπορεί να λειτουργήσει χωρίς προβλήματα σε θαλάσσιο περιβάλλον.



Εικόνα. 3.11: Μηχανισμός περιστροφής PT-3002CR.

Ο τρόπος με το οποίο εκτελείται η οριζόντια και η κατακόρυφη περιστροφή από τον μηχανισμό στρέψης καθορίζεται από έναν ελεγκτή ο οποίος βρίσκεται ενσωματωμένος εντός της συσκευής. Ο ενσωματωμένος ελεγκτής μέσω μίας σειριακής θύρας RS485 δέχεται τις εντολές ελέγχου οι οποίες κωδικοποιούνται σύμφωνα με το πρωτόκολλο Pelco D. Για να μπορεί να λαμβάνει ο ενσωματωμένος ελεγκτής του μηχανισμού στρέψης με τον σωστό τρόπο τις εντολές ελέγχου που στέλνονται από την σειριακή θύρα RS232 του μικροελεγκτή παρεμβάλετε στην μεταξύ τους επικοινωνία ένας μετατροπέας RS232/RS485.

Η κεραία WiFi που προσαρμόστηκε σε αυτή την διαμόρφωση στον μηχανισμό περιστροφής είναι η κεραία Rocket Dish RD-5G-30 της εταιρίας Ubiquiti. Μαζί με την κεραία συνδέεται κι ο δρομολογητής (radio router) RM5-Ti της ίδιας εταιρίας. Η κεραία λειτουργεί στην ζώνη συχνοτήτων των 5GHz όπου είναι ελεύθερη για χρήση εντός Ε.Ε, προσφέροντας ευρύ φάσμα κι αξιόπιστη λειτουργία για ζεύξεις μεγάλων αποστάσεων.



Εικόνα. 3.12: Κεραία RocketDish RD-5G-30.

Ο δρομολογητής (radio router) μαζί με την κεραία υποστηρίζουν ταχύτητες έως $150 + Mbps$ σε TCP/IP για αποστάσεις έως και τα $50km$. Η συγκεκριμένη κεραία είναι ιδανική για να χρησιμοποιηθεί σε Point-to-Point (PtP) ή Point-to-Multipoint (PtMP) εφαρμογές.



Εικόνα. 3.13: Ο δρομολογητής(radio router) RM5-Ti.

3.4.3 Ενσωματωμένο Σύστημα Ελέγχου

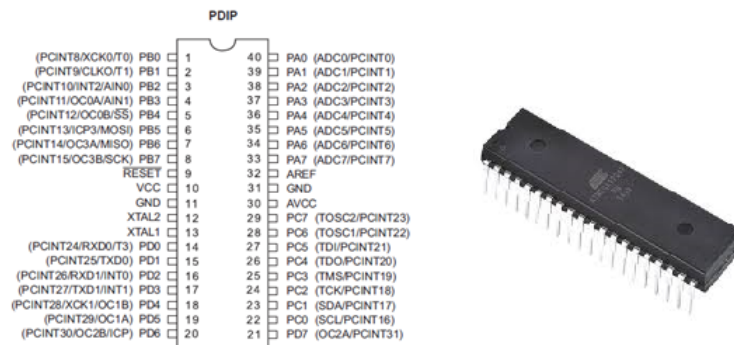
Το ενσωματωμένο σύστημα ελέγχου αποτελείται από την αναπτυξιακή πλακέτα STK-500 πάνω στην οποία βρίσκεται τοποθετημένος ο μικροελεγκτής AVR ATmega1284P-PU, έναν αμφίδρομο μετατροπέα σειριακής επικοινωνίας RS232/RS485, ένα πρωτότυπο ολοκληρωμένο κύκλωμα που υλοποιεί έναν οδηγό ενίσχυσης/αποενίσχυσης για τα σήματα της σειριακής RS232 κι από δύο τροφοδοτικά των 12 και των 5 Volt αντίστοιχα. Ακολουθεί παρακάτω η αναλυτική παρουσίαση του κάθε υποσυστήματος από τα οποία αποτελείται το ενσωματωμένο σύστημα ελέγχου.

3.4.3.1 Μικροελεγκτής AVR

Η κεντρική μονάδα επεξεργασίας του συστήματος είναι ο μικροελεγκτής AVR των 8bit ATMega1284p (Εικόνα 3.14) της εταιρίας ATMEL. Ο συγκεκριμένος μικροελεγκτής διαθέτει δύο σειριακές θύρες επικοινωνίας (two programmable serial USART), μεγάλη In-System Self-Programmable Flash (128KBytes) η οποία επαρκεί για την απεικόνιση όλων των υπολογιστικών βημάτων και των αποφάσεων που εκτελεί ο αλγόριθμος της γεωδαισίας.

Επιπλέον διαθέτει μεγάλη internal SRAM (16KBytes) η οποία επαρκεί για την αποθήκευση προσωρινών δεδομένων που παράγονται κατά τους υπολογισμούς, υποστήριξη float και double αριθμών και τέλος υποστηρίζει κρύσταλλο συχνότητας έως και $20MHz$ με αποτέλεσμα την γρηγορότερη εκτέλεση των υπολογισμών σε σχέση με άλλους μικροελεγκτές.

Για τον εύκολο προγραμματισμό και την δοκιμή των μικροελεγκτών AVR πριν αυτοί τοποθετηθούν σε PCBs η ίδια εταιρία παρέχει την αναπτυξιακή πλακέτα STK-500 η οποία διαθέτει όλες εκείνες τις διεπαφές που απαιτούνται για τον προγραμματισμό, την δοκιμή και την επικοινωνία του μικροελεγκτή με διάφορα περιφερειακά.

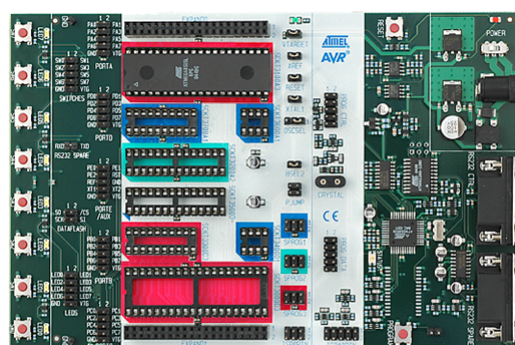


Εικόνα. 3.14: Ο μικροελεγκτής ATmega1284.

3.4.3.2 Αναπτυξιακή Πλακέτα STK-500

Η αναπτυξιακή πλακέτα STK-500 η οποία κατασκευάζεται από την εταιρία Atmel είναι μία διάταξη με την οποία μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε μια μεγάλη ποικιλία από μικροελεγκτές AVR για την ανάπτυξη πρωτότυπων εφαρμογών. Η συγκεκριμένη αναπτυξιακή πλακέτα υποστηρίζει μικροελεγκτές της μορφής DIP των 8, 20, 28 και 40 ακροδεκτών των οποίων ο προγραμματισμός γίνεται με την χρήση της σειριακής θύρας RS232 και με την χρήση συμβατών προγραμμάτων όπως π.χ. το AVR Studio 4.

Εκτός από τις θέσεις για να συνδεθούν τα διάφορα είδη των μικροελεγκτών, η πλακέτα διαθέτει έτοιμα περιφερειακά εισόδου/εξόδου για να γίνει δυνατή η άμεση σύνδεση του μικροελεγκτή με κάποιο άλλο ψηφιακό σύστημα είτε μέσω ακροδεκτών επέκτασης στάθμης TTL (expansion connectors) είτε μέσω της σειριακής θύρας τύπου RS232. Η ύπαρξη των έτοιμων περιφερειακών βοηθά στην γρήγορη κι εύκολη αξιοποίηση των δυνατοτήτων του μικροελεγκτή χωρίς την ανάγκη κατασκευής επιπλέον αυτοσχέδιων περιφερειακών.



Εικόνα. 3.15: Αναπτυξιακή πλακέτα STK-500.

3.4.3.3 Μετατροπέας RS232/485

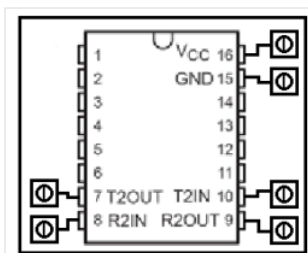
Ο μικροελεγκτής AVR που χρησιμοποιήσαμε διαθέτει σειριακή θύρα επικοινωνίας RS232 για να στέλνει τις εντολές ελέγχου προς την βάση περιστροφής. Όμως ο ενσωματωμένος ελεγκτής που διαθέτει η βάση περιστροφής χρησιμοποιεί σειριακή θύρα επικοινωνίας RS485. Συνεπώς για να υπάρξει δυνατότητα σωστής επικοινωνίας μεταξύ του αναπτυξιακού STK-500 και της βάσης περιστροφής θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένας μετατροπέας RS232/RS485 (Εικόνα 3.16). Ο μετατροπέας RS232/RS485 είναι μια συσκευή πλήρους αμφίδρομης (full-duplex) επικοινωνίας η οποία λαμβάνει δεδομένα που ακολουθούν την κωδικοποίηση του πρωτοκόλλου RS232 και τα μετατρέπει ώστε να ακολουθούν το πρωτόκολλο RS485 κι αντιστρόφως.



Εικόνα. 3.16: Μετατροπέας RS232/485.

3.4.3.4 RS232 Driver

Ο RS232 driver είναι ένα πρωτότυπο κύκλωμα (Custom PCB) το οποίο αποτελείται από το ολοκληρωμένο κύκλωμα MAX232N της εταιρίας Texas Instruments, τους πυκνωτές που χρειάζονται σύμφωνα με το datasheet του κατασκευαστή για την σωστή λειτουργία του ολοκληρωμένου κι από έξι (6) υποδοχές με βίδες (pcb screw connectors). Τα pin τα οποία θα συνδεθούν με τις υποδοχές (PCB screw connectors) είναι το pin7 (T2out), το pin8 (R2in), το pin10 (T2in), το pin9 (R2out), το pin16 (Vcc) και το pin15 (Gnd). Για την τροφοδοσία του κυκλώματος MAX232N απαιτείται τάση των 5 Volt. Στην Εικόνα 3.17 παρουσιάζεται το σχηματικό διάγραμμα που δείχνει τις συνδεσμολογίες των pin με τις υποδοχές πάνω στο πρωτότυπο κύκλωμα.



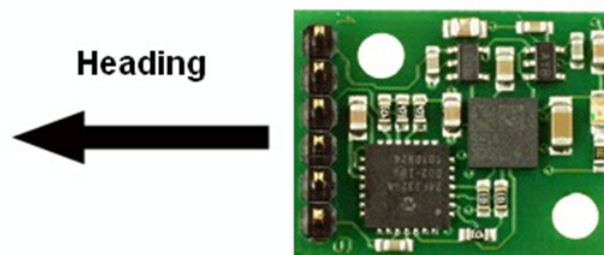
Εικόνα. 3.17: Το ολοκληρωμένο κύκλωμα MAX232N.

Το συγκεκριμένο κύκλωμα πραγματοποιεί πλήρη αμφίδρομη επικοινωνία (full-duplex) κατά την οποία τα δεδομένα που δέχεται στα pin εισόδου και τα οποία βρίσκονται σε στάθμη τάσης TTL τα μετατρέπει στα pin εξόδου στη πρότυπη στάθμη που ορίζεται σύμφωνα με το πρωτόκολλο RS232 κι αντιστρόφως.

3.4.3.5 Πυξίδα CMPS01

Η πυξίδα που χρησιμοποιήθηκε αποκλειστικά και μόνο στην δεύτερη γενιά του συστήματος είναι η πυξίδα CMPS10 (Εικόνα 3.18) της εταιρίας Devantech Ltd. Η πυξίδα διαθέτει ένα μαγνητόμετρο κι ένα επιταχυνσιόμετρο τριών αξόνων (3D-axis sensors) αντίστοιχα καθώς επίσης κι έναν ισχυρό επεξεργαστή των 16bit. Οι δύο αισθητήρες χρησιμοποιώντας το μαγνητικό πεδίο της Γης παράγουν ο καθένας ένα σετ τριών τιμών (x, y, z) τα οποία τα λαμβάνει ο επεξεργαστής και τα χρησιμοποιεί ώστε να προσδιορίζει την κλίση και την στρέψη του PCB της πυξίδας στον χώρο ως προς ένα σημείο αναφοράς που έχει οριστεί από τις εργοστασιακές ρυθμίσεις.

Υπολογίζοντας λοιπόν με ακρίβεια την κλίση και την στρέψη του PCB ο επεξεργαστής μπορεί με ακρίβεια να προσδιορίσει τον προσανατολισμό του PCB ως προς μαγνητικό Βορρά του μαγνητικού πεδίου της Γης με αποτέλεσμα να γίνεται κι ο άμεσος υπολογισμός του αζιμούθιου. Το αζιμούθιο μπορεί να δοθεί από την πυξίδα ως έξοδος με τρεις διαφορετικούς τρόπους και πιο συγκεκριμένα μέσω της σειριακής διεπαφής RS232, μέσω της σειριακής διεπαφής I2C και τέλος με την χρήση της διεπαφής PWM. Η τιμή της εξόδου ανανεώνεται με συχνότητα 1Hz κι έχει την μορφή 0 – 3599 που αντιπροσωπεύει την τιμή των 0° μοιρών έως και την τιμή των 359.9° μοιρών.



Εικόνα. 3.18: Η πυξίδα CMPS01.

3.4.4 Σταθμός Βάσης Στεριάς

Κάθε σταθμός βάσης αποτελείται από μία κεραία airMax AM-V5G-Ti της εταιρίας Ubiquiti μαζί με ένα radio router RM5-Ti της ίδιας εταιρίας το οποίο βρίσκεται προσαρμοσμένο πάνω στην κεραία. Η κεραία είναι τύπου sector και λειτουργεί στην ζώνη συχνοτήτων των $5GHz$ όπου είναι ελεύθερη για χρήση εντός Ε.Ε, προσφέροντας ευρύ φάσμα κι αξιόπιστη λειτουργία για ζεύξεις μεγάλων αποστάσεων.

Μπορεί να ρυθμιστεί σε τρεις διαφορετικές διαμορφώσεις κατά τις οποίες παρέχει κάλυψη σήματος (antenna coverage) σε μία περιοχή των 60° , 90° κι 120° μοιρών γύρω από την κεραία με κέρδος κεραίας (antenna gain) τα $21dBi$, $20dBi$ και $19dBi$ αντίστοιχα. Ο δρομολογητής (radio router) μαζί με την κεραία υποστηρίζουν ταχύτητες έως $150+Mbps$ σε *TCP/IP* για αποστάσεις (antenna range) έως και τα $50km$. Η συγκεκριμένη κεραία είναι ιδανική για να χρησιμοποιηθεί σε Point-to-Point (PtP) ή Point-to-Multipoint (PtMP) εφαρμογές.



Εικόνα. 3.19: Η κεραία airMax AM-V5G-Ti μαζί με το radio router RM5-Ti.

Κεφάλαιο 4

Λειτουργικότητα Συστήματος

4.1 Εισαγωγή

Στο προηγούμενο κεφάλαιο περιγράψαμε αναλυτικά την αρχιτεκτονική του συστήματος POTA και αναφερθήκαμε με λεπτομέρεια στον τρόπο σύνδεσης των επιμέρους υποσυστημάτων που το αποτελούν. Στο παρόν κεφάλαιο θα παρουσιάσουμε την αλγοριθμική λειτουργία των εξαρτημάτων τα οποία διαθέτουν firmware και θα δείξουμε αναλυτικά βήμα-βήμα τον τρόπο με τον οποίο αλληλεπιδρούν με τα υπόλοιπα εξαρτήματα των δύο υποσυστημάτων.

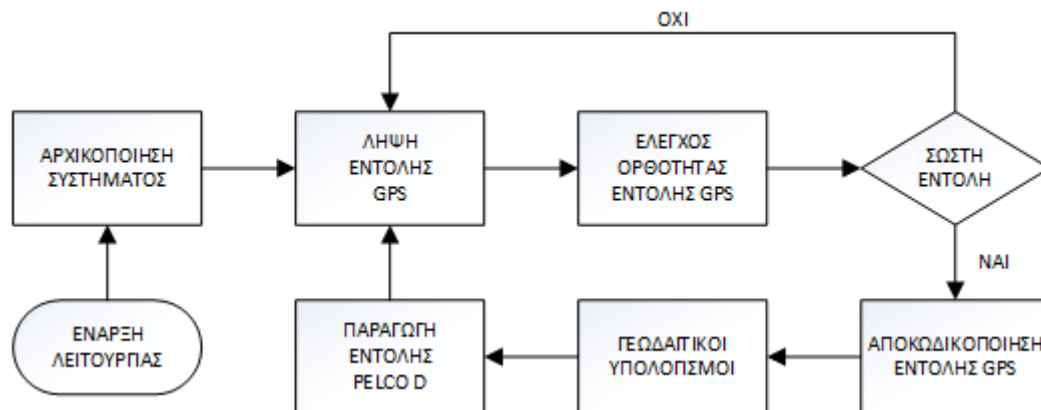
Στο υποσύστημα της στεριάς το εξάρτημα το οποίο διαθέτει firmware είναι το router RM5-Ti το οποίο βρίσκεται προσαρμοσμένο πάνω στην κεραία AM-V5G-Ti. Πιο συγκεκριμένα στο συγκεκριμένο router εκτελείτε το λειτουργικό σύστημα airOS.v5 το οποίο έχει ως βασική λειτουργία να ρυθμίζει τις παραμέτρους επικοινωνίας της κεραίας ώστε αυτή να λειτουργεί ομαλά. Λεπτομέρειες κι οδηγίες για το πώς και ποιες ρυθμίσεις υιοθετήσαμε στην δικιά μας αρχιτεκτονική παρουσιάζονται στο Παράρτημα Ζ.

Το υποσύστημα του πλοίου διαθέτει δύο επιμέρους εξαρτήματα τα οποία διαθέτουν firmware. Το ένα εξάρτημα είναι το router RM5-Ti που είναι τοποθετημένο πάνω στην κεραία RD-5G και το άλλο είναι ο μικροελεγκτής AVR που βρίσκεται στο ενσωματωμένο σύστημα ελέγχου της βάσης περιστροφής. Για το firmware του router ισχύει ότι και στην περίπτωση του router της στεριάς, έχοντας όμως διαφορετικές ρυθμίσεις καθώς η κεραία του πλοίου ως κόμβος του δικτύου έχει άλλο ρόλο σε σχέση με την κεραία της στεριάς. Περισσότερες λεπτομέρειες για αυτές τις ρυθμίσεις παρουσιάζονται στο Παράρτημα Ζ.

Το firmware το οποίο εκτελείται στον μικροελεγκτή AVR πραγματοποιεί το σύνολο των γεωδαιτικών υπολογισμών οι οποίοι απαιτούνται ώστε η βάση περιστροφής να έχει συνεχώς προσανατολισμένη την κεραία του πλοίου προς την σωστή κατεύθυνση και τις ενέργειες που χρειάζονται για την σωστή επικοινωνία των αισθητήρων με τις διεπαφές επικοινωνίας που διαθέτει ο μικροελεγκτής.

Ο τρόπος λειτουργίας του firmware παρουσιάζεται στα παρακάτω διάγραμμα ροής (flow chart) όπου το κάθε block του διαγράμματος αποτελεί και μία διακριτή διεργασία που εκτελεί ο μικροελεγκτής. Καθώς υπήρξαν τρεις διαφορετικές αρχιτεκτονικές θα παρουσιαστεί το διάγραμμα ροής για την κάθε μία αρχιτεκτονική κι έπειτα θα ακολουθήσει αναλυτική επεξήγηση της λειτουργικότητας ανά διεργασία.

4.2 Διάγραμμα Ροής Πρώτης Γενιάς



Εικόνα. 4.1: Διάγραμμα ροής πρώτης γενιάς.

Αρχικά μόλις τροφοδοτηθεί με ρεύμα το ενσωματωμένο σύστημα ο μικροελεγκτής αρχίζει την αποστολή εντολών αρχικοποίησης προς τον δέκτη GPS ώστε να ρυθμιστούν οι διάφοροι παράμετροι λειτουργίας του δέκτη. Αφού ολοκληρωθεί η ρύθμιση του δέκτη το ενσωματωμένο αρχίζει να στέλνει εντολές ελέγχου προς τον μηχανισμό στρέψης ώστε αυτός να τοποθετηθεί στην θέση εκκίνησης. Ως θέση εκκίνησης θεωρούμε την κατάσταση κατά την οποία ο μηχανισμός έχει περιστραφεί κατά 0° μοίρες στο οριζόντιο επίπεδο και η κεραία είναι κάθετη προς αυτό.

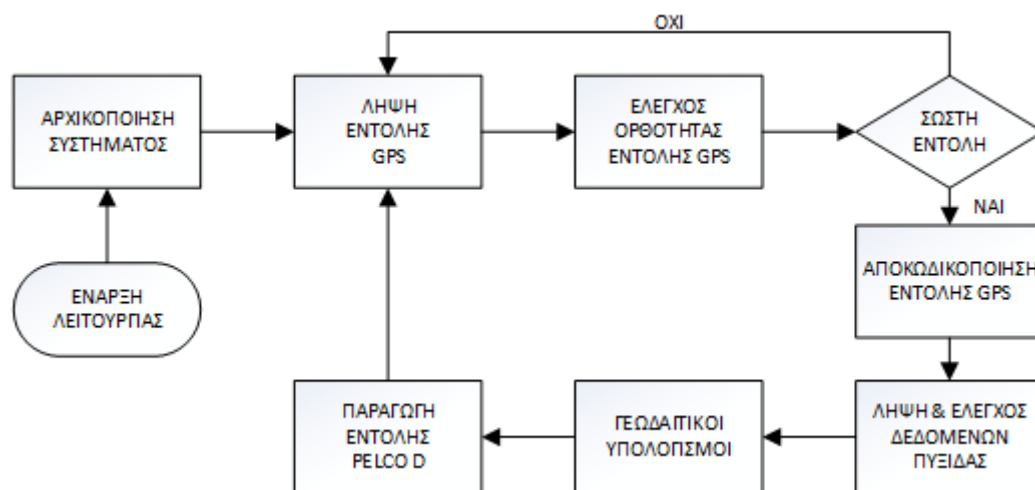
Αφού λοιπόν ολοκληρωθεί η διεργασία της αρχικοποίησης ξεκινάει η βασική λειτουργία του συστήματος κατά την οποία ο δέκτης GPS αρχίζει και λαμβάνει από το δίκτυο των δορυφόρων του GPS τα γεωδαιτικά δεδομένα σε μορφή κωδικοποιημένων προτάσεων που ακολουθούν το πρωτόκολλο NMEA. Ο ρυθμός με τον οποίο ανανεώνονται τα δεδομένα λήψης από το δίκτυο των δορυφόρων είναι μία πρόταση NMEA ανά δευτερόλεπτο. Όταν η πρόταση NMEA ληφθεί από τον δέκτη GPS αποστέλλεται με την χρήση σειριακής επικοινωνίας (RS-232) στον μικροελεγκτή ο οποίος κι ελέγχει την ορθότητα των δεδομένων που περιέχονται σε αυτήν με την χρήση μίας μεθόδου ανίχνευσης σφαλμάτων.

Εάν από τον έλεγχο προκύψει ότι η πρόταση είναι εσφαλμένη αυτή απορρίπτεται από τον μικροελεγκτή και ξεκινά την διαδικασία λήψης μιας νέας πρότασης από τον δέκτη GPS. Εάν όμως η πρόταση είναι σωστή τότε ακολουθεί το επόμενο βήμα κατά το οποίο γίνεται η αποκωδικοποίηση της πρότασης σύμφωνα με το προδιαγραφές του πρωτοκόλλου NMEA. Κατά την διεργασία της αποκωδικοποίησης γίνεται ο διαχωρισμός όλων των απαραίτητων γεωδαιτικών δεδομένων που περιέχονται σε μία πρόταση NMEA και τα οποία χρησιμοποιούνται για τους γεωδαιτικούς υπολογισμούς. Οι γεωδαιτικοί υπολογισμοί που εκτελούνται από τον μικροελεγκτή περιλαμβάνουν:

1. Την επιλογή της κεραίας της ακτής προς την οποία η κεραία του πλοίου θα στραφεί.
2. Την απόσταση αυτής της κεραίας η οποία τελικά επιλέχθηκε στην στεριά από την κεραία η οποία βρίσκεται στο πλοίο.
3. Την οριζόντια και κατακόρυφη γωνία που πρέπει να στραφεί ο μηχανισμός στρέψης από την υπάρχουσα θέση στην οποία βρίσκεται ώστε να στραφεί προς την κεραία που έχει επιλεγεί.

Βάσει των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από τους υπολογισμούς για την γωνία οριζόντιας και κατακόρυφης στρέψης ο μικροελεγκτής παράγει τις αντίστοιχες εντολές ελέγχου οι οποίες βασίζονται στο πρωτόκολλο εντολών Pelco D και τις στέλνει με την χρήση σειριακής επικοινωνίας στον ενσωματωμένο ελεγκτή που διαθέτει ο μηχανισμός περιστροφής. Αφού ολοκληρωθεί η αποστολή των εντολών ο μικροελεγκτής ξεκινάει την ανάγνωση μίας νέας πρότασης NMEA από τον δέκτη GPS.

4.3 Διάγραμμα Ροής Δεύτερης Γενιάς



Εικόνα. 4.2: Διάγραμμα ροής δεύτερης γενιάς.

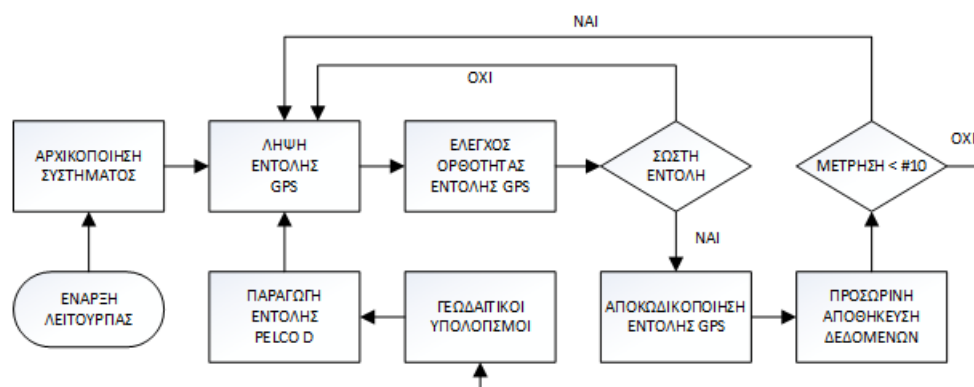
Η αλγοριθμική λειτουργία του συστήματος της δεύτερης γενιάς ακολουθεί μέχρι και την διεργασία των γεωδαιτικών υπολογισμών την ίδια αλγοριθμική ροή με το σύστημα της πρώτης γενιάς. Η βασική διαφοροποίηση ξεκινά από εκείνη την διεργασία και μετά καθώς σε αυτή την έκδοση χρησιμοποιούμε τα δεδομένα της πυξίδας και διαφορετικού τύπου μηχανισμό περιστροφής.

Η πυξίδα έχει τοποθετηθεί πάνω στον μηχανισμό περιστροφής και επικοινωνεί με την χρήση πρωτοκόλλου I2C με το ενσωματωμένο σύστημα ελέγχου. Με την χρήση της πυξίδας το ενσωματωμένο μπορεί να γνωρίζει την κάθε χρονική στιγμή κατά πόσο έχει περιστραφεί η κεραία σε σχέση με τον μαγνητικό Βορρά, αυξάνοντας έτσι την ακρίβεια της στρέψης του μηχανισμού περιστροφής για τις τιμές που προκύπτουν από τους γεωδαιτικούς υπολογισμούς.

Όταν πραγματοποιηθούν οι γεωδαιτικοί υπολογισμοί ο μικροελεγκτής λαμβάνει από την πυξίδα το αζιμούθιο της κεραίας και το συνυπολογίζει στα αποτελέσματα των γεωδαιτικών υπολογισμών. Με τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τον συνυπολογισμό ο μικροελεγκτής παράγει τις αντίστοιχες εντολές ελέγχου οι οποίες και σε αυτή την έκδοση βασίζονται στο πρωτόκολλο εντολών Pelco D και τις στέλνει με την χρήση της σειριακής επικοινωνίας στον ενσωματωμένο ελεγκτή που διαθέτει ο μηχανισμός περιστροφής.

Αφού αποσταλεί η εντολή κι ο μηχανισμός αρχίσει να στρέφει την κεραία προς το επιθυμητό αζιμούθιο, ο μικροελεγκτής συνεχίζει να λαμβάνει τιμές για το τρέχων αζιμούθιο που βρίσκεται η κεραία από την πυξίδα περιμένοντας μέχρι να φθάσει στο επιθυμητό αζιμούθιο και να δώσει στην βάση περιστροφής εντολή παύσης της περιστροφής. Τέλος αφού ολοκληρωθεί η αποστολή της εντολής παύσης ο μικροελεγκτής ξεκινάει την διεργασία για την ανάγνωση μίας νέας πρότασης NMEA από τον δέκτη GPS.

4.4 Διάγραμμα Ροής Τρίτης Γενιάς



Εικόνα. 4.3: Διάγραμμα ροής τρίτης γενιάς.

Όπως αναφέραμε στην Ενότητα 3.3.2 λόγω εξωγενών περιορισμών στην τρίτη γενιά του συστήματος η πυξίδα χρειάστηκε να αφαιρεθεί. Χωρίς την ύπαρξη της πυξίδας και χωρίς κάποια αλλαγή στον αλγόριθμό που εκτελείται στον μικροελεγκτή η λειτουργικότητα της τρίτης γενιάς του συστήματος είναι ακριβώς ίδια με αυτή της πρώτης. Όμως καθώς επιθυμούσαμε να έχουμε μικρότερο σφάλμα κατά την στρέψη της κεραίας σε σχέση με αυτό που είχαμε παρατηρήσει στην πρώτη γενιά συστήματος, αποφασίσαμε να χρησιμοποιήσουμε την μέση τιμή $N=5$ υπολογισμών του αζιμούθιου ώστε να προκύψει τελικά η τιμή που θα δοθεί στον μηχανισμό στρέψης.

Η συγκεκριμένη τιμή προέκυψε μετά από εκτεταμένες εργαστηριακές δοκιμές κατά τις οποίες συμπεράναμε ότι για τιμές μεγαλύτερες του πέντε η βελτίωση της ακρίβειας δεν είχε ουδεμία επίπτωση στην λειτουργία του μηχανισμού στρέψης. Οι νέες προδιαγραφές που εισάγαμε στην αλγοριθμική λειτουργία του συστήματος το διαφοροποιούν σε σχέση με τις προηγούμενες εκδόσεις από την διεργασία της "Αποκωδικοποίηση Εντολής GPS" και μετά. Πιο συγκεκριμένα αφού γίνει η αποκωδικοποίηση της εντολής του GPS αντί τα δεδομένα που προκύπτουν να σταλούν στην διεργασία των "Γεωδαιτικών Υπολογισμών" αυτά αποθηκεύονται προσωρινά στον μικροελεγκτή στην μορφή πακέτων δεδομένων και ξεκινάει η λήψη μιας νέας εντολής από το GPS.

Όταν θα έχουν αποθηκευτεί τα δεδομένα από πέντε διαδοχικές εντολές του GPS τότε για κάθε ένα πακέτο δεδομένων γίνονται όλοι οι γεωδαιτικοί υπολογισμοί ώστε να προκύψει η οριζόντια και κατακόρυφη γωνία περιστροφής ανά πακέτο δεδομένων κι έπειτα για αυτές τις τιμές γίνεται ο υπολογισμός της μέσης γωνίας οριζόντιας και κατακόρυφης περιστροφής. Έστερα με την χρήση των μέσων τιμών των γωνιών γίνεται η παραγωγή των εντολών ελέγχου για τον μηχανισμό στρέψης. Αφού ολοκληρωθεί η αποστολή των εντολών ο μικροελεγκτής ξεκινάει την ανάγνωση μίας νέας πρότασης NMEA από τον δέκτη GPS.

4.5 Λειτουργία ανά Διεργασία

Σε αυτή την ενότητα εξηγούμε και αναλύουμε τον τρόπο λειτουργίας του κάθε block διεργασίας που παρουσιάσαμε στα παραπάνω flow chart περιγράφοντας παράλληλα τα προβλήματα που αντιμετωπίσαμε και τον τρόπο με τον οποίο αυτά επιλύθηκαν. Επιπλέον παρουσιάζουμε την σχετική μελέτη για διάφορα θέματα που αφορούσαν την σχεδίαση και τις παραδοχές που εφαρμόσαμε.

4.5.1 Αρχικοποίηση Συστήματος

Αρχικά ο μικροελεγκτής ελέγχει για τις τυπικές τιμές baudrate (π.χ 2400 bps, 4800 bps, 9600 bps) της σειριακής θύρας RS-232, την μορφή των δεδομένων που λαμβάνει από τον δέκτη GPS ώστε ο μικροελεγκτής να εξακριβώσει σε πιο baudrate βρίσκεται ρυθμισμένος ο δέκτης.

Καθώς στην δικιά μας εφαρμογή έχουμε αποφασίσει το baudrate στο οποίο θα συγχρονίζεται ο μικροελεγκτής με το GPS θα είναι τα 4800 bps, εάν κατά τον έλεγχο ο μικροελεγκτής εντοπίσει ότι ο δέκτης GPS βρίσκεται σε διαφορετικό baudrate από τα 4800 bps, τότε στέλνει μία εντολή επαναπρογραμματισμού στο GPS στο συγκεκριμένο baudrate ώστε δέκτης να μεταβεί στα 4800 bps κι αμέσως μετά μεταβαίνει κι ο μικροελεγκτής στο νέο baudrate ώστε να υπάρξει συγχρονισμός.

Αφού ρυθμιστεί η επικοινωνία με το GPS ο μικροελεγκτής στέλνει εντολές ελέγχου προς τον μηχανισμό περιστροφής ώστε αυτός να βρεθεί στην θέση εκκίνησης όπως αυτή προέκυψε μετά από βαθμονομήσεις που έγιναν στο εργαστήριο. Στην θέση εκκίνησης θεωρούμε ότι ο μηχανισμός στρέψης και η κεραία που είναι πάνω σε αυτόν αντίστοιχα έχουν αζιμούθιο 0° μοίρες.

4.5.2 Λήψη Εντολής GPS

Έχοντας ολοκληρωθεί η αρχικοποίηση του συστήματος ο δέκτης GPS αρχίζει να στέλνει μέσω της σειριακής θύρας προτάσεις μεταβλητού μήκους έως και 80 χαρακτήρων τύπου ASCII οι οποίες ακολουθούν την κωδικοποίηση του πρωτόκολλου NMEA. Γενικά το πρωτόκολλο NMEA διαθέτει τυποποιημένες δεκάδες προτάσεις που χρησιμοποιούνται σε διάφορων ειδών εφαρμογές, όμως ο συγκεκριμένος δέκτης GPS που χρησιμοποιούμε αξιοποιεί μοναχά τέσσερις προτάσεις από το γενικό πρωτόκολλο.

Πιο συγκεκριμένα από το γενικό πρωτόκολλο χρησιμοποιεί την πρόταση τύπου GGA (Global Positioning System Fixed Data), την πρόταση τύπου GSA (GNSS DOP and Active Satellites), την πρόταση τύπου GSV (GNSS Satellites in View) και την πρόταση τύπου RMC (Recommended Minimum Specific GNSS Data). Σύμφωνα με τις απαιτήσεις της εφαρμογής μας δεν χρειάζεται να χρησιμοποιηθούν και οι τέσσερις εντολές που μας προσφέρει ο δέκτης πάρα μοναχά τις εντολές τύπου GGA και RMC οι οποίες περιέχουν τις γεωδαιτικές πληροφορίες που θα χρησιμοποιήσει το ενσωματωμένο σύστημα.

Ο μικροελεγκτής για την διαδικασία της λήψης, της σύνθεσης και της επεξεργασίας μίας εντολής GGA ή μίας εντολής RMC, λαμβάνει από τον δέκτη GPS δεδομένα με ρυθμό 4800 bps σε μορφή χαρακτήρων ASCII. Ο κάθε χαρακτήρας που λαμβάνεται από τον μικροελεγκτή αποθηκεύεται προσωρινά σε έναν καταχωρητή ο οποίος μετά από μερικούς δεκάδες κύκλους ρολογιού επανεγγράφεται από τον επόμενο χαρακτήρα που θα έχει ληφθεί από τον δέκτη GPS. Ο χαρακτήρας που βρίσκεται προσωρινά αποθηκευμένος στον καταχωρητή αξιοποιείται από την τρέχουσα διεργασία με διαφορετικό τρόπο ανάλογα με την κατάσταση λειτουργίας στην οποία βρίσκεται εκείνη την στιγμή.

Πιο συγκεκριμένα η διεργασία μετά την λήψη ενός χαρακτήρα από το GPS μπορεί να βρίσκεται σε μία από τις δύο λειτουργίες: α) Την αναζήτηση μίας νέας πρότασης NMEA και β) Την σύνθεση μίας πρότασης NMEA. Όταν η διεργασία βρίσκεται στην λειτουργία για την αναζήτηση μίας νέας πρότασης NMEA ο κάθε νέος χαρακτήρας που αποθηκεύεται στον καταχωρητή ελέγχεται για το εάν είναι το σύμβολο του δολαρίου ("\$"). Εάν αυτό ισχύει τότε ο μικροελεγκτής θεωρεί ότι ξεκινάει η αποστολή μίας νέας πρότασης NMEA από το GPS και η διεργασία περνάει στην λειτουργία της σύνθεσης μίας πρότασης NMEA.

Κατά την διαδικασία της σύνθεσης μίας πρότασης NMEA ο μικροελεγκτής αφού αντιγράψει από τον προσωρινό καταχωρητή τον χαρακτήρα του δολαρίου σε μία θέση μνήμης του μικροελεγκτή, συνεχίζει να κάνει το ίδιο και με τους επόμενους χαρακτήρες που ακολουθούν σχηματίζοντας έτσι έναν πίνακα χαρακτήρων ο οποίος αποτελεί μία πρόταση NMEA. Η αποθήκευση των χαρακτήρων θα σταματήσει μόλις εντοπιστεί η ακολουθία $< CR > < LF >$ η οποία σύμφωνα με πρωτόκολλο NMEA καθορίζει τον τερματισμό μιας πρότασης.

Αφού έχει επιτυχώς εντοπιστεί η ακολουθία $< CR > < LF >$ ο μικροελεγκτής προχωράει στην επόμενη διεργασία που είναι ο "Έλεγχος Ορθότητας Εντολής GPS". Εάν όμως δεν εντοπιστεί η ακολουθία $< CR > < LF >$ κι έχουν αντιγραφεί στην μνήμη του μικροελεγκτή πάνω από 80 χαρακτήρες, η πρόταση χαρακτηρίζεται ως εσφαλμένη καθώς το πρωτόκολλο NMEA δεν διαθέτει προτάσεις μεγέθους άνω των 80 χαρακτήρων. Σε αυτή την περίπτωση η πρόταση που είχε αποθηκευτεί στην μνήμη αγνοείται κι ο μικροελεγκτής επανέρχεται στην διαδικασία αναζήτησης νέας πρότασης.

4.5.3 Έλεγχος Ορθότητας Εντολής GPS

Αφού υπάρχει αποθηκευμένη μία πλήρης πρόταση NMEA στην μνήμη του μικροελεγκτή το επόμενο βήμα είναι να ελεγχθεί εάν αυτή η πρόταση δεν περιέχει κάποιο σφάλμα στους χαρακτήρες που αναπαριστούν τις κρίσιμες πληροφορίες. Για τον έλεγχο της ορθότητας μίας πρότασης NMEA υπάρχει στο τέλος της κάθε πρότασης και πριν τους χαρακτήρες τερματισμού $< CR > < LF >$ μία ακολουθία χαρακτήρων ελέγχου (Checksum Field) όπου αναπαριστούν έναν δεκαεξαδικό αριθμό. Ο αριθμός αυτός είναι το αποτέλεσμα της διαδοχικής εφαρμογής λογικών πράξεων XOR στους χαρακτήρες ενός συγκεκριμένου τμήματος της πρότασης.

Το τμήμα αυτό οριοθετείται από το σύμβολο του δολαρίου "\$" μέχρι και τον χαρακτήρα πριν τον αστερίσκο " * " (βλέπε Πίνακα 1). Η λογική πράξη XOR εφαρμόζεται σε έναν αριθμό από χαρακτήρες, οι οποίοι βάση του πίνακα χαρακτήρων ASCII έχουν μία αντιστοίχιση σε δυαδική/δεκαεξαδική/δεκαδική μορφή και το αποτέλεσμα της πράξης XOR , δηλαδή το checksum, μπορεί να εκφραστεί αντίστοιχα στις εναλλακτικές αυτές μορφές. Για την περίπτωση μας επιλέγουμε να το εκφράσουμε σε μορφή δεκαδικού αριθμού. Η γενική μορφή της διαδικασίας παραγωγής του checksum με την χρήση διαδοχικών λογικών πράξεων XOR έχει ως εξής:

Πρόταση $d_0, d_1, d_2, \dots, d_n - 1 \rightarrow$ Παραγωγή του checksum $= d_0 \oplus d_1 \oplus d_2 \oplus \dots \oplus d_n - 1$.

Έχοντας παράγει το checksum της πρότασης το επόμενο πράγμα που πρέπει να κάνουμε είναι να το συγκρίνουμε με το υπάρχων checksum που έχει παραχθεί από τον δέκτη GPS. Για να το πραγματοποιήσουμε αυτό απομονώνουμε από την πρόταση τους δύο χαρακτήρες που αναπαριστούν το πεδίο του checksum (βλέπε Πίνακα 1) και τους αντιστοιχίζουμε κι αυτούς σε δεκαδικό αριθμό. Γενικά η πράξη μετατροπής για ένα δεκαεξαδικό της μορφής έχει ως εξής:

1) Μετατρέπουμε τα επιμέρους ψηφία που απαρτίζουν τον δεκαεξαδικό αριθμό σε δεκαδικούς αριθμούς: $(d_2)_{16} \rightarrow (d_2)_{10}$ και $(d_1)_{16} \rightarrow (d_1)_{10}$

2) Κάνουμε την πράξη που θα μας δώσει τον δεκαδικό αριθμό του πεδίου checksum: $checksum = (d_2)_{10} \cdot 16 + (d_1)_{10}$

Εάν η πρόταση που είναι αποθηκευμένη στην μνήμη είναι σωστή οι δύο τιμές των checksum θα πρέπει να είναι ίσες αλλιώς η πρόταση θεωρείται εσφαλμένη και δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί παρακάτω. Σε αυτή την περίπτωση η πρόταση απορρίπτεται και επιστρέφουμε πάλι στην προηγούμενη διεργασία και στην αναζήτηση μίας νέας πρότασης NMEA. Από την άλλη εάν η πρόταση δεν περιέχει κάποιο σφάλμα ο αλγόριθμος προχωράει στην διεργασία "Αποκωδικοποίηση Εντολών GPS" στην οποία γίνεται η άντληση όλων των αναγκαίων γεωδαιτικών δεδομένων από των διαχωρισμό των πεδίων της πρότασης.

ΚΥΡΙΑ ΠΡΟΤΑΣΗ GGA	
\$GPGGA,121628.000,3531.5678,N,02404.0590,E,1,06,1.8,146.2,M,31.7,M,,0000*5F	
ΚΟΜΜΑΤΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΠΡΑΞΗΣ XOR	CHECKSUM
GPGGA,121628.000,3531.5678,N,02404.0590, E,1,06,1.8,146.2,M,31.7,M,,0000	5F

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1: Παράδειγμα εφαρμογής της XOR σε πρόταση GGA

4.5.4 Αποκωδικοποίηση Εντολών GPS

Το πρώτο βήμα της συγκεκριμένης διεργασίας είναι να καθορίσει το τύπο της πρότασης NMEA. Σε όλες τις προτάσεις του πρωτοκόλλου οι πρώτοι έξι χαρακτήρες ακολουθούν την μορφή \$GPxxx όπου οι χαρακτήρες xxx καθορίζουν τον τύπο της εντολής. Ελέγχοντας λοιπόν αυτούς του έξι χαρακτήρες ο μικροελεγκτής μπορεί να καθορίσει εάν η πρόταση είναι τύπου GGA ή RMC και να προχωρήσει στην αντίστοιχη διαδικασία αποκωδικοποίησης.

Η πρόταση τύπου GGA διαθέτει δεκαέξι διαδοχικά πεδία πληροφορίας τα οποία χωρίζονται μεταξύ τους με το σύμβολο ",". Από το σύνολο των πεδίων αυτά χρειάζονται για την εφαρμογή μας είναι τα τέσσερα διαδοχικά πεδία που ξεκινούν από το τρίτο έως και το έκτο καθώς επίσης και το δέκατο. Στον πίνακα που ακολουθεί έχουμε διαχωρίσει μία εντολή GGA στα πεδία από τα οποία αποτελείται κι έχουμε σκιαγραφήσει αυτά που θα χρησιμοποιήσουμε.

ΠΡΟΤΑΣΗ GGA (Global Positioning System Fixed Data)			
\$GPGGA,121628.000,3531.5678,N,02404.0590,E,1,06,1.8,146.2,M,31.7,M,,0000*5F			
Πεδίο 01	Πεδίο 02	Πεδίο 03	Πεδίο 04
\$GPGGA	121628.000	3531.5678	N
Πεδίο 05	Πεδίο 06	Πεδίο 07	Πεδίο 08
02404.0590	E	1	06
Πεδίο 09	Πεδίο 10	Πεδίο 11	Πεδίο 12
1.8	146.2	M	31.7
Πεδίο 13	Πεδίο 14	Πεδίο 15	Πεδίο 16
M	-	0000	*5F

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2: Απεικόνιση των πεδίων που αποτελούν μία πρόταση GGA

Το Πεδίο 03 απεικονίζει την τιμή του γεωγραφικού πλάτους εκφρασμένο σε μοίρες, το Πεδίο 04 καθορίζει εάν βρισκόμαστε στο Νότιο ή στο Βόρειο ημισφαίριο με βάση αναφοράς τον μεσημβρινό του Γκρίνουιτς, το Πεδίο 05 απεικονίζει την τιμή του γεωγραφικού μήκους κι αυτό εκφρασμένο σε μοίρες και το Πεδίο 06 καθορίζει εάν βρισκόμαστε στο Ανατολικό ή Δυτικό ημισφαίριο με βάση αναφοράς τον ισημερινό.

Το Πεδίο 10 μας δίνει το υψόμετρο σε μέτρα στο οποίο βρίσκεται ο δέκτης GPS σε σχέση με το επίπεδο της θάλασσας. Οι τιμές αποθηκεύονται στη μνήμη δεδομένων του μικροελεγκτή με την μορφή συμβολοσειρών και χρησιμοποιούνται παρακάτω για τους γεωδαιτικούς υπολογισμούς. Όπως και με την πρόταση τύπου GGA έτσι και η πρόταση τύπου RMC διαθέτει δώδεκα διαδοχικά Πεδία πληροφορίας τα οποία χωρίζονται μεταξύ τους με το σύμβολο ",". Από αυτά τα Πεδία θα χρησιμοποιήσουμε την πληροφορία που υπάρχει στο Πεδίο 09, το οποίο στο παράδειγμα της πρότασης RMC που ακολουθεί το έχουμε σκιαγραφημένο.

ΠΡΟΤΑΣΗ RMC (Recommended Minimum Data for GPS)					
\$GPRMC,121630.000,A,3531.5762,N,02404.0535,E,17.38,331.98,051211,,,A*51					
Πεδίο 01	Πεδίο 02	Πεδίο 03	Πεδίο 04	Πεδίο 05	Πεδίο 06
\$GPRMC	121630.000	A	3531.5762	N	02404.0535
Πεδίο 07	Πεδίο 08	Πεδίο 09	Πεδίο 10	Πεδίο 11	Πεδίο 12
E	17.38	331.98	051211	-	A*51

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3: Απεικόνιση των πεδίων που αποτελούν μία πρόταση RMC

Το συγκεκριμένο πεδίο μας δίνει σε μοίρες το αζιμούθιο του διανύσματος φοράς κίνησης του δέκτη GPS. Επειδή ο δέκτης είναι ενσωματωμένος στο σύστημα το οποίο βρίσκεται πάνω στο πλοίο και ισχύουν όλες εκείνες οι παραδοχές που αναφέραμε στην ενότητα της μοντελοποίησης, τελικά αυτό που μας δίνει η εντολή RMC είναι το αζιμούθιο του διανύσματος κίνησης όλου του πλοίου δηλαδή την γωνία θ . Η τιμή που αναπαριστά το συγκεκριμένο πεδίο αποθηκεύεται στη μνήμη δεδομένων του μικροελεγκτή με την μορφή συμβολοσειράς και χρησιμοποιείται παρακάτω στους γεωδαιτικούς υπολογισμούς ώστε να υπολογιστεί η γωνία οριζόντιας περιστροφής ϕ_H της βάσης.

4.5.5 Γεωδαιτικοί Υπολογισμοί

Αφού έχει ολοκληρώσει η διεργασία της αποκωδικοποίησης των εντολών του GPS στην μνήμη των δεδομένων του μικροελεγκτή υπάρχουν όλα τα δεδομένα για να ξεκινήσουν οι γεωδαιτικοί υπολογισμοί. Οι τιμές στην μνήμη είναι αποθηκευμένες σε μορφή συμβολοσειρών συνεπώς για να αξιοποιηθούν στους μαθηματικούς υπολογισμούς θα πρέπει να μετατραπούν σε αριθμούς κινητής υποδιαστολής. Έτσι λοιπόν τα πεδία δεδομένων στα οποία αναφερθήκαμε στην Ενότητα 4.2.4, εκτός φυσικά των πεδίων που καθορίζουν το ημισφαίριο (Πεδίο N/S Indicator και E/W Indicator), μετατρέπονται από συμβολοσειρές σε single float αριθμούς.

Οι τιμές των πεδίων της πρότασης τύπου GGA, όπου μετατράπηκαν σε αριθμούς κινητής υποδιαστολής, απεικονίζουν το γεωγραφικό πλάτος (Πεδίο 03) και το γεωγραφικό μήκος (Πεδίο 05) σε μορφή DMS (βλέπε Παράρτημα Γ). Όμως οι γεωδαιτικοί υπολογισμοί που θα δούμε παρακάτω χρησιμοποιούν τις γεωγραφικές συντεταγμένες στην μορφή Decimal Degree (βλέπε Παράρτημα Γ) όποτε θα πρέπει να κάνουμε την μετατροπή από DMS \rightarrow Decimal Degree (βλέπε Παράρτημα Γ). Έχοντας πλέον τα δεδομένα μας στη σωστή μορφή ξεκινάμε τον υπολογισμό της απόστασης της βάσης περιστροφής με κάθε ένα από τους σταθμούς βάσης που έχουν αποθηκευτεί στην μνήμη του μικροελεγκτή μας.

Τα γεωδαιτικά δεδομένα που προσδιορίζουν την θέση του κάθε σταθμού βάσης έχουν αποθηκευτεί στην μνήμη του μικροελεγκτή σε μορφή Decimal Degree και μπορούν να χρησιμοποιηθούν άμεσα για τους γεωδαιτικούς υπολογισμούς χωρίς να απαιτείται κάποια μετατροπή. Ο υπολογισμός της απόστασης πραγματοποιείται σύμφωνα με το μοντέλο "Λείας Επιφάνειας" (βλέπε Παράρτημα Δ) και η τιμή η οποία προκύπτει αποθηκεύεται στη μνήμη δεδομένων του μικροελεγκτή. Αφού ολοκληρωθεί ο υπολογισμός της απόστασης του κάθε σταθμού βάσης από την κεραία του πλοίου γίνεται σύγκριση στις τιμές μεταξύ τους κι επιλέγεται αυτή με την μικρότερη απόσταση.

Το επόμενο βήμα είναι ο υπολογισμός της γωνίας οριζόντιας περιστροφής. Όπως έχουμε αναφέρει από την ενότητα της μοντελοποίησης για να υπολογίσουμε την γωνία ϕ_H χρειαζόμαστε την τιμή της γωνίας ϕ'_H και της γωνίας θ . Η γωνία ϕ'_H υπολογίζεται βάση των τύπων που έχουμε αναφέρει στην ίδια ενότητα με την χρήση των γεωγραφικών συντεταγμένων (ϕ_1, λ_1) και (ϕ_2, λ_2) . Όσον αφορά την τιμή της γωνίας θ αυτή προκύπτει από το Πεδίο 09 της πρότασης RMC. Η γωνία θ βρίσκεται αποθηκευμένη σε μορφή συμβολοσειράς στη μνήμη του μικροελεγκτή οπότε μετατρέπεται σε αριθμό κινητής υποδιαστολής και χρησιμοποιείται.

Ο επόμενος υπολογισμός είναι αυτός της γωνίας κατακόρυφης περιστροφής ϕ_V όπου και σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιούμε τους τύπους που έχουμε αναφέρει στην ενότητα της μοντελοποίησης. Για τον υπολογισμό της γωνίας κατακόρυφης περιστροφής ϕ_V χρειαζόμαστε την απόσταση D η οποία έχει υπολογιστεί σε προηγούμενο βήμα, το ύψος του σταθμού βάσης h_2 που είναι ήδη αποθηκευμένο σε μορφή κινητής υποδιαστολής στην μνήμη του μικροελεγκτή και το ύψος της βάσης περιστροφής h_1 που αντλείται ως πληροφορία από το Πεδίο 10 της εντολής GGA.

4.5.6 Λήψη & Έλεγχος Δεδομένων Πυξίδας

Η συγκεκριμένη διεργασία χρησιμοποιείται μονάχα στην δεύτερη έκδοση του συστήματος και σχετίζεται με την διαχείριση των δεδομένων από την πυξίδα. Μετά την ολοκλήρωση της διεργασίας των γεωδαιτικών υπολογισμών ο μικροελεγκτής μέσω του σειριακού πρωτοκόλλου επικοινωνίας I2C διαβάζει την τρέχουσα τιμή που έχει ο αισθητήρας της πυξίδας η οποία εκφράζεται ως ένας αριθμός float με εύρος τιμών από $0,0^{\circ}$ έως $359,99^{\circ}$.

Καθώς η πυξίδα έχει τοποθετηθεί με συγκεκριμένο τρόπο πάνω στην κεραία που περιστρέφεται η τιμή αυτή αντιστοιχεί στην γωνία του αζιμούθιου που έχει η κεραία σε σχέση με τον Βορρά. Επιπλέον η οριζόντια γωνία που έχει προκύψει από τους γεωδαιτικούς υπολογισμούς αποτελεί το επιθυμητό αζιμούθιο στο οποίο πρέπει να στραφεί η κεραία. Λαμβάνοντας λοιπόν υπόψη αυτές τις δύο τιμές γίνεται ο υπολογισμός των μοιρών που θα πρέπει να στραφεί η βάση περιστροφής κατά τον οριζόντιο άξονα.

4.5.7 Παραγωγή Εντολής PELCO D

Αφού έχει γίνει ο υπολογισμός της γωνίας οριζόντιας και κατακόρυφης περιστροφής θα πρέπει να μεταβιβαστεί η συγκεκριμένη πληροφορία από τον μικροελεγκτή στον μηχανισμό περιστροφής. Τόσο ο μηχανισμός στρέψης AS20RS485 που χρησιμοποιήθηκε στην πρώτη έκδοση του συστήματος όσο και ο μηχανισμός στρέψης PT-3002CR διαθέτουν ενσωματωμένο ελεγκτή με σειριακή θύρα επικοινωνίας RS485. Ο ελεγκτής του μηχανισμού AS20RS485 υποστηρίζει το βασικό πρωτόκολλο PELCO D[15] το οποίο μπορεί και εκτελεί πέντε διαφορετικές λειτουργίες οι οποίες είναι η στρέψη δεξιά, η στρέψη αριστερά, η στρέψη προς τα πάνω, η στρέψη προς τα κάτω και η παύση της στρέψης.

Για να στραφεί λοιπόν η βάση περιστροφής AS20RS485 κατά x μοίρες οριζόντια είτε προς αριστερά είτε προς δεξιά ο μικροελεγκτής δίνει την αντίστοιχη εντολή στρέψης και μετά από χρόνο t δίνει την εντολή παύσης της στρέψης. Με αντίστοιχο τρόπο υλοποιείται και η στρέψη προς τα πάνω ή προς τα κάτω. Ο χρόνος t που θα πρέπει να περιμένει ο μικροελεγκτής πριν στείλει την εντολή παύσης προς τον μηχανισμό καθορίστηκε ύστερα από δοκιμές βαθμονόμησης. Όσον αφορά τον ελεγκτή του μηχανισμού PT-3002CR αυτός υποστηρίζει μία διευρυμένη έκδοση του πρωτοκόλλου PELCO D η οποία διαθέτει επιπρόσθετες λειτουργίες εκτός από τις βασικές στις οποίες αναφερθήκαμε παραπάνω.

Μία από τις επιπρόσθετες λειτουργίες η οποία και χρησιμοποιήθηκε είναι η δυνατότητα του μηχανισμού να στραφεί είτε οριζόντια είτε κατακόρυφα σε συγκεκριμένη θέση σε σχέση με μία αρχική θέση η οποία ορίζεται ως η θέση που έχει την τιμή των 0° μοιρών. Συνεπώς εάν π.χ η βάση βρίσκεται στην οριζόντια θέση των 28° μοιρών και θέλουμε να στραφεί προς την οριζόντια θέση των 50° μοιρών, η εντολή που θα δοθεί στον ελεγκτή δεν θα είναι να στραφεί κατά $50^\circ - 28^\circ = 22^\circ$ μοίρες αλλά να στραφεί στην θέση 50° μοιρών. Το ίδιο ισχύει και για την περίπτωση της κατακόρυφης περιστροφής.

Κεφάλαιο 5

Δοκιμές Συστήματος

5.1 Εισαγωγή

Για να πιστοποιηθεί ότι το σύστημα λειτουργούσε σύμφωνα με τις προδιαγραφές που είχαν οριστεί έπρεπε να δοκιμαστεί τόσο ο εξοπλισμός δικτύωσης για το εάν μπορεί με επιτυχία να δημιουργήσει ένα ασύρματο δίκτυο υψηλών ταχυτήτων όσο και το ενσωματωμένο σύστημα ελέγχου για το εάν μπορεί να ελέγξει με τον σωστό τρόπο τον μηχανισμό περιστροφής. Στην Ενότητα (5.2) παρουσιάζεται η μεθοδολογία που ακολουθήσαμε για την πραγματοποίηση των δοκιμών του εξοπλισμού δικτύωσης πριν αυτός ενσωματωθεί στο τελικό σύστημα και στην ακριβώς επόμενη Ενότητα (5.3) παρουσιάζεται η μεθοδολογία για τον έλεγχο του ενσωματωμένου συστήματος μαζί με τον μηχανισμό περιστροφής.

5.2 Δοκιμές Εξοπλισμού Δικτύωσης

Για την δοκιμή του εξοπλισμού δικτύωσης πριν αυτός εγκατασταθεί στα τελικά σημεία εγκατάστασης στην στεριά, δημιουργήθηκε ένα προσωρινό δίκτυο Point to Point εντός του χώρου του εργαστηρίου όπου ο ένας κόμβος χρησιμοποιούσε την κεραία η οποία θα τοποθετούνταν στο πλοίο κι ο άλλος την κεραία που θα τοποθετούνταν στα σημεία στην στεριά. Οι παράμετροι και των δύο router ρυθμίστηκαν ώστε να αντιστοιχούν σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας και συνδέθηκαν με τους Η/Υ οι οποίοι προσομοίωναν τους τελικούς χρήστες.

Αρχικά δοκιμάστηκε η δυνατότητα του δικτύου να προσφέρει αδιάκοπη σύνδεση κι επιτυχής ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ των τελικών χρηστών. Έπειτα ο Η/Υ που ήταν συνδεδεμένος στην κεραία της στεριάς αφαιρέθηκε από αυτήν και το router συνδέθηκε απευθείας στο δίκτυο του Πολυτεχνείου Κρήτης προσομοιώνοντας με αυτό τον τρόπο την απευθείας σύνδεση της κεραίας στο ενσύρματο δίκτυο ενός ISP (Internet Service Provider).

Με αυτή την αλλαγή θέλαμε να δοκιμάσουμε την δυνατότητα του υπολογιστή που βρίσκεται στο πλοίο να συνδεθεί δια μέσω της Point to Point ζεύξης στο δίκτυο του ISP. Τέλος προστέθηκε στις δοκιμές και μία δεύτερη κεραία η οποία αναπαριστούσε έναν δεύτερο σταθμό βάσης της στεριάς, ώστε να δοκιμαστεί η δυνατότητα της κεραίας του πλοίου να συνδέεται σε διαφορετικές κεραίες στην στεριά χωρίς να επηρεάζεται η συνδεσιμότητα μεταξύ του τελικού χρήστη στο πλοίο κι αυτού στην στεριά.

5.3 Δοκιμές Ενσωματωμένου Συστήματος

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη ενότητα κατά την ανάπτυξη του συστήματος χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικοί μηχανισμοί περιστροφής λόγω αλλαγών που προέκυψαν στις προδιαγραφές. Καθώς όμως και στους δύο μηχανισμούς στρέψης οι ενσωματωμένοι ελεγκτές ακολουθούσαν το πρωτόκολλο Pelco D η μεθοδολογία δοκιμών που χρησιμοποιήθηκε για τον ένα μηχανισμό περιστροφής εφαρμόστηκε και στον άλλο μηχανισμό με τα ίδια ακριβώς αποτελέσματα.

Έτσι λοιπόν εντός του χώρου του εργαστηρίου πραγματοποιήθηκε η πρώτη φάση των δοκιμών κατά την οποία δοκιμάστηκε η απόκριση του μηχανισμού περιστροφής σε εντολές του πρωτοκόλλου Pelco D οι οποίες στέλνονταν από έναν Η/Υ με την χρήση της σειριακής θύρας RS232. Αφού πιστοποιήθηκε ότι ο μηχανισμός περιστροφής ανταποκρίνεται με τον σωστό τρόπο στο σετ εντολών που του στείλαμε και σύμφωνα με τις προδιαγραφές των εγχειριδίων του κατασκευαστή, υπήρξε αντικατάσταση του Η/Υ με το ενσωματωμένο σύστημα ελέγχου κι επαναλήφθηκε η αποστολή του ίδιου σετ εντολών από τον μικροελεγκτή του ενσωματωμένου.

Ο μηχανισμός περιστροφής ανταποκρίθηκε με τον ακριβώς ίδιο τρόπο όπως και στην περίπτωση του Η/Υ συνεπώς με αυτή την δοκιμή πιστοποιήθηκε ότι η επικοινωνία μεταξύ του ενσωματωμένου συστήματος και του μηχανισμού περιστροφής είναι εντός των προδιαγραφών. Το επόμενο βήμα ήταν να ελεγχθεί η αξιοπιστία του ενσωματωμένου συστήματος κατά την εκτέλεση της κάθε διεργασίας, από το στάδιο της λήψης μιας πρότασης τύπου NMEA από τον δέκτη GPS έως και το στάδιο του υπολογισμού των γωνιών ϕ'_H , ϕ_N και της παραγωγής των εντολών στο format του πρωτοκόλλου Pelco D. Όμως για να επιτευχθεί κάτι τέτοιο εντός του χώρου του εργαστηρίου και με τον εξοπλισμό να είναι στατικός, έπρεπε να υπάρξει προσομοίωση της κίνησης του ενσωματωμένου συστήματος σύμφωνα με κάποια υποθετική διαδρομή.



Εικόνα. 5.1: Διαδρομή του οχήματος.



Εικόνα. 5.2: Σημεία των κεραιών.

Γι' αυτό το σκοπό με την χρήση του GPS Evaluation Kit δημιουργήθηκε ένα σετ γεωδαιτικών δεδομένων το οποίο αναπαριστούσε την διαδρομή $A \rightarrow B \rightarrow \Gamma \rightarrow \Delta \rightarrow E \rightarrow A$ όπως αυτή φαίνεται στο Σχήμα 5.1 με σημείο έναρξης το σημείο A και τερματισμό πάλι στο ίδιο σημείο. Το σετ των γεωδαιτικών δεδομένων δομήθηκε σύμφωνα με το format των εντολών του πρωτοκόλλου NMEA ώστε να είναι δυνατόν με την χρήση του Η/Υ και μίας σειριακής θύρας RS232 να αποστέλλονται προς το ενσωματωμένο σύστημα. Με τον Η/Υ να αντικαθιστά την λειτουργικότητα του δέκτη GPS αντιμετωπίστηκαν δύο βασικά προβλήματα.

Το πρώτο ήταν ότι ο δέκτης εντός του χώρου του εργαστηρίου δεν μπορούσε να λάβει σήμα από το δίκτυο των δορυφόρων GPS οπότε δεν μπορούσε να δώσει σωστά γεωδαιτικά δεδομένα στο ενσωματωμένο και το δεύτερο ήταν ότι ο εξοπλισμός βρισκόταν σε μη φορητή κατάσταση συνεπώς δεν μπορούσε να μεταφερθεί και δοκιμαστεί εν κινήσει. Έχοντας λοιπόν δημιουργήσει το σετ δεδομένων με την υποθετική διαδρομή την οποία θα εκτελέσει το ενσωματωμένο σύστημα μαζί και με τον μηχανισμό περιστροφής, θεωρήσαμε ότι κατά μήκος αυτής της διαδρομής υπάρχουν τοποθετημένες τέσσερις στατικές κεραίες στα σημεία τα οποία υποδεικνύονται στο παραπάνω Σχήμα 5.2.

Καθώς λοιπόν ο Η/Υ στέλνει στο ενσωματωμένο σύστημα τα γεωδαιτικά δεδομένα με τον ίδιο ακριβώς τρόπο που θα τα έστελνε κι ο δέκτης GPS, το ενσωματωμένο σύστημα θεωρεί ότι βρίσκεται σε κίνηση και ξεκινάει να εκτελεί τις διεργασίες που προβλέπονται σε αυτή την κατάσταση. Κατά την εκτέλεση αυτών των διεργασιών το ενσωματωμένο σύστημα αποφασίζει σε ποια από τις τέσσερις κεραίες θα διατηρήσει τον προσανατολισμό του ο μηχανισμός περιστροφής, σε σχέση με το σημείο της υποθετικής διαδρομής στο οποίο βρίσκεται και υπολογίζει τις γωνίες οριζόντιας και κατακόρυφης ανύψωσης.

Για να ελεγχθεί η ορθότητα των παραπάνω υπολογισμών υλοποιήθηκε ένας αλγόριθμος ο οποίος προσομοίωνε όλη την λειτουργικότητα του ενσωματωμένου από το στάδιο της λήψης μιας πρότασης του πρωτοκόλλου NMEA μέχρι και το στάδιο της παραγωγής των γωνιών ϕ_H και ϕ_V . Έτσι κατέστη δυνατόν με ένα κοινό σετ γεωδαιτικών δεδομένων να γίνει αντιπαραβολή των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τον αλγόριθμο και τις δοκιμές στο πραγματικό σύστημα στο εργαστήριο. Η πρώτη φάση των δοκιμών του ενσωματωμένου συστήματος ολοκληρώθηκε με απόλυτη επιτυχία και για τους δύο μηχανισμούς περιστροφής.

5.4 Δοκιμές σε Κινούμενο Όχημα

Αφού ολοκληρώθηκαν οι στατικές δοκιμές στον εσωτερικό χώρο του εργαστηρίου το επόμενο βήμα ήταν να δοκιμαστεί το σύστημα σε πραγματικές συνθήκες σε εξωτερικό χώρο πάνω σε κινούμενο όχημα. Σε αυτή την φάση των δοκιμών εκτός από την λειτουργικότητα του ενσωματωμένου συστήματος μαζί με τον μηχανισμό περιστροφής, δοκιμάστηκε η δυνατότητα της κεραίας που βρισκόταν τοποθετημένη πάνω στον μηχανισμό να συνδεθεί σε ένα ασύρματο δίκτυο της περιοχής στην οποία κινείται το όχημα και να ανταλλάξει δεδομένα.

Όμως επειδή η εγκατάσταση και η χρήση ενός προσωρινού ασύρματου δικτύου σε μία περιοχή απαιτεί μεγάλο κόστος και χρονοβόρες διαδικασίες αδειοδότησης, αποφασίσαμε να αξιοποιήσουμε το ασύρματο δίκτυο που υπήρχε εγκατεστημένο στο χώρο του ΠΚ για την εξυπηρέτηση των φοιτητών και των κατοίκων της γύρω περιοχής. Η αρχιτεκτονική του συγκεκριμένου δικτύου ταυτιζόταν πλήρως με την προτεινόμενη από εμάς αρχιτεκτονική καθώς διέθετε σε διάφορα σημεία εντός του χώρου του ΠΚ σταθμούς βάσης (προσομοίωση κεραιών στεριάς) οι οποίοι ήταν άμεσα συνδεδεμένοι με το ενσύρματο δίκτυο του ΠΚ (προσομοίωση ενσύρματων ISP).

Ο εξοπλισμός που αποτελούσε το υποσύστημα του πλοίου τοποθετήθηκε σ' ένα Ι.Χ όχημα το οποίο όμως διέθετε περιορισμένο χώρο για την μεταφορά του εξοπλισμού με αποτέλεσμα να μην δυνατόν να μεταφερθεί εντός του οχήματος η βάση περιστροφής PT-3002CR με την κεραία RocketDishM5 γι' αυτό και χρησιμοποιήθηκε ο μηχανισμός περιστροφής AS20RS485 με τη κεραία Nanostation5.

Στο ενσωματωμένο σύστημα συνδέθηκε κανονικά ο δέκτης του GPS που δεν είχε χρησιμοποιηθεί στις δοκιμές εντός του εργαστηρίου και πάνω στον μηχανισμό περιστροφής τοποθετήθηκε η κεραία WiFi η οποία συνδέθηκε μέσω καλωδίου ethernet με έναν φορητό Η/Υ ο οποίος προσομοίωνε τις υπηρεσίες του τελικού χρήστη. Το όχημα κινήθηκε στην διαδρομή $A \rightarrow B \rightarrow \Gamma \rightarrow \Delta \rightarrow E \rightarrow A$ όπως και στην περίπτωση των δοκιμών εντός του εργαστηρίου κι από τους διαθέσιμους σταθμούς βάσης που υπήρχαν στον χώρο του ΠΚ επιλέξαμε τους παρακάτω δύο όπως αυτοί φαίνονται στο σχήμα Χ.



Εικόνα. 5.3: Θέση των πραγματικών κεραιών στο ΠΚ.

Το όχημα καθ' όλη την διάρκεια της διαδρομής κινιόταν με μέση ταχύτητα $60km/h$, η οποία αντιστοιχεί σ' ένα πλοίο που κινείται με ταχύτητα των $32knots$. Κατά την κίνηση του οχήματος ο δέκτης GPS ενημέρωνε το ενσωματωμένο σύστημα για την τρέχουσα θέση επί της διαδρομής κι αυτό παρήγαγε τις κατάλληλες εντολές ελέγχου ώστε ο μηχανισμός στρέψης να διατηρεί την κεραία του οχήματος πάντα στραμμένη προς την πλησιέστερη από τις δύο στατικές κεραιές.

Με την χρήση του φορητού Η/Υ ο οποίος βρισκόταν στο κινούμενο όχημα πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις ώστε να διαπιστωθεί η ποιότητα της σύνδεσης κατά την διάρκεια όλης της κίνησης του οχήματος κι επιπλέον δοκιμάστηκε η ανταλλαγή δεδομένων από τον φορητό Η/Υ προς έναν υπολογιστή στον χώρο του εργαστηρίου ο οποίος ήταν συνδεδεμένος στο ενσύρματο δίκτυο του ΠΚ. Σε αυτή την δεύτερη φάση των δοκιμών το σύστημα λειτούργησε σύμφωνα με τις προδιαγραφές και ήταν έτοιμο για περαιτέρω δοκιμές στο χώρο του πλοίου.

5.5 Δοκιμές στο Πλοίο

Αφού είχαν ολοκληρωθεί με επιτυχία οι δοκιμές στην στεριά το επόμενο βήμα ήταν η εγκατάσταση του συστήματος πάνω στο πλοίο ώστε να δοκιμαστεί κατά την διάρκεια του δρομολογίου που πραγματοποιούσε. Το πλοίο στο οποίο αποφασίστηκε να εγκατασταθεί το σύστημα ήταν το ΕΛΥΡΟΣ το οποίο άνηκε στην ναυτιλιακή εταιρία ANEK κι εκτελούσε το ημερήσιο δρομολόγιο από ΧΑΝΙΑ προς ΑΘΗΝΑ κι αντίστροφα.

Από τα διαθέσιμα δρομολόγια που εκτελούσαν οι δύο εταιρίες με τις οποίες συνεργαστήκαμε (ANEK, HSW) το συγκεκριμένο δρομολόγιο δεν αποτελούσε την βέλτιστη δυνατή επιλογή σύμφωνα με τα κριτήρια που ορίστηκαν στην Ενότητα 2.2 (Επιλογή Γεωγραφικής Περιοχής) αλλά η γειτνίαση του λιμανιού της Σούδας, στο οποίο ελλιμενιζόταν το πλοίο ΕΛΥΡΟΣ, με το Πολυτεχνείο Κρήτης μας εξυπηρετούσε στην μεταφορά βοηθητικού εξοπλισμού που ήταν αναγκαίος για την εγκατάσταση και τις δοκιμές του συστήματος στο πλοίο.



Εικόνα. 5.4: Δρομολόγιο πλοίου ΕΛΥΡΟΣ.

Όπως βλέπουμε και στην Εικόνα 5.4 όπου παρουσιάζεται το δρομολόγιο του πλοίου, βασική του ιδιαιτερότητα ήταν ότι λόγω των γεωγραφικών ιδιομορφιών της περιοχής δεν μπορούσε να υπάρξει πλήρης κάλυψη σήματος από τις κεραίες που είχαμε αποφασίσει να εγκαταστήσουμε προσωρινά στην στεριά. Σύμφωνα με την μελέτη που είχαμε κάνει το προσωρινό ασύρματο δίκτυο θα αποτελούνταν από τρεις κεραίες που βρίσκονται στην περιοχή του Ακρωτηρίου στα Χανιά (βλέπε Τομέας Α Εικόνα 5.5) και αυτές που θα υπήρχαν στην ευρύτερη περιοχή του Σαρωνικού κόλπου (βλέπε Τομέας Β Εικόνα 5.6).

Η ασύρματη κάλυψη του δρομολογίου στον Τομέα Α θα εξασφαλιζόταν με την τοποθέτηση τριών (3) κεραιών στα σημεία όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Εικόνα. 5.5: Θέση σταθμών βάσης Τομέα Α.

Η ασύρματη κάλυψη του δρομολογίου στον Τομέα Β θα εξασφαλιζόταν με την τοποθέτηση δύο (2) κεραιών στα σημεία όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Εικόνα. 5.6: Θέση σταθμών βάσης Τομέα Β.

Τελικά όμως λόγω των αντιδράσεων από τοπικούς φορείς οι οποίοι έθεταν θέματα νομιμότητας της διαδικασίας προσωρινής εγκατάστασης των κεραιών το δίκτυο των κεραιών που αποτελούσαν τον Τομέα Β δεν μπορούσε τελικά να εγκατασταθεί. Έτσι η δοκιμή του συστήματος θα γινόταν αποκλειστικά με τις κεραίες του Τομέα Α. Στην πορεία όμως πρόεκυψε κι ένας επιπλέον περιορισμός από τις λιμενικές αρχές του λιμένα της Σούδας ο οποίος αφορούσε το εγκαταστημένο σύστημα πάνω στο πλοίο.

Πιο συγκεκριμένα λόγω του υψηλού κόστους δεν είχε αποκτηθεί ένα προστατευτικό κάλυμμα σε μορφή θόλου (ενδεικτικά βλέπε Εικόνα 5.7) το οποίο ήταν απαραίτητο ώστε να προστατέψει τον μηχανισμό περιστροφής και την κεραία από τις διάφορες αντίξοες περιβαλλοντολογικές συνθήκες που υπάρχουν στη θάλασσα όταν το πλοίο ταξιδεύει.



Εικόνα. 5.7: Παράδειγμα προστατευτικού καλύμματος.

Έτσι το λιμενικό για λόγους ασφαλείας δεν μας επέτρεψε να εγκαταστήσουμε το σύστημα ώστε αυτό να παραμείνει στο πλοίο για χρονικό διάστημα μερικών ημερών και να δοκιμαστεί σε πραγματικές συνθήκες ταξιδιού στη θάλασσα. Μετά όμως από συζητήσεις τελικά μας επιτράπηκε να το εγκαταστήσουμε για χρονικό διάστημα μίας ημέρας και πιο συγκεκριμένα όσο το πλοίο θα βρισκόταν ελλιμενισμένο στο λιμάνι της Σούδας μετά την άφιξη του από τον Πειραιά.

Παρόλο που η ακινησία του πλοίου μας στερούσε την δυνατότητα να δοκιμάσουμε το σύστημα σε κίνηση είχε ακόμα ενδιαφέρον να εγκατασταθεί το σύστημα στο πλοίο και να δοκιμαστεί ο εξοπλισμός δικτύωσης σε πραγματικές συνθήκες, ώστε να εντοπιστούν τυχόν ατέλειες κι αστοχίες που δεν είχαν προβλεφθεί κατά την αρχική μας μελέτη και να αποκτηθεί χρήσιμη τεχνογνωσία για το μέλλον. Έτσι λοιπόν έγινε κανονικά η εγκατάσταση του συστήματος στην προβλεπόμενη θέση πάνω στο κατάστρωμα και η κεραία συνδέθηκε με το ενσύρματο δίκτυο που διέθετε το πλοίο.

Πλέον όμως καθώς το πλοίο ήταν σε ακινησία έπρεπε να υπάρξει αλλαγή στον τρόπο με τον οποίο το ενσωματωμένο έκανε την επιλογή της κεραίας στην στεριά καθώς λόγω της ακινησίας η αρχή της ελάχιστης απόστασης θα οδηγούσε το ενσωματωμένο να στρέφει την κεραία του πλοίου προς ένα σταθερό σημείο της στεριάς. Έτσι λοιπόν υπήρξε τροποποίηση στην λειτουργικότητα του ενσωματωμένου ώστε η επιλογή της κεραίας προς την οποία θα στρεφόταν ο μηχανισμός περιστροφής να γίνεται από τον χρήστη με την βοήθεια των διακοπών (push buttons) που διέθετε το αναπτυξιακό STK-500.

Από το σύνολο των κεραιών που αποτελούσαν το ασύρματο δίκτυο του Τομέα Α αποφασίσαμε να εγκαταστήσουμε και να χρησιμοποιήσουμε τους δύο σταθμούς βάσης όπως αυτοί φαίνονται στην Εικόνα 5.8.



Εικόνα. 5.8: Διάταξη των κεραιών κατά τις δοκιμές στο πλοίο.

Στον σταθμό βάσης No1 η κεραία συνδέθηκε μ' ένα modem τεχνολογίας 3G/4G και δια μέσου του δικτύου κινητής τηλεφωνίας επικοινωνούσε με ένα άλλο modem αντίστοιχης τεχνολογίας το οποίο ήταν απευθείας συνδεδεμένο στο ενσύρματο δίκτυο ενός ISP. Ο σταθμός βάσης No2 βρισκόταν εντός κατοικημένης περιοχής όπου υπήρχε διαθέσιμο ενσύρματο δίκτυο από διάφορους ISP οπότε η κεραία μπόρεσε και συνδέθηκε απευθείας στο ενσύρματο δίκτυο το οποίο επιλέξαμε. Αφού είχε εγκατασταθεί το προσωρινό ασύρματο δίκτυο σύμφωνα με την τοπολογία που περιγράψαμε παραπάνω ακολούθησαν οι δοκιμές αποστολής και λήψης δεδομένων.

Αρχικά δώσαμε εντολή στο ενσωματωμένο σύστημα να στρέψει την κεραία του πλοίου προς την διεύθυνση του σταθμού βάσης No2 ώστε να δημιουργηθεί ζεύξη με την εκεί κεραία. Με την ζεύξη να έχει πραγματοποιηθεί επιτυχώς δοκιμάσαμε να ανταλλάξουμε δεδομένα από έναν Η/Υ που βρισκόταν στο δίκτυο του πλοίου σε έναν Η/Υ που βρισκόταν στα κεντρικά γραφεία της εταιρίας ANEK στα Χανιά. Έπειτα στρέψαμε την κεραία του πλοίου προς την διεύθυνση του σταθμού βάσης No1 και επαναλάβαμε την ίδια διαδικασία. Και στις δύο περιπτώσεις η ανταλλαγή των δεδομένων έγινε με απόλυτη επιτυχία.

Κεφάλαιο 6

Συμπεράσματα

Στην συγκεκριμένη εργασία καταφέραμε να σχεδιάσουμε, να υλοποιήσουμε και να δοκιμάσουμε ένα σύστημα χαμηλού κόστους και υψηλών ταχυτήτων για την παροχή διαδικτυακών υπηρεσιών σε πλοία που βρίσκονται εν πλω. Το σύστημα ανάλογα με την γεωγραφική περιοχή στην οποία θα εγκατασταθεί θα μπορεί να αντικαταστήσει πλήρως ή να δράσει συμπληρωματικά με τα ήδη υπάρχοντα συστήματα αυτού του είδους που βρίσκονται εγκατεστημένα πάνω στο πλοίο όπως είναι το δορυφορικό ιντερνετ.

Αρχικά πραγματοποιήσαμε μία θεωρητική μελέτη η οποία βασίστηκε σε γεωγραφικά δεδομένα και τεχνικές προδιαγραφές ώστε να βρεθούν οι πιθανές περιοχές για την εγκατάσταση του συστήματος. Έπειτα βασιζόμενοι στην θεωρία της Γεωδαισίας αναπτύξαμε και μοντελοποιήσαμε μία σειρά από αλγοριθμικές διαδικασίες με τις οποίες επιλύσαμε μία σειρά από ζητήματα όπως ήταν η επιλογή μίας κεραίας στην στεριά από το υποσύστημα του πλοίου και τον υπολογισμό της οριζόντιας και κατακόρυφης γωνίας που θα έπρεπε να στραφεί η κεραία του πλοίου ώστε να βρίσκεται σε αδιάκοπη συνδεσιμότητα με την κεραία της στεριάς που είχε επιλεγεί.

Ακολούθησε η επιλογή του εξοπλισμού ώστε να είναι σύμφωνος με τις προδιαγραφές που είχαμε ορίσει και με την χρησιμοποίηση του προχωρήσαμε στην δημιουργία των υποσυστημάτων της στεριάς και του πλοίου. Εκτός από την σύνθεση και την κατασκευή των διαφόρων εξαρτημάτων σε μερικά από αυτά ήταν αναγκαίος κι ο προγραμματισμός τους. Τέλος πραγματοποιήθηκε μια σειρά από εκτεταμένες δοκιμές κάτω από πολυποίκιλες συνθήκες ώστε να εξακριβωθεί η σωστή λειτουργία των επιμέρους υποσυστημάτων ξεχωριστά αλλά και του συστήματος συνολικά.

Δυστυχώς οι δοκιμές σε θαλασσινό περιβάλλον δεν μπόρεσαν να πραγματοποιηθούν λόγω μίας σειράς από περιορισμούς που προέκυψαν χωρίς δικιά μας υπαιτιότητα, αλλά τα αποτελέσματα από τις υπόλοιπες δοκιμές έδειξαν ότι το σύστημα λειτούργησε σύμφωνα με τις προδιαγραφές που είχαν αρχικά τεθεί χωρίς να προκύψει κανένα πρόβλημα, συνεπώς μπορούμε να εκτιμήσουμε ότι και στις θαλάσσιες δοκιμές, εάν αυτές γινόντουσαν, το σύστημα θα ανταποκρινόταν κανονικά.

Από την συγκεκριμένη διατριβή το βασικό συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι με την χρήση εμπορικής τεχνολογίας χαμηλού κόστους κτήσης και χρήσης μπορεί να δημιουργηθεί ένα ολοκληρωμένο σύστημα το οποίο να υπερέχει σε όλους τους τομείς σε σχέση με τις υπάρχουσες τεχνολογίες. Οι προοπτικές αξιοποίησης του συγκεκριμένου συστήματος από τις ελληνικές εταιρίες είναι ελπιδοφόρες ειδικά εάν μπορέσει να ξεπεραστεί με ευκολία η γραφειοκρατία των φορέων αδειοδότησης και πιστοποίησης λειτουργίας.

Ως μελλοντική εργασία που να σχετίζεται με την παρούσα διατριβή θα άξιζε να μελετηθεί η δυνατότητα δημιουργίας ενός υβριδικού ασύρματου δικτύου στο οποίο δεν θα εμπλέκονται μονάχα οι κόμβοι της στεριάς και του πλοίου αλλά θα υπάρχουν και ενδιάμεσοι κόμβοι σε σημαδούρες ή βραχονησίδες οι οποίοι θα έχουν το ρόλο του αναμεταδότη. Με αυτό τον τρόπο θα αυξανόταν δραματικά η περιοχή κάλυψης του ασύρματου δικτύου και ταυτόχρονα θα μειωνόταν η εξάρτηση της απόδοσης του δικτύου από τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά της περιοχής.

Παραπομπές

- [1] J. S. Pathmasuntharam, Peng-Yong Kong, J. Jurianto, Y. Ge, M. Zhou, and R. Miura. *High Speed Maritime Ship-to-Ship/Shore Mesh Networks*. ITST, June 2007.
- [2] J. S. Pathmasuntharam, P. Y. Kong, M. T. Zhou, Y. Ge, H. Wang, C. W. Ang, S. Wen, and H. Harada. *TRITON: High Speed Maritime Mesh Networks*. IEEE 19th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, Cannes, France, 2008, pp. 1-5.
- [3] Ming-Tuo Zhou, Vinh Dien Hoang, H. Harada, J. S. Pathmasuntharam, Haiguang Wang, Peng-Yong Kong, Chee-Wei Ang, Yu Ge, Su Wen. *TRITON: high-speed maritime wireless mesh network*. Wireless Communications, IEEE (Volume:20, Issue:5), 2013.
- [4] Khurram Shabih Zaidi, Varun Jeoti, Azlan Awang. *Wireless Backhaul for Broadband Communication Over Sea*. IEEE 11th Malaysia International Conference on Communications, Kuala Lumpur, Malaysia, 2013.
- [5] L. Lambrinos, C. Djouvas. *Creating a maritime wireless mesh infrastructure for real-time applications*. IEEE Workshop on Mobile Computing and Emerging Communication Networks (IEEE Globecom), 2011.
- [6] Panagiotis (Panos) Chatzigiannis, LT. John H Gibson, Dr. Gurminder Singh. *Connecting Land-Based Networks to Ships*. 18th ICCRTS, 2013.
- [7] I. Papaefstathiou, E. Sotiriades, S. Apostolakis, A. Dollas, P. Karamolegkos, M. Logaras, I. Chatzigiannakis, L. Vasilikiotis, M. Emmanouilidou, S. Aggelidakis, P. Hatzidakis. *ROTA: an Archipelago-Wide Area Network for High Speed Communication to Ships*. Informatics (PCI), 2012 16th Panhellenic Conference.
- [8] Website: BTS.Inc,
<http://www.extendingbroadband.com/>
- [9] Wikipedia: Global Positioning System,
http://en.wikipedia.org/wiki/Global_Positioning_System[Last Modified: 20 April 2015, 13:25].

- [10] Wikipedia: Geographic Coordinate System,
http://en.wikipedia.org/wiki/Geographic_coordinate_system[Last Modified: 23 April 2015, 04:49].
- [11] Wikipedia: Geographical distance,
http://en.wikipedia.org/wiki/Geographical_distance[Last Modified: 27 December 2014, 14:27].
- [12] Wikipedia: Azimuth,
<http://en.wikipedia.org/wiki/Azimuth>[Last Modified: 1 March 2015, 23:01].
- [13] 2B Security Systems: PT-3002 Pan tilt series,
http://www.2bsecurity.com/Datasheet/pantilt/PT%203002_3002CR_pan_tilt_10-14.pdf
- [14] Ubiquiti: airMAX 2x2 PtP Bridge Dish Antenna Datasheet,
https://www.ubnt.com/downloads/datasheets/rocketdish/rd_ds_web.pdf
- [15] Ubiquiti: airMAX BaseStation RocketM,
https://www.ubnt.com/downloads/datasheets/rocketm/RocketM_DS.pdf
- [16] Ubiquiti: airMAX BaseStation Sector Antenna,
https://www.ubnt.com/downloads/datasheets/airmaxsector/airMAX_Sector_Antennas_DS.pdf
- [17] Pelco D: Pelco-D Protocol Tutorial
<http://bruxy.regnet.cz/programming/rs485/pelco-d.pdf>

Βιβλιογραφία

- [1] Dhananjay V. Gadre. *Προγραμματίζοντας τον Μικροελεγκτή AVR*. Εκδόσεις Τζιόλα, 2001.
- [2] Barnett Cox and O’Cull. *Embedded C Programming and the Atmel AVR*. Thomson Delmar Learning, 2nd Edition, 2006.
- [3] John Morton. *AVR: An Introductory Course*. Newnes, 2002.
- [4] Muhammad Ali Mazidi. *AVR Microcontroller and Embedded Systems: Using Assembly and C (Pearson Custom Electronics Technology)*. Prentice Hall, 2010.
- [5] Timothy S. Margush. *Some Assembly Required: Assembly Language Programming with the AVR Microcontroller*. CRC Press, 2011.
- [6] Joe Pardue. *C Programming for Microcontrollers Featuring ATMEL’s AVR Butterfly and the free WinAVR Compiler*. SmileyMicros, 2005.
- [7] Steven F. Barrett, Daniel Pack. *Atmel AVR Microcontroller Primer: Programming and Interfacing (Synthesis Lectures on Digital Circuits and Systems)*. Mitchell A. Thomson, Series Editor, 2007.
- [8] Claus Kuhner. *AVR RISC Microcontroller Handbook*. Newnes, 1998.
- [9] Steven Barrett. *Embedded Systems Design with the Atmel AVR Microcontroller (Synthesis Lectures on Digital Circuits and Systems)*. Mitchell A. Thomson, Series Editor, 2009.
- [10] Chris Leaver. *Introduction to Atmel AVR Microcontroller Development: Using Free Software with Worked Examples*. Sylvania Books, 2010.
- [11] John Catsoulis. *Designing Embedded Hardware*. O’Reilly, 2005.
- [12] Gourab Sen Gupta. *Emdedded Microcontroller Interfacing: Designing Integrated Projects (Lecture Notes in Electrical Engineering)*. Springer, 2010.
- [13] James R. Smith. *Introduction to Geodesy: The History and Concepts of Modern Geodesy*. Wiley Series in Surveying and Boundary Control, 1997.
- [14] Wolfgang Torge. *Geodesy*. De Gruyter, 3rd Edition, 2001.

- [15] Thomas H. Meyer. *Introduction to Geometrical and Physical Geodesy: Foundations of Geomatics*. ESRI Press, 3rd Edition, 2010.
- [16] Lev M. Bugayevskiy, John P. Snyder. *Map Projections: A Reference Manual*. CRC Press, 1995.
- [17] E. J. Krakiwsky, D. B. Thomson. *Geodetic Positions and Computations*. University of New Brunswick, Department of Geodesy and Geomatics Engineering, February 1974.
- [18] Institute of Geodesy and Navigation. *World Geodetic System 1984: Implementation Manual*. University FAF Munich, Germany, February 1984.
- [19] Peter Aitken & Bradley L. Jonews. *Teach Yourself C in 21 Days*. Sams publishing, 4rd Edition, 1997.

Παράρτημα Α

Πρωτόκολλο NMEA 1083

Το NMEA 0183 είναι ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας που χρησιμοποιείται κυρίως σε συσκευές και όργανα πλοήγησης. Δημιουργήθηκε από την αμερικάνικη National Marine Electronics Association (NMEA) στην οποία είναι μέλη η πλειοψηφία των προμηθευτών και κατασκευαστών ηλεκτρονικών εξαρτημάτων πλοήγησης. Για την λήψη κι αποστολή δεδομένων από τις συσκευές, το πρωτόκολλο NMEA χρησιμοποιεί ασύγχρονη σειριακή μετάδοση με την μορφή προτάσεων όπου η κάθε πρόταση αποτελείται μέχρι και 85 χαρακτήρες που ακολουθούν το πρότυπο ASCII. Όσον αφορά τα τεχνικά χαρακτηριστικά της ασύγχρονης σειριακής επικοινωνίας έχουμε:

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟ	ΤΙΜΗ
Baud Rate	4800
Data bits	8
Parity bits	1
Stop bits	None
Handshake	None

ΠΙΝΑΚΑΣ Α.1: Τεχνικά χαρακτηριστικά
σειριακής επικοινωνίας.

Γενικά η κάθε νέα πρόταση ξεκινάει με τον χαρακτήρα του δολαρίου: "\$" και τερματίζεται από την ακολουθία <CR><LF> όπου <CR>: Carriage Return και <LF>: Line Feed. Η κάθε πρόταση ανάλογα την κατηγορία στην οποία ανήκει διαθέτει έναν αριθμό από πεδία τα οποία διαχωρίζονται μεταξύ τους με το χαρακτήρα κόμμα: ",". Σε όλες τις προτάσεις το τελευταίο πεδίο έχει την μορφή *value * hex_num* όπου η τιμή της μεταβλητής *value* εξαρτάται από την κατηγορία της εντολής και το *hex_num* είναι ένας δεκαεξαδικός αριθμός ο οποίος αποτελεί το checksum της πρότασης υπολογισμού.

Ως πρόταση υπολογισμού, μιας οποιασδήποτε από τις προτάσεις του πρωτοκόλλου, ορίζεται η υποπρόταση που παράγεται ξεκινώντας από τον χαρακτήρα μετά το σύμβολο του δολαρίου \$ και η οποία τελειώνει στον χαρακτήρα πριν τον αστερίσκο (*). Ο υπολογισμός της τιμής του checksum γίνεται με την εφαρμογή της πράξης XOR στο

σύνολο των χαρακτήρων της υποπρότασης διαδοχικά ανά ζεύγη ($a1 \text{ XOR } a2 \text{ XOR } a3 \text{ XOR } \dots \text{ XOR } a_n = \text{checksum}$).

Η κατηγοριοποίηση της κάθε πρότασης γίνεται από το πρώτο πεδίο όπου είναι της μορφής \$GPABC για τους χρήστες του αμερικάνικου GPS (Global Positioning System) και \$GLABC για τους χρήστες του GLONASS (Η ρώσικη εκδοχή του GPS). Η τρεις επόμενοι χαρακτήρες του πεδίου (ABC) καθορίζουν την κατηγορία της εντολής. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι εντολές που υποστηρίζονται από το δέκτη GPS (EM406A) που χρησιμοποιήσαμε στην υλοποίηση του συστήματός μας, κι έπειτα για την κάθε μία θα γίνει επεξήγηση της πληροφορίας που εμπεριέχει. Να σημειωθεί ότι το πρωτόκολλο NMEA εκτός από αυτές τις εντολές διαθέτει κι άλλες (περίπου 50) αλλά δεν διαθέτουν κάποιο ενδιαφέρον για την εφαρμογή μας. Οι εντολές που υποστηρίζει ο δέκτης χωρίζονται σε δύο κατηγορίες στις εντολές εξόδου και στις εντολές εισόδου.

ΕΝΤΟΛΕΣ ΕΞΟΔΟΥ	
ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΕΝΤΟΛΗΣ	ΠΛΗΡΕΣ ΟΝΟΜΑ ΕΝΤΟΛΗΣ
\$GPGGA	GGA-Global Positioning System Fixed Data
\$GPGSA	GSA-GNSS DOP and Active Satellites
\$GPRMC	RMC-Recommended Minimum Specific GNSS Data
\$GPGSV	GSV-GNSS Satellites in View

ΠΙΝΑΚΑΣ Α.2: Υποστηριζόμενες εντολές εξόδους δέκτη GPS.

ΕΝΤΟΛΗ GGA (Global Positioning System Fixed Data)			
\$GPGGA,161229.487,3723.2475,N,12158.3416,W,1,07,1.0,9.0,M,,,0000*18			
ΟΝΟΜΑ	ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ	ΜΟΝΑΔΕΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
Message ID	\$GPGGA		GGA protocol header
UTC Time	161229.487		hhmmss.sss
Latitude	3723.2475		ddmm.mmmm
N/S Indicator	N		N=north or S=south
Longitude	12158.3416		dddmm.mmmm
E/W Indicator	W		E=east or W=west
Position Fix Indicator	1		See Table A.4
Satellites Used	07		Range 0 – 12
HDOP	1.0		Horizal Dilution of Precision
MSL Altitude	9.0	Meters	
Units	M	Meters	
Geoid Separation		Meters	
Units	M	Meters	
Age of Diff. Station ID		Second	Null fields when DGPS in not used
Diff. Ref. Station ID	0000		
Checksum	*18		Hex value (without *)
<CR><LF>			End of message termination

ΠΙΝΑΚΑΣ Α.3: Παράδειγμα εντολής GGA.

ΤΙΜΗ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
0	Fix not available or invalid
1	GPS SPS Mode. Fix valid
2	Differential GPS. SPS Mode. Fix valid
3	GPS PPS Mode. Fix valid

ΠΙΝΑΚΑΣ Α.4

ΕΝΤΟΛΗ RMC (Recommended Minimum Specific GNSS Data)			
\$GPRMC,161229.487,A,3723.2475,N,12158.3416,W,0.13,309.62,120598,,*10			
ΟΝΟΜΑ	ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ	ΜΟΝΑΔΕΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
Message ID	\$GPRMC		RMC protocol header
UTC Time	161229.487		hhmmss.sss
Status	A		A=data valid or V=data not valid
Latitude	3723.2475		ddmm.mmmm
N/S Indicator	N		N=north or S=south
Longitude	12158.3416		dddmm.mmmm
E/W Indicator	W		E=east or W=west
Speed Over Ground	0.13	Knots	
Course Over Ground	309.62	Degrees	True
Date	120598	Degrees	ddmmvv
Magnetic Variation			E=east or W=west
Checksum	*10		
<CR><LF>			End of message termination

ΠΙΝΑΚΑΣ Α.5: Παράδειγμα εντολής RMC.

ΕΝΤΟΛΗ GSV (GNSS Satellites in View)			
\$GPGSV,2,1,07,07,79,048,42,02,51,062,43,26,36,256,42,27,27,138,42*71			
ΟΝΟΜΑ	ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ		Description
Message ID	\$GPGSV		GSV protocol header
Number of Messages	2		Range 1 to 3
Message Number	1		Range 1 to 3
Satellites in View	07		
Satellite ID	07		Channel 1
Elevation	79	degrees	Channel 1
Azimuth	048	degrees	Channel 1
SNR(C/No)	42	dBHz	Range 0 to 99,null when not tracking
...			
Satellite ID	27		Channel 4
Elevation	27	degrees	Channel 4
Azimuth	138	degrees	Channel 4
SNR(C/No)	42	dBHz	Range 0 to 99,null when not tracking
Checksum	*71		
<CR><LF>			End of message termination

ΠΙΝΑΚΑΣ Α.6: Παράδειγμα εντολής GSV.

ΕΝΤΟΛΗ GSA (GNSS DOP and Active Satellites)			
\$GPGSA,A,3,07,02,26,27,09,04,15,,,,,1.8,1.0,1.5*33			
ΟΝΟΜΑ	ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ	ΜΟΝΑΔΕΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
Message ID	\$GPGSA		GSA protocol header
Mode 1	A		See Table A.8
Mode 2	3		See Table A.9
Satellite Used	07		Sv on Channel 1
Satellite Used	02		Sv on Channel 2
...			
Satellite Used			Sv on Channel 12
PDOP	1.8		Position dilution of Precision
HDOP	1.0		Horizontal dilution of Precision
VDOP	1.5		Vertical dilution of Precision
Checksum	*33		Hex value(without *)
<CR><LF>			End of message termination

ΠΙΝΑΚΑΣ Α.7: Παράδειγμα εντολής GSA.

ΤΙΜΗ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
M	Manual-forced to operate in 2D or 3D mode
A	2D automatic-allowed to automatically switch 2D/3D

ΠΙΝΑΚΑΣ Α.8

ΤΙΜΗ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
1	Fix Not Available
2	2D
3	3D

ΠΙΝΑΚΑΣ Α.9

ΕΝΤΟΛΕΣ ΕΙΣΟΔΟΥ	
ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ	ΠΛΗΡΕΣ ΟΝΟΜΑ
\$PSRF100	Set Serial Port
\$PSRF101	Navigation Initialization
\$PSRF103	Query/Rate Control
\$PSRF104	LLA Navigation Initialization
\$PSRF105	Development Data On/Off

ΠΙΝΑΚΑΣ Α.10: Υποστηριζόμενες εντολές εισόδου δέκτη GPS.

Εντολή Set Serial Port:

Με την εντολή αυτή ορίζουμε στη συσκευή μας πιο πρωτόκολλο θα ακολουθήσει για την παρουσίαση των δεδομένων εξόδου καθώς επίσης καθορίζονται διάφοροι παράμετροι λειτουργίας της συσκευής.

\$PSRF100 , <protocol> , <baud> , <DataBits> , <StopBits> , <Parity>*CKSUM <CR><LF>	
ONOMA	ΤΙΜΕΣ
<protocol>	0 = SiRF Binary , 1 = NMEA , 4 = USER1
<baud>	1200,2400,4800,9600,19200,38400
<DataBits>	7 or 8
<StopBits>	0 or 1
<Parity>	0=None,1=Odd,2=Even

ΠΙΝΑΚΑΣ Α.11

Εντολή Navigation Initialization:

Η εντολή αυτή χρησιμοποιείται για να αρχικοποιηθεί η συσκευή στην περίπτωση θερμής εκκίνησης κατά την οποία απαιτούνται άμεσα συντεταγμένες θέσης(στην μορφή X,Y,Z συντεταγμένων), offset ρολογιού και ώρα. Αυτή η αρχικοποίηση επιτρέπει στη συσκευή να λειτουργήσει ομαλά για εκείνο το χρονικό διάστημα(10 έως 20 sec) που απαιτούνται μέχρι να έρθει στην κατάσταση να λαμβάνει σωστά δεδομένα από τους δορυφόρους.

\$PSRF101,<X>,<Y>,<Z>,<ClkOffset>,<TimeOfWeek>,<WeekNo>,<chnlCount>,<ResetCfg>*CKSUM<CR><LF>	
ONOMA	ΤΙΜΕΣ
<X>	X coordinate(INT32)
<Y>	Y coordinate(INT32)
<Z>	Z coordinate(INT32)
<ClkOffset>	Clock offset of the receiver in Hz.
<TimeOfWeek>	GPS Time of Week(UINT32)
<WeekNo>	GPS Week Number(UINT32)
<chnlCount>	Number of channels to use 1-12.
<ResetCfg>	0x01 = Data Valid warm 0x02 = Clear ephemeris warm 0x04 = Clear memory

ΠΙΝΑΚΑΣ Α.12

Εντολή Query/Rate Control:

Η εντολή αυτή χρησιμοποιείται για τον έλεγχο των βασικών προτάσεων εξόδου GGA, GLL, GSA, GSV, RMC και VTG. Με την χρήση της εντολής αυτής μπορούμε να καλέσουμε κάποια από τις προτάσεις ή να αλλάξουμε την περίοδο εμφάνισης τους στην έξοδο του δέκτη.

\$PSRF103,<msg>,<mode>,<rate>,<cksumEnable>*CKSUM<CR><LF>	
ONOMA	TIMEΣ
<msg>	0 = GGA , 1 = GLL , 2 = GSA , 3 = GSV , 4 = RMC , 5 = VTG
<mode>	0 = SetRate , 1 = Query
<rate>	Output every <rate seconds> , off = 0 , max = 255
<cksumEnable>	0 = disable checksum , 1 = enable checksum for specified message

ΠΙΝΑΚΑΣ A.13

Εντολή LLA Navigation Initialization:

Η εντολή αυτή χρησιμοποιείται για να αρχικοποιηθεί η συσκευή στην περίπτωση θερμής εκκίνησης κατά την οποία απαιτούνται άμεσα συντεταγμένες θέσης(στην μορφή γεωγραφικό πλάτος, γεωγραφικό μήκος, υψόμετρο), offset ρολογιού και ώρα. Αυτή η αρχικοποίηση επιτρέπει στη συσκευή να λειτουργήσει ομαλά για εκείνο το χρονικό διάστημα(10 έως 20 sec) που απαιτούνται μέχρι να έρθει στην κατάσταση να λαμβάνει σωστά δεδομένα από τους δορυφόρους.

\$PSRF104,<Lat>,<Lon>,<Alt>,<ClkOffset>,<TimeOfWeek>,<WeekNo>,<chnlCount>,<ResetCfg>*CKSUM<CR><LF>	
ONOMA	TIMEΣ
<Lat>	Latitude position, assumed positive North of equator and negative South of equator
<Lon>	Longitude position, it is assumed positive East of Greenwich and negative West of Greenwich
<Alt>	Altitude position
<ClkOffset>	Clock offset of the receiver in Hz.
<TimeOfWeek>	GPS Time of Week (UINT32)
<WeekNo>	GPS Week Number (UINT16)
<chnlCount>	Number of channels to use 1-12.
<ResetCfg>	0x01 = Data Valid warm 0x02 = Clear ephemeris warm 0x04 = Clear memory

ΠΙΝΑΚΑΣ A.14

Εντολή Development Data On/Off:

Η εντολή αυτή ενεργοποιεί την δυνατότητα στον δέκτη να δίνει ως έξοδο πληροφορία για debug εάν έχει προκύψει πρόβλημα με τις εντολές που λαμβάνει.

\$PSRF105,<debug>*CKSUM<CR><LF>	
ONOMA	TIMEΣ
<debug>	0 = OFF , 1 = ON

ΠΙΝΑΚΑΣ A.15

Παράδειγμα:

Debug On : \$PSRF105,1*3E

Debug Off : \$PSRF105,1*3F

Παράρτημα Β

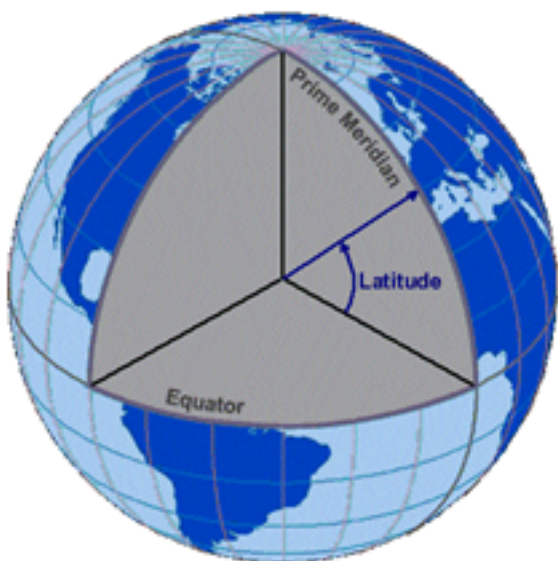
Σύστημα Γεωγραφικών Συντεταγμένων

Το σύστημα γεωγραφικών συντεταγμένων αποτελεί τον τρόπο με τον οποίο μπορούμε να προσδιορίσουμε οποιαδήποτε τοποθεσία και σημείο πάνω στην επιφάνεια της Γης βάσει ενός ζεύγους τιμών το οποίο ονομάζεται γεωγραφική συντεταγμένη. Η γεωγραφική συντεταγμένη αποτελείται από το γεωγραφικό πλάτος (latitude) όπου συμβολίζεται με το γράμμα ϕ και το γεωγραφικό μήκος (longitude) όπου συμβολίζεται με το γράμμα λ .

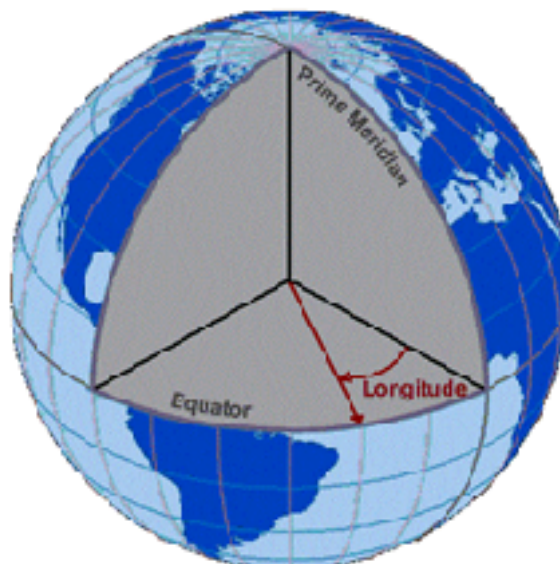
Ως γεωγραφικό πλάτος (Εικόνα Β.1) ενός σημείου που βρίσκεται στην επιφάνεια της Γης ορίζουμε την γωνία που σχηματίζει το επίπεδο του ισημερινού, με την νοητή ευθεία που διέρχεται από το κέντρο της Γης κι από το σημείο ενδιαφέροντος μας πάνω στην επιφάνεια. Το γεωγραφικό πλάτος χαρακτηρίζεται ως Βόρειο (North) ή ως Νότιο (South) ανάλογα με το ημισφαίριο στο οποίο βρίσκεται το σημείο. Σημεία τα οποία βρίσκονται στο ίδιο ημισφαίριο λέμε ότι έχουν ομώνυμα πλάτη (same name latitude points) σε αντίθεση με σημεία διαφορετικού ημισφαιρίου που έχουν ετερώνυμα πλάτη (contrary name latitude points).

Το γεωγραφικό πλάτος ανάλογα τον τρόπο απεικόνισης που θα επιλέξουμε το μετράμε είτε σε μοίρες, λεπτά και δευτερόλεπτα είτε σε μοίρες και λεπτά είτε απλά σε μοίρες και λαμβάνει τιμές από 0° έως 90° μοίρες ακολουθούμενο από ένα γράμμα που προσδιορίζει εάν το σημείο βρίσκεται Βόρεια ή Νότια. Ως 0° μοίρες ορίζουμε το σημείο της επιφάνειας που βρίσκεται στον ισημερινό και ως 90° μοίρες το σημείο της επιφάνειας που βρίσκεται στο Νότιο ή Βόρειο πόλο.

Ως γεωγραφικό μήκος (Εικόνα Β.2) ενός σημείου στην επιφάνεια της γης ορίζουμε την γωνία που σχηματίζεται από το επίπεδο του μεσημβρινού που διέρχεται από το εν λόγω σημείο και το επίπεδο του πρώτου μεσημβρινού. Ο πρώτος μεσημβρινός που έχει οριστεί σαν μεσημβρινός αναφοράς είναι αυτός που διέρχεται από το Greenwich της Αγγλίας και χωρίζει την Γη σε Ανατολικό και Δυτικό ημισφαίριο.



Εικόνα. Β.1: Γεωγραφικό Πλάτος.



Εικόνα. Β.2: Γεωγραφικό Μήκος.

Το γεωγραφικό μήκος χαρακτηρίζεται ως Ανατολικό (East) ή ως Δυτικό (West) ανάλογα με το εάν το σημείο βρίσκεται ανατολικά ή δυτικά του μεσημβρινού Greenwich δηλαδή στο ανατολικό ή δυτικό ημισφαίριο. Σημεία που βρίσκονται στο ίδιο ημισφαίριο έχουν ομώνυμα μήκη (same names) σε αντίθεση με σημεία που βρίσκονται σε διαφορετικά ημισφαίρια κι έχουν ετερώνυμα μήκη (contrary names).

Το γεωγραφικό μήκος, όπως και το γεωγραφικό πλάτος, ανάλογα τον τρόπο απεικόνισης που θα επιλέξουμε το μετράμε είτε σε μοίρες, λεπτά και δευτερόλεπτα είτε σε μοίρες και λεπτά είτε απλά σε μοίρες και λαμβάνει τιμές από 0° έως 180° μοίρες ακολουθούμενο από ένα γράμμα που προσδιορίζει εάν το σημείο βρίσκεται Ανατολικά ή Δυτικά. Ως 0° μοίρες ορίζουμε το σημείο της επιφάνειας που βρίσκεται στον πρώτο μεσημβρινό και ως 180° μοίρες το σημείο της επιφάνειας που βρίσκεται στον αντιδιαμετρικό μεσημβρινό του πρώτου μεσημβρινού.

Παράρτημα Γ

Απεικόνιση Γεωγραφικών Συντεταγμένων

Όπως αναφέραμε σε προηγούμενες ενότητες υπάρχουν τρεις διαφορετικοί τρόποι απεικόνισης των γεωγραφικών συντεταγμένων. Εκτός από τον διαφορετικό τρόπο αναγραφής της πληροφορίας δεν υπάρχει κάποια άλλη διαφοροποίηση προς το περιεχόμενο της ή προς την ακρίβεια της. Όμως είναι σημαντικό να αναφερθούν οι διάφοροι τρόποι απεικόνισης καθώς οι διάφορες εφαρμογές και συστήματα που χρησιμοποιούν τέτοιου είδους δεδομένα διαφοροποιούνται ανά κατασκευαστή και σε περίπτωση χρήσης τους σαν υποσυστήματα σε ένα μεγαλύτερο σύστημα είναι αναγκαίο να υπάρχει μια εναρμόνιση όσον αφορά την πληροφορία που δίνουν. Οι τρόποι απεικόνισης είναι οι εξής:

- A) Απεικόνιση των γεωγραφικών συντεταγμένων σε μοίρες (*integer*), λεπτά (*integer*) και δευτερόλεπτα (*integer*). Π.χ: *DMS* : 79°58'36"W
- B) Απεικόνιση των γεωγραφικών συντεταγμένων σε μοίρες (*integer*) και λεπτά (*float*). Π.χ: *MinDec* : 79°56,9317W
- Γ) Απεικόνιση των γεωγραφικών συντεταγμένων σε μοίρες (*integer*).
DemicalDegree : -79,9488

A) Μετατροπή από DMS σε Decimal Degree:

Έστω ότι έχουμε μια γεωγραφική συντεταγμένη είτε πρόκειται για γεωγραφικό μήκος ή πλάτος της μορφής 79°58'36"). Για το παράδειγμα μας επιλέγουμε η γεωγραφική συντεταγμένη να απεικονίζει γεωγραφικό μήκος οπότε θα αναγραφεί σε μορφή DMS ως 79°58'36"W). Για να την μετατρέψουμε σε Demical Degree κάνουμε τα εξής:

1. Παίρνουμε τα λεπτά και τα δευτερόλεπτα και υπολογίζουμε τον συνολικό αριθμό των δευτερολέπτων. Αυτό επιτυγχάνεται πολλαπλασιάζοντας τον αριθμό των λεπτών με το 60 και στο αποτέλεσμα που θα προκύψει προσθέτουμε τα δευτερόλεπτα: $58 \cdot 60 + 36 = 3516$.

2. Τον συνολικό αριθμό των δευτερολέπτων το διαιρούμε με το 3600:

$$\frac{3515}{3600} = 0,9766.$$

3. Στο αποτέλεσμα του δεύτερου βήματος προσθέτουμε τις μοίρες: $79 + 0,9766 = 79,9766$.

4. Έπειτα κοιτάμε το ημισφαίριο στο οποίο ανήκει η γεωγραφική μας συντεταγμένη και αναλόγως τον παρακάτω πίνακα στο αποτέλεσμα του βήματος 3 πολλαπλασιάζουμε τον παράγοντα του ημισφαιρίου.

ΕΙΔΟΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΗΣ	ΗΜΙΣΦΑΙΡΙΟ	ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΗΜΙΣΦΑΙΡΙΟΥ	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ x
ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΠΛΑΤΟΣ	N	+1	$+x$
ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΠΛΑΤΟΣ	S	-1	$-x$
ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΜΗΚΟΣ	E	+1	$+x$
ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΜΗΚΟΣ	W	-1	$-x$

ΠΙΝΑΚΑΣ Γ.1: ΠΙΝΑΚΑΣ.

Στην περίπτωση μας το γεωγραφικό μήκος βρίσκεται στο δυτικό ημισφαίριο συνεπώς πολλαπλασιάζουμε με το -1 . Συνεπώς μετά τον πολλαπλασιασμό με τον παράγοντα του ημισφαιρίου έχουμε το τελικό αποτέλεσμα όπου είναι το $-79,9766$.

B) Μετατροπή από MinDec σε Decimal Degree:

Έστω τώρα ότι έχουμε μια γεωγραφική συντεταγμένη στην μορφή MinDec δηλαδή σε μοίρες και λεπτά. Η γεωγραφική συντεταγμένη θα είναι της μορφής $79^{\circ}56,93172W$. Για να την μετατρέψουμε σε Decimal Degree ακολουθούμε τα εξής βήματα:

1. Διαχωρίζουμε τα λεπτά από τις μοίρες και τα διαιρούμε με το 60: $\frac{56,93172}{60} = 0,948862$.

2. Στο αποτέλεσμα που προκύπτει προσθέτουμε τις μοίρες $79 + 0,948862 = 79,948862$.

3. Όπως έχουμε αναφέρει παραπάνω κοιτάμε το ημισφαίριο στο οποίο ανήκει η γεωγραφική μας συντεταγμένη και σύμφωνα με τον Πίνακα Χ, πολλαπλασιάζουμε στο αποτέλεσμα του Βήματος 2 τον παράγοντα του ημισφαιρίου. Στην περίπτωση μας έχουμε ότι η γεωγραφική μας συντεταγμένη βρίσκεται στο δυτικό ημισφαίριο οπότε ο παράγοντας ημισφαιρίου είναι το -1 άρα το τελικό μας αποτέλεσμα θα είναι το $-79,948862$.

Γ) Μετατροπή από Decimal Degree σε DMS:

Έστω τώρα ότι έχουμε τις γεωγραφικές συντεταγμένες σε μορφή Decimal Degree, δηλαδή στην μορφή $-87,728055$ και θέλουμε να τις μετατρέψουμε σε DMS. Το πρώτο πράγμα που χρειάζεται να γνωρίζουμε είναι εάν η δοθείσα γεωγραφική συντεταγμένη αποτελεί γεωγραφικό μήκος ή πλάτος. Στο παράδειγμα μας έχουμε ότι η συντεταγμένη είναι γεωγραφικό μήκος. Έχοντας την παραπάνω πληροφορία τα βήματα που θα ακολουθήσουμε είναι τα εξής:

1. Από την απόλυτη τιμή του δεκαδικού αριθμού κρατάμε το ακέραιο μέρος όπου είναι ο αριθμός των μοιρών και το αφαιρούμε από τον αρχικό αριθμό. $87,728055 - 87 = 0,728055 \rightarrow \text{Μοίρες} = 87^\circ$.
2. Το αποτέλεσμα της αφαίρεσης το πολλαπλασιάζουμε με το 60. Το αποτέλεσμα που παράγεται είναι ένας δεκαδικός αριθμός όπου το ακέραιο μέρος αναπαριστά τον αριθμό των λεπτών. Έπειτα τα λεπτά αφαιρούνται από τον δεκαδικό αριθμό. $0,728055 * 60 = 43,6833 \rightarrow \text{Λεπτά} = 43'$ και $43,6833 - 43 = 0,6833$.
3. Ξανά όπως στο βήμα 2 το αποτέλεσμα της αφαίρεσης το πολλαπλασιάζουμε με το 60. Το αποτέλεσμα που παράγεται είναι ένας δεκαδικός αριθμός στον οποίο εφαρμόζουμε άνω φράγμα. Το αποτέλεσμα θα αναπαριστά τα δευτερόλεπτα. $0,6833 * 60 = 40,998 \rightarrow [40,998] = 41 \rightarrow \text{Δευτερόλεπτα} = 41''$.
4. Τέλος αναλόγως το πρόσημο του αρχικού αριθμού και με βάση του εάν αναπαριστά γεωγραφικό μήκος ή πλάτος, ελέγχουμε τον Πίνακα 1 και προσθέτουμε στο τελικό αποτέλεσμα ένα από τα αντίστοιχα σύμβολα καθορισμού του ημισφαιρίου. Στην περίπτωση μας έχουμε ότι ο αριθμός αναπαριστά γεωγραφικό μήκος με αρνητικό πρόσημο οπότε βάση του πίνακα το τελικό αποτέλεσμα θα είναι: $87^\circ 43' 41'' W$.

Παράρτημα Δ

Υπολογισμός Απόστασης με την Χρήση Γεωγραφικών Συντεταγμένων

Όπως αναφέραμε παραπάνω κάθε σημείο στην επιφάνεια της Γης μπορεί να προσδιοριστεί με βάση ένα ζεύγος τιμών γεωγραφικού μήκους και πλάτους. Εκτός όμως από τον προσδιορισμό της θέσης ενός σημείου, επίσης είναι χρήσιμο να μπορεί να γίνει δυνατός ο υπολογισμός της απόστασης μεταξύ δύο σημείων. Όπως έχουμε μάθει από τον διανυσματικό λογισμό, σε ένα επίπεδο με δύο σημεία (x_1, y_1) και (x_2, y_2) αντίστοιχα, η απόσταση τους υπολογίζεται από τον τύπο $d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$. Όμως στην περίπτωση της επιφάνειας της Γης τα πράγματα είναι τελείως διαφορετικά καθώς λόγω της καμπυλότητας της δεν έχουμε επίπεδο αλλά κυρτές επιφάνειες. Έτσι λοιπόν για τον υπολογισμό της απόστασης στην επιφάνεια της Γης χρησιμοποιούνται κυρίως τα παρακάτω μοντέλα:

A) Μοντέλο λείας επιφάνειας (Flat surface model).

B) Μοντέλο σφαιρικής επιφάνειας (Spherical surface model).

Γ) Μοντέλο ελλειψοειδής επιφάνειας (Ellipsoidal surface model).

A) Μοντέλο λείας επιφάνειας (Flat surface model):

Η προσέγγιση της επιφάνειας της Γης ως επίπεδο είναι αρκετά χρήσιμη για μικρές αποστάσεις δηλαδή κάπου λιγότερο από $100km$. Η ακρίβεια υπολογισμού της απόστασης χρησιμοποιώντας αυτή την προσέγγιση είναι καλή αλλά τείνει να γίνει ανακριβής στην περίπτωση όπου:

1. Ο διαχωρισμός μεταξύ των δυο σημείων είναι μεγάλος. Δηλαδή βρίσκονται σε αντίθετα σημεία βάσης ενός σημείου αναφοράς.
2. Ένα από τα δύο σημεία ή και τα δύο σημεία βρίσκονται κοντά στους πόλους. Όσο μικραίνει η απόσταση από τους πόλους τόσο μεγαλώνει το σφάλμα υπολογισμού.

Ο τρόπος που υλοποιείται αυτή η μέθοδος έχει να κάνει με το τι σχήμα έχει η επιφάνεια της οποίας τις γεωγραφικές συντεταγμένες προβάλλουμε στο επίπεδο. Αναλόγως το σχήμα τις επιφάνειας έχουμε τις εξής περιπτώσεις:

Προβολή γεωγραφικών συντεταγμένων με το σχήμα της Γης να είναι σφαιρικό.

Η περίπτωση αυτή είναι ακριβής για αποστάσεις μικρότερες των 200km. Στην περίπτωση αυτή ο τύπος που υπολογίζει την απόσταση δύο σημείων με γεωγραφικές συντεταγμένες (ϕ_1, λ_1) και (ϕ_2, λ_2) είναι: $D = R * \sqrt{(\Delta\phi)^2 + (\cos \phi_m * \Delta\lambda)^2}$ Όπου D είναι η απόσταση μεταξύ των δύο σημείων, R είναι η ακτίνα της Γης και την θεωρούμε ίση με $R = 6731km = 3958.7miles = 3440.07 \text{ nautical miles}$, $\Delta\phi = \phi_2 - \phi_1$, $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$ και $\phi_m = \frac{(\phi_1 + \phi_2)}{2}$ το μέσο γεωγραφικό πλάτος. Να σημειωθεί ότι όλοι οι υπολογισμοί γίνονται σε μοίρες εκτός της περίπτωση του $\cos(\phi_m)$ όπου ανάλογα την γλώσσα προγραμματισμού που χρησιμοποιείται μπορεί να υπολογίζει το *cosine* με όρισμα σε μοίρες(*degrees*) ή σε ακτίνια(*radians*). Για τον μετασχηματισμό από μοίρες σε ακτίνια κι αντιστρόφως ισχύει η σχέση: $1^\circ = \frac{\pi}{180}$ ακτίνια.

Προβολή γεωγραφικών συντεταγμένων με το σχήμα της Γης να είναι ελλειψοειδές.

Η περίπτωση αυτή είναι ακριβής για αποστάσεις που δεν ξεπερνούν τα 500km. Ο τύπος που υπολογίζει την απόσταση δύο σημείων με γεωγραφικές συντεταγμένες (ϕ_1, λ_1) και (ϕ_2, λ_2) είναι: $D = \sqrt{(K_1 * \Delta\phi)^2 + (K_2 * \Delta\lambda)^2}$ Όπου D είναι η απόσταση μεταξύ των δύο σημείων, R είναι η ακτίνα της Γης και την θεωρούμε ίση με $R = 6731km = 3958.7miles = 3440.07 \text{ nautical miles}$, $\Delta\phi = \phi_2 - \phi_1$, $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$ και $\phi_m = \frac{(\phi_1 + \phi_2)}{2}$ το μέσο γεωγραφικό πλάτος. Να σημειωθεί ότι όλοι οι υπολογισμοί γίνονται σε μοίρες εκτός της περίπτωση του $\cos \phi_m$ όπου ανάλογα την γλώσσα προγραμματισμού που χρησιμοποιείται μπορεί να υπολογίζει το *cosine* με όρισμα σε μοίρες(*degrees*) ή σε ακτίνια(*radians*). Επιπλέον χρειαζόμαστε να υπολογίσουμε της σταθερές K_1 και K_2 των οποίων η τιμή εξαρτάται από το μέσο γεωγραφικό πλάτος (ϕ_m). Οι τύποι για των υπολογισμό των σταθερών δίνονται παρακάτω:

$$K_1 = 111,13209 - 0,566605 * \cos(2 * \phi_m) + 0,00120 * \cos(4 * \phi_m) \text{ και}$$

$$K_2 = 111,41513 * \cos(\phi_m) - 0,09455 * \cos(3 * \phi_m) + 0,00012 * \cos(5 * \phi_m)$$

B) Μοντέλο σφαιρικής επιφάνειας (Spherical surface model):

Σε αυτή την προσέγγιση θεωρούμε ότι η Γη έχει σχήμα σφαίρας και για τον υπολογισμό της απόστασης των δύο σημείων χρησιμοποιούμε τα θεωρήματα της σφαιρικής γεωμετρίας καθώς αυτό που πρέπει να υπολογιστεί είναι το μήκος της χορδής που ενώνει τα δύο σημεία. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν με βάση την θεωρία έχουν ένα σφάλμα που δεν ξεπερνάει το 0,5% σε σχέση με την πραγματικότητα. Αρχικά υπολογίζουμε το μήκος της χορδής που ενώνει τα δύο σημεία. Οι υπολογισμοί γίνονται βάση των παρακάτω τύπων:

$$(1) \Delta X = \cos(\phi_2) * \cos(\lambda_2) - \cos(\phi_1) * \cos(\lambda_1)$$

$$(2) \Delta Y = \cos(\phi_2) * \sin(\lambda_2) - \cos(\phi_1) * \sin(\lambda_1)$$

$$(3) \Delta Z = \sin(\phi_2) - \sin(\phi_1)$$

$$\text{Τελικά από (1), (2), (3) θα έχουμε ότι: } Ch = \sqrt{(\Delta X)^2 + (\Delta Y)^2 + (\Delta Z)^2}$$

Έπειτα αφού έχουμε υπολογίσει το μήκος της χορδής Ch υπολογίζουμε την κεντρική γωνία των δύο σημείων. Ως κεντρική γωνία ορίζεται η γωνία που σχηματίζουν τα δύο σημεία σε σχέση με το κέντρο της Γης και ορίζεται από την σχέση:

$$\Delta\sigma = 2 * \arcsin\left(\frac{Ch}{2}\right)$$

Έχοντας υπολογίσει την κεντρική γωνία και το μήκος χορδής η απόσταση των δύο σημείων δηλαδή το μήκος του τόξου δίνεται από τον τύπο: $D = R * \Delta\sigma$, όπου R η ακτίνα της Γης με $R = 6731km = 3958.7miles = 3440.07$ nautical miles.

Γ) Μοντέλο ελλειψοειδής επιφάνειας (Ellipsoidal surface model):

Σε αυτή την προσέγγιση θεωρούμε ότι η Γη έχει σχήμα έλλειψης και για τον υπολογισμό της απόστασης των δύο σημείων χρησιμοποιούμε μεθόδους οι οποίες βασίζονται στις κωνικές τομές και τα θεωρήματα της αναλυτικής γεωμετρίας. Δύο είναι οι κύριες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται αναλόγως με την ακρίβεια που επιζητούμε.

Μέθοδος του Vincenty.

Έχοντας τις συντεταγμένες δύο σημείων (ϕ_1, λ_1) και (ϕ_2, λ_2) για να υπολογίσουμε την μεταξύ τους απόσταση D εφαρμόζουμε την παρακάτω διαδικασία:

Βήμα 1:

Αρχικά θέτουμε σαν αρχικοποίηση ότι $\lambda = L$ και υπολογίζουμε τα U_1 και U_2 από τους παρακάτω τύπους:

$U_1 = \arctan[(1 - f) * \tan \phi_1](1)$ και $U_2 = \arctan[(1 - f) * \tan \phi_2](2)$ με το f να είναι το flattening της Γης όπου στην περίπτωση μας θα έχει τιμή ίση με: $f = \frac{1}{298,2572}$ και $L = \lambda_2 - \lambda_1$.

Με βάση τα αποτελέσματα των σχέσεων (1)&(2) υπολογίζουμε το $\cos \sigma$ και $\sin \sigma$:

$$\sin \sigma = \sqrt{(\cos U_2 * \sin \lambda)^2 + (\cos U_1 * \sin U_2 - \sin U_1 * \cos U_2 * \cos \lambda)^2} \quad (3)$$

$$\cos \sigma = \sin U_1 * \sin U_2 + \cos U_1 * \cos U_2 * \cos \lambda \quad (4)$$

Ακολουθως υπολογίζουμε την αντίστροφη εφαπτομένη με τα αποτελέσματα των σχέσεων (3)&(4): $\sigma_m = \arctan \frac{\sin \sigma}{\cos \sigma}$

Ακολουθως υπολογίζουμε τα εξής:

$$\sin \alpha = \frac{\cos U_1 * \cos U_2 * \sin \lambda}{\sin \sigma} \text{ και}$$

$$\cos^2 \alpha = 1 - \sin^2 \alpha$$

$$\cos (2 * \sigma_m) = \cos \sigma - \frac{2 * \sin U_1 * \sin U_2}{\cos^2 \alpha}$$

$$C = \frac{f}{16} * \cos^2 \alpha * [4 + f * (4 - 3 * \cos^2 \alpha)]$$

$$\lambda = L + (1 - C) * f * \sin \alpha * \sigma + C * \sin \sigma * [\cos (2 * \sigma_m) + C * \cos \sigma * (-1 + 2 * \cos^2 (2 * \sigma_m))]$$

Πλέον έχουμε μια τιμή λ και επαναλαμβάνουμε το Βήμα 1 με βάση την νέα αυτή τιμή λ . Επαναλαμβάνουμε την διαδικασία έως ότου δούμε ότι το λ θα συγκλίνει σε μια τιμή με διαφορά προηγούμενης τιμής και νέας τιμής να μην ξεπερνάει το 0,1. Εάν ισχύει αυτή η συνθήκη τότε προχωράμε στο επόμενο βήμα.

Βήμα 2:

Αρχικά υπολογίζουμε το u^2 από την παρακάτω σχέση: $u^2 = \cos^2 \alpha * \frac{a_m^2 - b_m^2}{b_m^2}$

Έπειτα βάσει της τιμής του u^2 υπολογίζουμε τα A και B :

$$A = 1 + \frac{u^2}{16384} * [4096 + u^2 * [-768 + u^2 * (320 - 175 * u^2)]]$$

$$B = \frac{u^2}{1024} * [256 + u^2 * [-128 + u^2 * (74 - 47 * u^2)]]$$

Με βάση το B και σχέσεις που έχουν υπολογιστεί στο Βήμα 1 υπολογίζουμε το $\Delta\sigma$:

$$\Delta\sigma = B * \sin \sigma * [\cos (2 * \sigma_m) + \frac{1}{4} * B * [part1 - part2]] \text{ όπου}$$

$$part1 = \cos \sigma * (-1 + 2 * \cos^2 (2 * \sigma_m)) \text{ και}$$

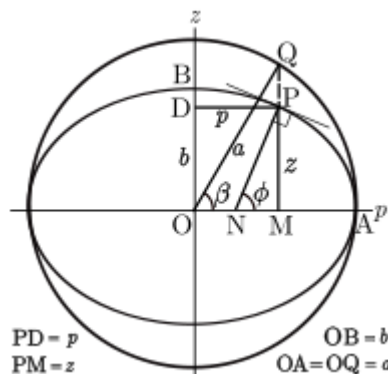
$$part2 = \frac{1}{6} * B * \cos (2 * \sigma_m) * (-3 + 4 * \sin^2 \sigma) * (-3 + 4 * \cos^2 (2 * \sigma_m))$$

Τέλος υπολογίζουμε το s που είναι η ελλειψοειδής απόσταση μεταξύ των σημείων (ϕ_1, λ_1) και (ϕ_2, λ_2) : $s = b_m * A * (\sigma - \Delta\sigma)$

Η μεταβλητή α_m είναι το μήκος του μεγάλου άξονα του ελλειψοειδούς κι έχει τιμή ίση με $\alpha_m = 6378137m$. Η μεταβλητή f είναι το flattening του ελλειψοειδούς κι έχει τιμή ίση με $f = \frac{1}{298,2572}$. Τέλος η μεταβλητή b_m είναι το μήκος του μικρού άξονα του ελλειψοειδούς. Ο υπολογισμός της συγκεκριμένης μεταβλητής γίνεται βάσει του τύπου: $b_m = (1 - f) * \alpha$.

Μέθοδος του Lambert.

Είναι μια απλοποιημένη εκδοχή της μεθόδου Vincenty η οποία δίνει στον υπολογισμό της απόστασης ένα σφάλμα της τάξεως των 5 με 10 μέτρων. Αρχικά μετατρέπουμε το γεωγραφικό πλάτος ϕ_1 και ϕ_2 των δύο σημείων στο μειωμένο ή παραμετρικό γεωγραφικό πλάτος ψ_1 και ψ_2 . Όπως βλέπουμε κι από την Εικόνα Δ.1, σε ένα κύκλο ακτίνας a όπου εμπεριέχεται μία έλλειψη μικρού άξονα ίσου με b και μεγάλου άξονα ίσου με a , ως μειωμένο ή παραμετρικό γεωγραφικό πλάτος β ορίζεται η γωνία που παράγεται από την ακτίνα OQ μήκους a όπου είναι η κάθετη προβολή του σημείου P στην έλλειψη στο γεωγραφικό πλάτος ϕ .



Εικόνα. Δ.1

Η μετατροπή του γεωγραφικού πλάτους στο παραμετρικό γίνεται βάση του παρακάτω τύπου: $\tan \psi = \left(\frac{r-1}{r}\right) * \tan \phi$. Όπου $r = 298.257223563$ σύμφωνα με το WGS84 (World Geodetic System-1984). Έπειτα υπολογίζουμε την κεντρική γωνία σ μεταξύ των δύο σημείων (ψ_1, λ_1) και (ψ_2, λ_2) σύμφωνα με το τυπολόγιο που έχει περιγραφεί παραπάνω στο μοντέλο σφαιρικής επιφάνειας με μόνη διαφορά ότι όπου υπάρχει η μεταβλητή ϕ_i θα αντικατασταθεί με την μεταβλητή ψ_i . Έχοντας πλέον υπολογίσει και την κεντρική γωνία εφαρμόζουμε τους υπόλοιπους τύπους της μεθόδου:

$$P = \frac{\Psi_1 + \Psi_2}{2} \text{ και } Q = \frac{\Psi_2 - \Psi_1}{2}$$

$$X = (\sigma - \sin \sigma) * \frac{\sin^2 P * \cos^2 Q}{\cos^2 \frac{\sigma}{2}} \text{ και } Y = (\sigma + \sin \sigma) * \frac{\cos^2 P * \sin^2 Q}{\sin^2 \frac{\sigma}{2}}$$

Παράρτημα Ε

Σύστημα Παγκόσμιου Εντοπισμού Θέσης (GPS)

Το GPS είναι ένα σύστημα πλοήγησης το οποίο βρίσκεται υπό την διαχείριση του υπουργείου άμυνας των Η.Π.Α. και παρέχει πληροφορία για την θέση και την ταχύτητα σε οποιοδήποτε σημείο της Γης υπό οποιεσδήποτε καιρικές συνθήκες. Το σύστημα χρησιμοποιείται για στρατιωτικές, εμπορικές και δωρεάν εφαρμογές με το χαρακτηριστικό το οποίο διαφοροποιείτε ανά κατηγορία να είναι η ακρίβεια των δεδομένων που παρέχονται στους χρήστες για τις γεωγραφικές συντεταγμένες.

Οι δωρεάν εφαρμογές δίνουν μια ακρίβεια της τάξεως των δέκα μέτρων, οι εμπορικές της τάξεως του ενός με δύο μέτρα και οι στρατιωτικές λιγότερο του ενός μέτρου. Εκτός από το αμερικάνικο GPS έχουν αναπτυχθεί αντίστοιχα συστήματα και από χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Galileo positioning system), την Ρωσία (GLObal NAVigation Satellite System-GLONASS) αλλά και την Κίνα (Compass navigation system). Το σύστημα του GPS αποτελείται από τρία τμήματα:

- 1) Το τμήμα διαστήματος (Space Segment).
- 2) Το τμήμα ελέγχου (Control Segment).
- 3) Το τμήμα χρηστών (User Segment).

Το τμήμα διαστήματος αποτελείται από 30 δορυφόρους κατηγορίας MEO (Medium Earth Orbit) οι οποίοι βρίσκονται σε έξι διαφορετικές κυκλικές τροχιές σε υψόμετρο μεταξύ 20,2 και 26,6 *km* εκτελώντας 2 πλήρεις περιστροφές της Γης ανά 24 ώρες. Οι τροχιές μεταξύ τους και με κέντρο αναφοράς το κέντρο της Γης σχηματίζουν γωνία ίση με 60° μοίρες και τυλίζουν ομοιόμορφα την επιφάνεια της Γης.

Σε κάθε μία από τις τροχιές κινούνται 5 δορυφόροι οι οποίοι διαφέρουν μεταξύ τους κατά 30°, 105° και 120° μοίρες ανάλογα την περίπτωση. Αυτό συμβαίνει διότι σε οποιοδήποτε σημείο της Γης για να λάβουμε σωστή πληροφορία θέσης πρέπει το σημείο αυτό να έχει οπτική επαφή με τουλάχιστον 4 έως 5 δορυφόρους του συστήματος.

Οπότε με αυτή την μεταβλητότητα στην κίνηση των δορυφόρων εξυπηρετείται με τον βέλτιστο τρόπο αυτή η ανάγκη. Ο αλγόριθμος κίνησης και καθορισμού των θέσεων των δορυφόρων δεν είναι διαθέσιμος στην πανεπιστημιακή κοινότητα από το Υπουργείο Άμυνας των Η.Π.Α. Το τμήμα ελέγχου αποτελείτε από έναν κύριο κι ένα εφεδρικό σταθμό ελέγχου των δορυφόρων, από τέσσερις παραβολικές κεραίες κι έξι σταθμούς απεικόνισης δεδομένων.

Ο σταθμός ελέγχου με την χρήση των τεσσάρων κεραίων επιτηρεί και ελέγχει την σωστή τροχιά και λειτουργία των δορυφόρων του συστήματος και όποτε χρειαστεί στέλνει εντολές διόρθωσης της τροχιάς των δορυφόρων και ρύθμισης και συγχρονισμού των ρολογιών τους για τους υπολογισμούς. Οι σταθμοί απεικόνισης των δεδομένων χρησιμοποιούνται ως σημεία αναφοράς πάνω στην επιφάνεια της Γης ώστε να γίνεται η επαλήθευση της σωστής λειτουργίας των δεδομένων που δίνουν οι δορυφόροι.

Το τμήμα χρηστών αποτελείτε από όλους αυτούς που διαθέτουν ένα δέκτη GPS και λαμβάνουν δεδομένα από το σύστημα. Ανάλογα με το κόστος που έχει ο δέκτης αλλά και την κατηγορία την οποία ανήκει ο χρήστης, το σύστημα προσφέρει γεωδαιτικά δεδομένα με ακρίβεια που κυμαίνεται από το μισό μέτρο έως και τα δέκα μέτρα. Τόσο οι χρήστες όσο και οι εφαρμογές χωρίζονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες. Στις στρατιωτικές, στις εμπορικές και στις πολιτικές εφαρμογές. Η μεγαλύτερη ακρίβεια υπάρχει στις στρατιωτικές εφαρμογές αλλά και σε μερικές ειδικές εμπορικές εφαρμογές που απαιτείται ακρίβεια(πολιτική αεροπορία/ναυσιπλοΐα).

Παράρτημα Z

Οδηγός Συστήματος

Σε αυτό το Παράρτημα παρουσιάζεται ο τρόπος ρύθμισης και λειτουργίας του εξοπλισμού της τελικής λειτουργικής έκδοσης του συστήματος "POTA". Αρχικά δίνεται ένας οδηγός γρήγορης έναρξης λειτουργίας του συστήματος του πλοίου. Ακολούθως παρουσιάζονται οι ρυθμίσεις για το σύστημα στρέψης της κεραίας και τέλος δείχνουμε όλες τις ρυθμίσεις που πραγματοποιήσαμε στην κεραία του πλοίου και των σταθμών βάσης.

Έναρξη λειτουργίας του συστήματος στο πλοίο - Quick Start Guide

Για να τεθεί σε πλήρη λειτουργία το σύστημα του πλοίου θα πρέπει να τηρηθεί αυστηρά η παρακάτω περιγραφόμενη διαδικασία. Οποιαδήποτε παρέκκλιση μπορεί να οδηγήσει σε καταστροφή κάποιου από τα εξαρτήματα του συστήματος. Η διαδικασία εκκίνησης του συστήματος έχει ως εξής:

Βήμα 1: Ελέγχουμε εάν στο αναπτυξιακό STK-500 και στα τροφοδοτικά των 5 και 12 *Volt* οι διακόπτες λειτουργίας είναι κλειστοί (OFF). Εάν όχι τότε τους βάζουμε σε αυτή την θέση.

Βήμα 2: Αφαιρούμε από την βάση περιστροφής την κεραία μαζί και τον σωλήνα στήριξης της. Επιπλέον αποσυνδέουμε το καλώδιο ethernet που βρίσκεται στην θύρα POE του router της κεραίας.

Βήμα 3: Αφού πλέον η βάση περιστροφής δεν έχει τίποτα πάνω της, ανοίγουμε τον γενικό διακόπτη λειτουργίας ώστε να τροφοδοτηθεί η βάση, δια μέσου το PSU της, και να εκτελέσει το εργοστασιακό διαγνωστικό τεστ ομαλής λειτουργίας που διαθέτει.

Βήμα 4: Με την ολοκλήρωση του διαγνωστικού τεστ, τοποθετείται ξανά στην βάση περιστροφής η κεραία μαζί με τον σωλήνα στήριξης. Μετά την ολοκλήρωση της τοποθέτησης επανασυνδέουμε και το καλώδιο ethernet στην θύρα POE του router κι αρχίζει και η λειτουργία της κεραίας.

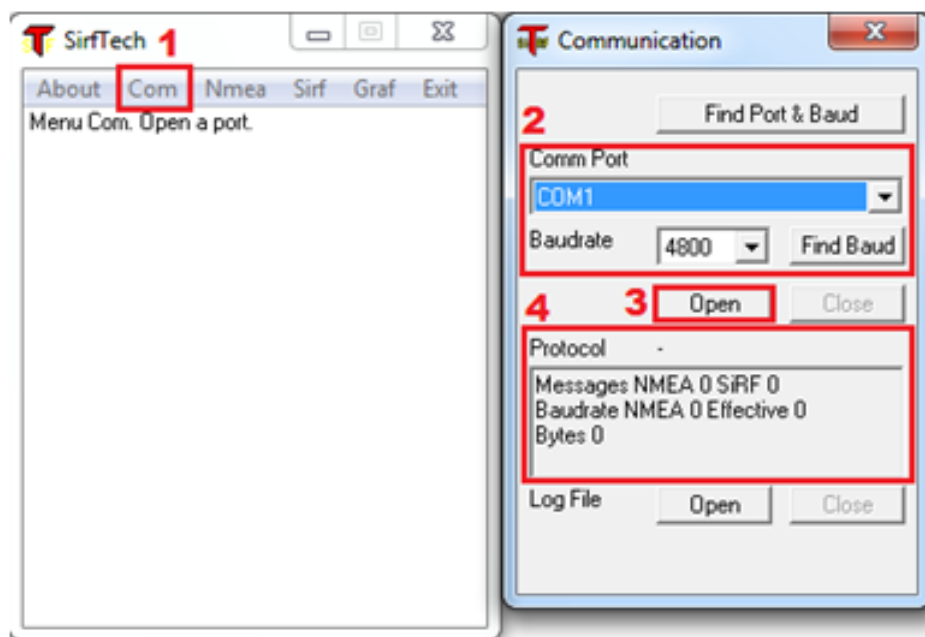
Βήμα 5: Θέτουμε σε λειτουργία το τροφοδοτικό των 5 *Volt* ώστε να αρχίσει να λειτουργεί ο δέκτης GPS κι ο RS232 driver.

Βήμα 6: Τέλος θέτουμε σε λειτουργία το τροφοδοτικό των 12 Volt και ανοίγουμε τον διακόπτη λειτουργίας του STK-500. Πλέον όλα τα συστήματα είναι ενεργοποιημένα και το σύστημα του πλοίου στο σύνολο του λειτουργεί κανονικά εκτελώντας τις προβλεπόμενες ενέργειες.

Ρύθμιση κι έλεγχος ορθής λειτουργίας του GPS

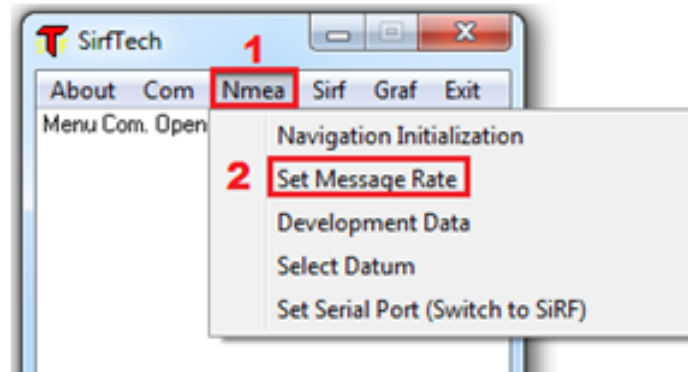
Στο δέκτη του GPS που έχει τοποθετηθεί στο σύστημα του πλοίου θα πρέπει να υπάρξει τροποποίηση στις εργοστασιακές ρυθμίσεις του, ώστε αυτές να προσαρμοστούν στις απαιτήσεις λειτουργίας του συστήματος. Για να αποκτήσουμε πρόσβαση στο firmware του GPS χρησιμοποιούμε το λογισμικό SirfTech(ver.2.2). Εναλλακτικά μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε οποιοσδήποτε άλλο λογισμικό σειριακής επικοινωνίας(terminal). Συνδέουμε το GPS Evaluation Board, στο οποίο έχουμε προσαρμόσει και το δέκτη GPS, στον Η/Υ είτε με την χρήση σειριακής είτε με την χρήση USB port. Τα βήματα ρύθμισης έχουν ως εξής:

Βήμα 1: Επιλέγουμε από το κεντρικό παράθυρο (Εικόνα Z.1) την επιλογή Com (Πλαίσιο 1) κι ανοίγει το παράθυρο με τίτλο Communication. Στην επιλογή Comm Port (Πλαίσιο 2) δηλώνουμε την θύρα (COM) που είναι ενεργοποιημένη η σειριακή στο λειτουργικό και θέτουμε στο πεδίο baudrate την τιμή 4800 καθώς αυτή είναι η εργοστασιακή τιμή σύμφωνα με τον κατασκευαστή. Έπειτα πατάμε Open (Πλαίσιο 3) και αναμένουμε μέχρι να συνδεθεί ο δέκτης GPS με το πρόγραμμα. Ο δέκτης θα έχει συνδεθεί με επιτυχία όταν στο πεδίο Protocol (Πλαίσιο 4) οι τιμές που στην παρακάτω εικόνα εμφανίζονται ως μηδέν θα αρχίζουν να αυξάνουν.



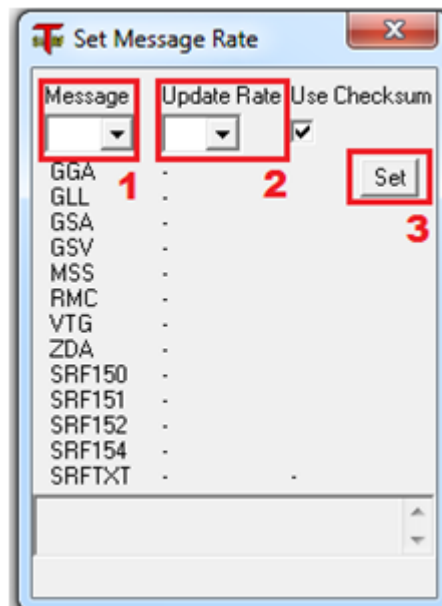
Εικόνα. Z.1

Βήμα 2: Από το κεντρικό παράθυρο (Εικόνα Z.2) επιλέγουμε την επιλογή Nmea (Πλαίσιο 1) και ύστερα την επιλογή Set Message Rate (Πλαίσιο 2).



Εικόνα. Z.2

Στο νέο παράθυρο (Εικόνα Z.3) που εμφανίζεται παρουσιάζονται οι πιθανές εντολές του πρωτοκόλλου NMEA κι ο ρυθμός με τον οποίο δημιουργούνται από τον δέκτη του GPS. Στην εφαρμογή μας θα χρησιμοποιήσουμε μόνο τις εντολές GGA και RMC οπότε οι υπόλοιπες που εμφανίζονται πρέπει να τις απενεργοποιήσουμε. Για να το κάνουμε αυτό επιλέγουμε από το πεδίο Message (Πλαίσιο 1) την εντολή που θέλουμε να σταματήσουμε, στο πεδίο Update Rate (Πλαίσιο 2) θέτουμε την τιμή 0 και τέλος πατάμε το κουμπί Set (Πλαίσιο 3).



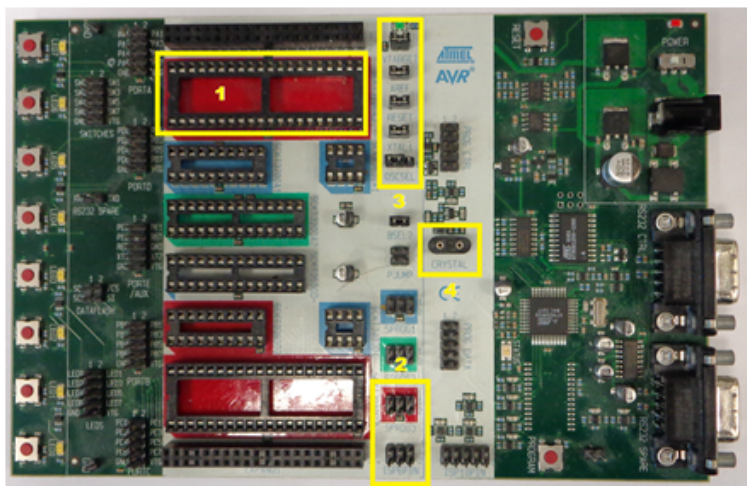
Εικόνα. Z.3

Αφού απενεργοποιήσουμε όλες τις εντολές που δεν χρειαζόμαστε, μπορούμε με την χρήση ενός εργαλείου Terminal να δούμε εάν ο δέκτης GPS λειτουργεί σύμφωνα με τις προδιαγραφές που απαιτεί η εφαρμογή. Τότε είναι έτοιμος να συνδεθεί με το υπόλοιπο σύστημα.

Ρύθμιση και προγραμματισμός του STK-500

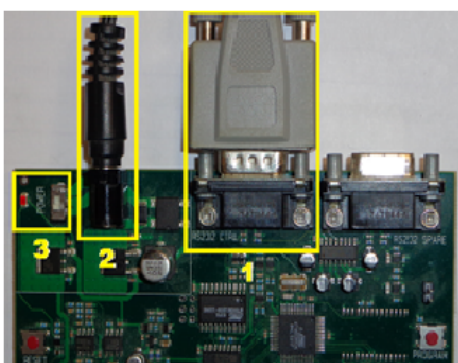
Για τον προγραμματισμό του αναπτυσσικού τα βήματα που πρέπει να ακολουθηθούν είναι τα εξής:

Βήμα 1: Τοποθετούμε τον μικροελεγκτή AVR ATmega1284p στην θέση SCKT3100A3 (Πλαίσιο 1-Εικόνα 4), συνδέουμε τα 6 pin που έχουν ομαδοποιηθεί με την ονομασία ISP6PIN με τα 6 pins που έχουν ομαδοποιηθεί με την ονομασία SPROG3 με την χρήση 6pin-connector (Πλαίσιο 2-Εικόνα Z.4), τοποθετούμε jumpers connectors για να ενώσουμε μεταξύ τους τα pin των VTARGET, AREF, RESET, XTAL1 και τα δύο πρώτα από τα τρία pin του OSCSEL (Πλαίσιο 3-Εικόνα Z.4) και τοποθετούμε έναν κρύσταλλο των 16MHz στην ανάλογη θέση πάνω στο αναπτυσσικό (Πλαίσιο 4-Εικόνα Z.4). Ο τρόπος τοποθέτησης του κρυστάλλου δεν επηρεάζει την λειτουργία του.



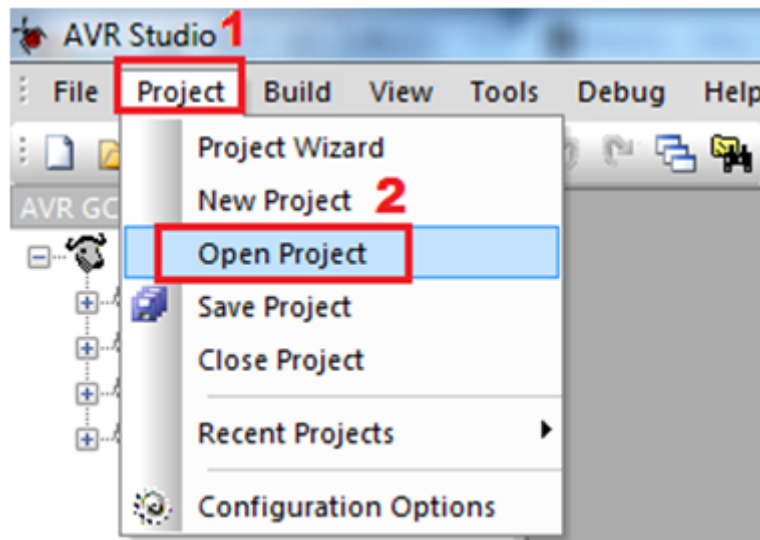
Εικόνα. Z.4

Βήμα 2: Αφού έχουν ολοκληρωθεί οι αναγκαίες συνδεσμολογίες για τον προγραμματισμό του αναπτυσσικού το επόμενο βήμα είναι να το συνδέσουμε με τον Η/Υ δια μέσου της σειριακής προγραμματισμού RS232CTRL (Πλαίσιο 1-Εικόνα Z.5), με το τροφοδοτικό (Πλαίσιο 2-Εικόνα Z.5) και να το θέσουμε σε λειτουργία από τον αντίστοιχο διακόπτη (Πλαίσιο 3-Εικόνα Z.5).



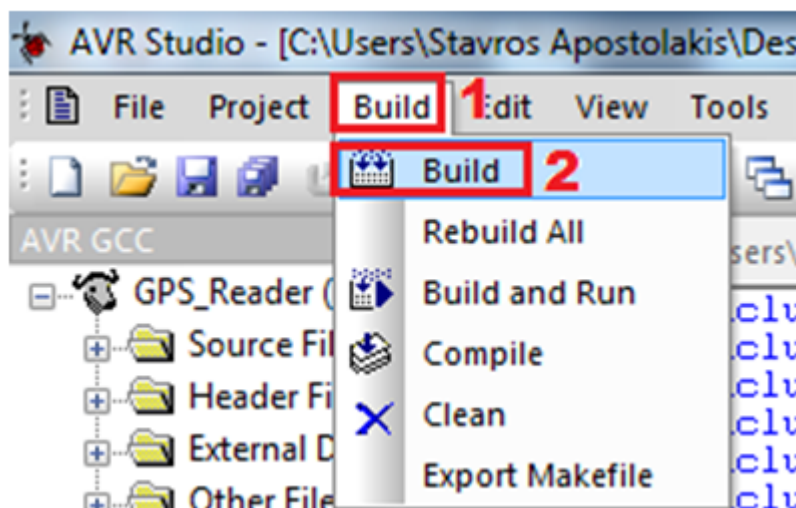
Εικόνα. Z.5

Βήμα 3: Στον Η/Υ ανοίγουμε το "AVR Studio 4 SP4" και ανοίγουμε το project που σχετίζεται με τον μικροελεγκτή με τα εξής βήματα: Project (Πλαίσιο 1–Εικόνα Z.6) → Open Project (Πλαίσιο 2–Εικόνα Z.6) → κι από τον φάκελο του project ανοίγουμε το αρχείο με κατάληξη project_name.aps.



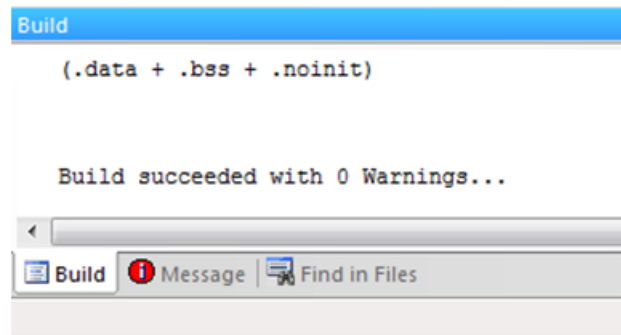
Εικόνα. Z.6

Βήμα 4: Αφού έχουμε ανοίξει το project κι έχει εμφανιστεί ο κώδικας, θα κάνουμε το project build ώστε να παραχθεί το αρχείο (.hex) με το οποίο προγραμματίζεται ο AVR. Η διαδικασία για τα build είναι Build (Πλαίσιο 1–Εικόνα Z.7) → Build (Πλαίσιο 2–Εικόνα Z.7).



Εικόνα. Z.7

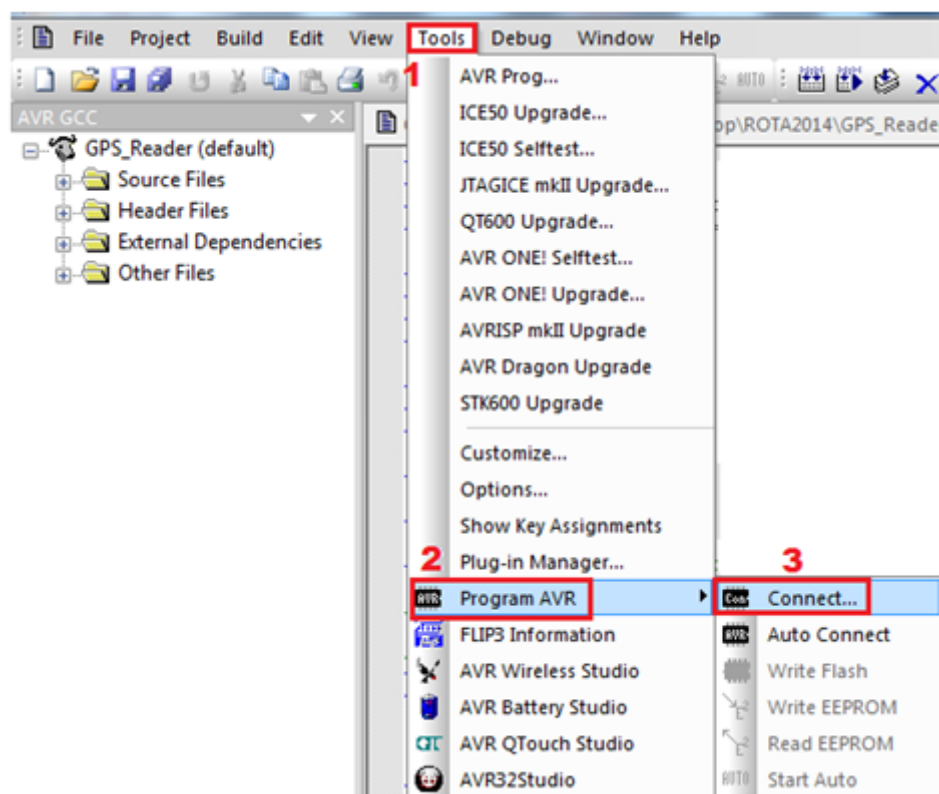
Το build θα έχει ολοκληρωθεί με επιτυχία όταν θα εμφανιστεί το παρακάτω μήνυμα (Εικόνα Z.8).



Εικόνα. Z.8

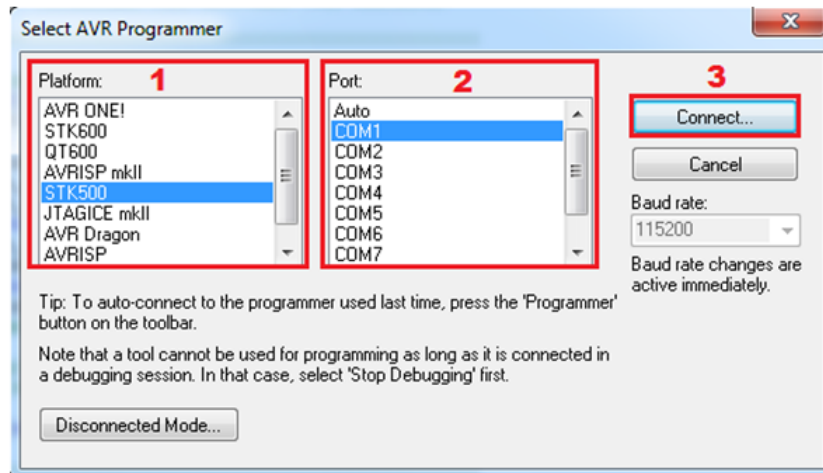
Πλέον το αρχείο .hex έχει παραχθεί και μπορούμε να προγραμματίσουμε τον AVR.

Βήμα 5: Τώρα πρέπει να συνδεθεί το πρόγραμμα AVR Studio με το αναπτυξιακό STK-500 το οποίο το έχουμε θέσει σε λειτουργία. Τα βήματα για να επιτευχθεί αυτό είναι Tools (Πλαίσιο 1–Εικόνα Z.9) → Program AVR (Πλαίσιο 2–Εικόνα Z.9) → Connect (Πλαίσιο 3–Εικόνα Z.9).



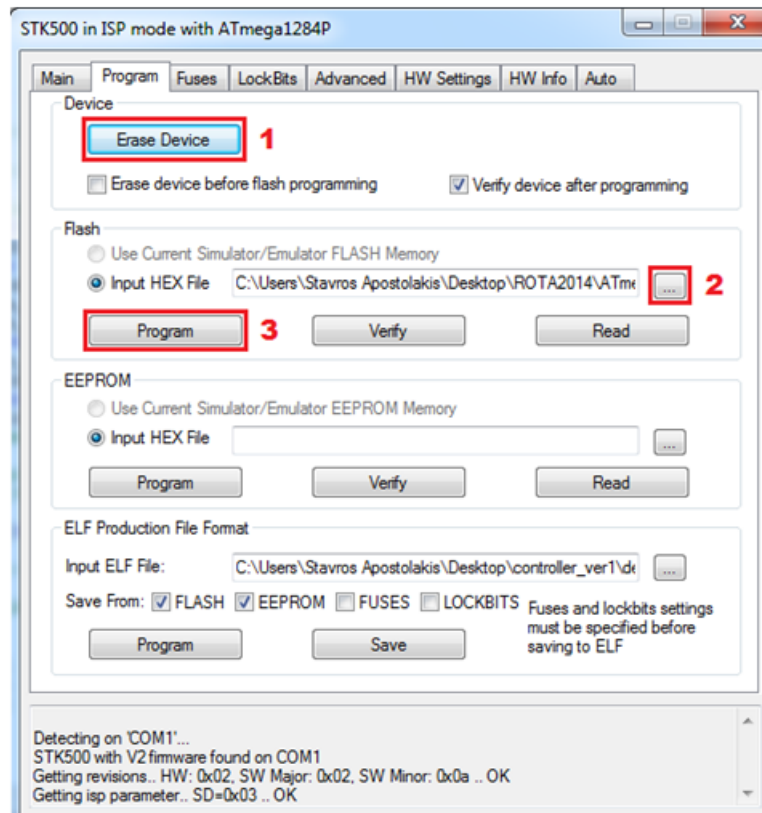
Εικόνα. Z.9

Στο επόμενο παράθυρο που θα εμφανιστεί επιλέγουμε από το την λίστα με τίτλο "Platform" (Πλαίσιο 1-Εικόνα Z.10) την επιλογή STK-500 κι από την λίστα "Port" (Πλαίσιο 2-Εικόνα Z.10) την θύρα στην οποία είναι ενεργοποιημένη η σειριακή (π.χ COM1). Αφού κάνουμε τις απαιτούμενες επιλογές πατάμε Connect... (Πλαίσιο 3-Εικόνα Z.10).



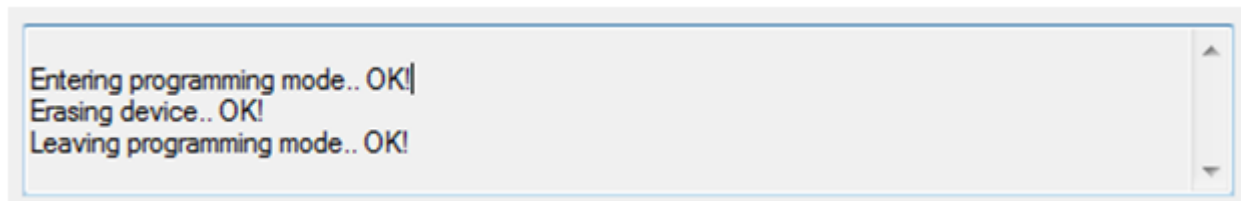
Εικόνα. Z.10

Βήμα 6: Εάν η σύνδεση είναι επιτυχής θα εμφανιστεί το παράθυρο προγραμματισμού ISP του μικροελεγκτή (Εικόνα Z.11). Από τις καρτέλες που εμφανίζονται αυτή που μας ενδιαφέρει είναι αυτή με τον τίτλο "Program".



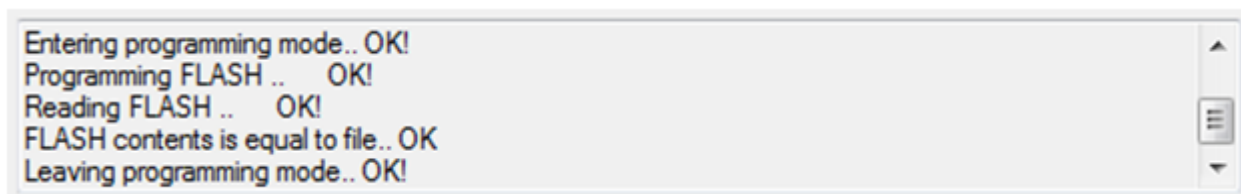
Εικόνα. Z.11

Το πρώτο βήμα είναι να πατήσουμε το κουμπί που αναγράφει "Erase Device" (Πλαίσιο 1) ώστε να καθαρίσει η μνήμη του μικροελεγκτή από προηγούμενα δεδομένα. Εάν ο μικροελεγκτής καθαρίσει επιτυχώς τα προηγούμενα δεδομένα θα εμφανιστεί το παρακάτω μήνυμα στο παράθυρο προγραμματισμού (Εικόνα Z.12).



Εικόνα. Z.12

Το δεύτερο βήμα είναι να πατήσουμε το κουμπί "Browse" (Πλαίσιο 2) ώστε να βρούμε από τον φάκελο του project το αρχείο .hex με το οποίο θα προγραμματίσουμε τον μικροελεγκτή. Τέλος αφού έχει επιλεγεί το αρχείο .hex πατάμε το κουμπί "Program" (Πλαίσιο 3) ώστε να αρχίσει η διαδικασία του προγραμματισμού. Εάν η διαδικασία ολοκληρωθεί με επιτυχία θα εμφανιστεί το παρακάτω μήνυμα στο παράθυρο προγραμματισμού (Εικόνα Z.13).



Εικόνα. Z.13

Είσοδος στο firmware του router των κεραιών

Πριν τοποθετηθούν τα router στην κεραία του πλοίου και της στεριάς, θα πρέπει να ρυθμιστούν ανάλογα. Αρχικά το router διαθέτει τις εργοστασιακές ρυθμίσεις οι οποίες θα πρέπει να τροποποιηθούν. Για να το επιτύχουμε αυτό εκτελούμε τα εξής βήματα:

Βήμα 1: Συνδέουμε με καλώδιο ethernet την θύρα "MAIN(PoE)" του router με την θύρα POE του τροφοδοτικού (βλέπε Εικόνα Z.14).



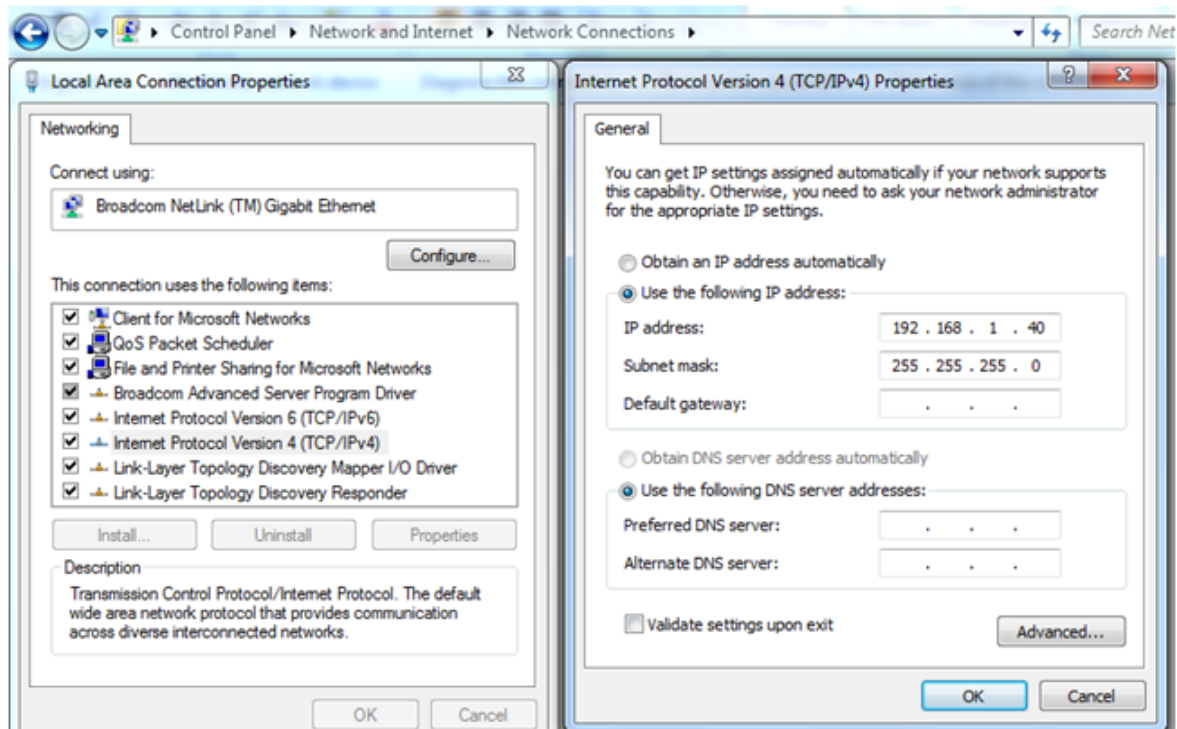
Εικόνα. Z.14

Βήμα 2: Αφού έχουμε τροφοδοτήσει το router το επόμενο βήμα είναι να το συνδέσουμε μέσω καλωδίου Ethernet την θύρα "SECONDARY" με την κάρτα δικτύου ethernet ενός Η/Υ (βλέπε Εικόνα Z.15).



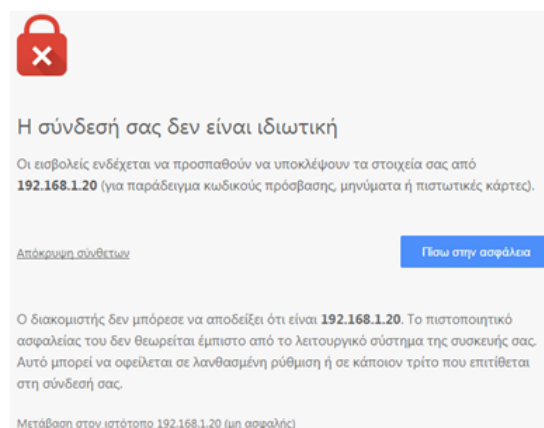
Εικόνα. Z.15

Βήμα 3: Πηγαίνουμε στα Ethernet Properties → Internet Protocol Version 4 (TCP/IPv4) και ορίζουμε IP address και Subnet mask. Η IP address θα πρέπει να είναι της μορφής 192.168.1. x όπου $x = 1$ έως 255 εκτός την τιμή 20, καθώς η 192.168.1.20 είναι η εργοστασιακή IP για το router που θέλουμε να συνδεθούμε. Για την τρέχουσα περίπτωση η IP address είναι 192.168.1.40 και η τιμή για το Subnet mask είναι 255.255.255.0 (βλέπε Εικόνα Ζ.16).



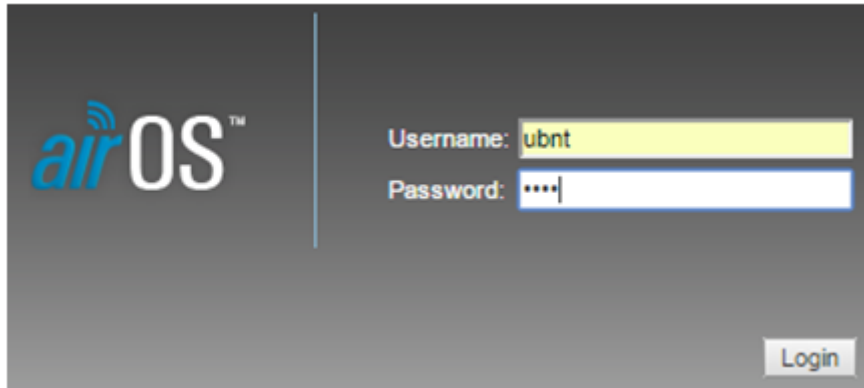
Εικόνα. Ζ.16

Βήμα 4: Έχοντας κάνει τις συνδέσεις των βημάτων 1 & 2 και τις ρυθμίσεις του βήματος 3, σε έναν browser γράφουμε την διεύθυνση `http : //192.168.1.20`. Θα εμφανιστεί το παρακάτω μήνυμα για μη ασφαλή μετάβαση σε ιστότοπο. Το αγνοούμε και επιλέγουμε την επιλογή "Μετάβαση στον ιστότοπο 192.168.1.20 (μη ασφαλής)" (βλέπε Εικόνα Ζ.17).



Εικόνα. Ζ.17

Βήμα 5: Ο browser συνδέεται στην "Login Page" του router και εισάγουμε ως username: "ubnt" και password: "ubnt" (βλέπε Εικόνα Z.18).



Εικόνα. Z.18

Πλέον έχουμε αποκτήσει πρόσβαση στο firmware του router και μπορούμε να το ρυθμίσουμε αναλόγως. Ο κάθε router διαθέτει ένα ενσωματωμένο λειτουργικό διαχείρισης (airOS) με το οποίο ο μηχανικός μπορεί να ρυθμίσει τις διάφορες παραμέτρους που χρειάζονται κάθε φορά. Οι διάφορες ρυθμίσεις εμφανίζονται με την μορφή καρτελών στον χρήστη. Από το σύνολο αυτών των καρτελών που διαθέτει το ενσωματωμένο λειτουργικό airOS δεν υπάρχει ανάγκη να ρυθμιστούν στο σύνολο τους παρά μόνο αυτές που θα αναφερθούν παρακάτω. Στις υπόλοιπες καρτέλες αφήνουμε τις εργοστασιακές ρυθμίσεις ως έχουν.

Ρυθμίσεις στο router της κεραίας του πλοίου.

Καρτέλα Wireless:

Στην καρτέλα Wireless Mode (Εικόνα Z.19) ορίζουμε ότι η κεραία θα συμπεριφέρεται στο δίκτυο ως "Station" (Πεδίο 1) και την υπηρεσία WDS την αφήνουμε απενεργοποιημένη (Πεδίο 2). Δίνουμε στο router ένα SSID (Πεδίο 3) της αρεσκείας μας (πχ. ubnt-tuc) και το πεδίο Lock to AP MAC (Πεδίο 4) το αφήνουμε κενό. Στο πλαίσιο (5) και (7) κρατάμε τις ρυθμίσεις ως έχουν. Καθορίζουμε την ισχύ εκπομπής της κεραίας (Πεδίο 6) στην μέγιστη τιμή δηλαδή τα 27dBm. Στο Πλαίσιο (8) εισάγουμε τον κωδικό ασφαλείας για να μπορεί να συνδεθεί κάποιος πελάτης στο Station, καθώς επίσης και το πρωτόκολλο ασφαλείας (WPA2-AES) και πιστοποίησης (PSK) που θα πρέπει να ακολουθούν.

rocket M5 TITANIUM airOS

MAIN WIRELESS NETWORK ADVANCED SERVICES SYSTEM Tools: Logout

Basic Wireless Settings

(1) Wireless Mode: Station

(2) WDS (Transparent Bridge Mode): ☐ Enable

(3) SSID: ubnt-tuc Select...

(4) Lock to AP MAC:

(5) Country Code: Greece Change...
IEEE 802.11 Mode: A/N mixed
DFS: ☒ Enable
Channel Width: Auto 20/40 Mhz
Channel Shifting: Disable
Frequency Scan List, Mhz: ☐ Enable
Auto Adjust to EIRP Limit: ☐ Enable
Antenna Gain: 0 dBi Cable Loss: 0 dB

(6) Output Power: 27 dBm

(7) Data Rate Module: Default
Max TX Rate, Mbps: MCS 15 - 130 [300] ☒ Automatic

Wireless Security

(8) Security: WPA2-AES
WPA Authentication: PSK
WPA Preshared Key: ***** Show

Change

Εικόνα. Z.19

Καρτέλα Network:

Η κεραία του πλοίου (Εικόνα Z.20) θα συμπεριφέρεται σαν Bridge στο PtMP δίκτυο, γι' αυτό στο Πλαίσιο (1) δηλώνουμε στο πεδίο Network Mode την επιλογή Bridge και στο πεδίο Disable Network την επιλογή None. Το Πλαίσιο (2) το αφήνουμε με την επιλογή ως έχει. Στο Πλαίσιο (3) εισάγουμε την διεύθυνση IP που θα διαθέτει η κεραία στο δίκτυο, το Netmask και την διεύθυνση του Gateway. Ακολουθώντας την σύμβαση που έχει ορίσει η κατασκευάστρια εταιρία των κεραιών η διεύθυνση IP είναι της μορφής 192.168.1. x όπου $x = 160$, η διεύθυνση IP του Gateway είναι της μορφής 192.168.1.1 και το Netmask της μορφής 255.255.255.0.

The screenshot shows the 'rocket M5 airOS' configuration interface. The 'NETWORK' tab is selected. The 'Network Role' section (1) has 'Network Mode' set to 'Bridge' and 'Disable Network' set to 'None'. The 'Configuration Mode' section (2) has 'Configuration Mode' set to 'Simple'. The 'Management Network Settings' section (3) has 'Management IP Address' set to 'Static' with the following values: IP Address: 192.168.1.160, Netmask: 255.255.255.0, Gateway IP: 192.168.1.1, Primary DNS IP: (empty), Secondary DNS IP: (empty), MTU: 1500. The 'Management VLAN', 'Auto IP Aliasing', and 'STP' options are all disabled.

Εικόνα. Z.20

Καρτέλα Advanced:

Από την συγκεκριμένη καρτέλα (Εικόνα Z.21) αφήνουμε τα Πλαίσια (1), (3), (4) και (5) ως έχουν και το μόνο που πρέπει να ρυθμίσουμε είναι η μπάρα από το Πλαίσιο (2) με την ονομασία "Distance". Με την συγκεκριμένη ρύθμιση καθορίζουμε τον μέγιστο χρόνο αναμονής των ACK των πακέτων που αποστέλνει η κεραία του πλοίου προς τους σταθμούς βάσης της στεριάς. Όσο μεγαλύτερη ορίσουμε την απόσταση τόσο αυξάνεται ο χρόνος αναμονής για το ACK ενός πακέτου πριν αυτό θεωρηθεί πως δεν έχει σταλεί. Επιπλέον ενεργοποιούμε και την επιλογή Auto Adjust με την χρήση της οποίας η κεραία αναπροσαρμόζει τον χρόνο αναμονής για το ACK εάν μεγάλος αριθμός από πακέτα δεν φθάνουν στον προορισμό τους (αύξηση του χρόνου αναμονής) ή εάν μεγάλος αριθμός από πακέτα φθάνει σε χρόνους αρκετά μικρότερους από τον χρόνο αναμονής (μείωση του χρόνου αναμονής). Στην περίπτωση της αύξησης του χρόνου έχουμε αύξηση της ισχύς εκπομπής ενώ στην περίπτωση της μείωσης του χρόνου έχουμε μείωση της ισχύς.

rocket M5 TITANIUM airOS™

MAIN WIRELESS NETWORK ADVANCED SERVICES SYSTEM Tools: Logout

Advanced Wireless Settings

(1) RTS Threshold [?] 2346 ☒ Off

(2) Distance: [?] 0.4 miles (0.6 km) ☒ Auto Adjust

Aggregation: [?] 32 Frames 50000 Bytes ☒ Enable

Multicast Data: [?] ☒ Allow All

(3) Installer ERP Control [?] ☒ Enable

Extra Reporting: [?] ☒ Enable

Sensitivity Threshold, dBm: [?] -96 ☒ Off

Advanced Ethernet Settings

(4) LAN0 Speed [?] Auto

LAN1 Speed [?] Auto

Signal LED Thresholds

(5) Signal [?] ☒ Wireless ☐ GPS

	LED1	LED2	LED3	LED4	LED5	LED6
Thresholds, dBm: [?]	-94	-88	-82	-77	-71	-65

Change

Εικόνα. Z.21

Ρυθμίσεις στο router της κεραίας της στεριάς.

Wireless Tab: Στην καρτέλα Wireless Tab (Εικόνα Z.22) στο πεδίο Wireless Mode (1) ορίζουμε ότι η κεραία θα συμπεριφέρεται στο δίκτυο ως "Access Point" και την υπηρεσία WDS την αφήνουμε απενεργοποιημένη (2). Δίνουμε στο router το ίδιο SSID που έχουμε δώσει και στο "Station" (ubnt-tuc) ώστε να μπορεί η κεραία του πλοίου να εντοπίσει το συγκεκριμένο Access Point (3) της στεριάς. Στο Πλαίσιο (4) και (6) κρατάμε τις ρυθμίσεις ως έχουν. Με το Πεδίο (5) καθορίζουμε την ισχύ εκπομπής της κεραίας στην μέγιστη τιμή δηλαδή τα 27dBm. Στο Πλαίσιο (7) εισάγουμε τον κωδικό ασφαλείας για να μπορεί να συνδεθεί κάποιος πελάτης στο Access Point, καθώς επίσης και το πρωτόκολλο ασφαλείας (WPA2-AES) και πιστοποίησης (PSK) που θα πρέπει να ακολουθούν.

rocket M5 titanium

airOS™

MAIN WIRELESS NETWORK ADVANCED SERVICES SYSTEM

Tools: Logout

Basic Wireless Settings

(1) Wireless Mode: Access Point

(2) WDS (Transparent Bridge Mode): ☐ Enable

(3) SSID: ubnt-tuc ☐ Hide SSID

Country Code: Greece

IEEE 802.11 Mode: A/N mixed

DFS: ☒ Enable

Channel Width[?]: 40 MHz

Channel Shifting[?]: Disable

Frequency, MHz: Auto

Extension Channel: None

Frequency List, MHz: ☐ Enable

Auto Adjust to ERP Limit: ☐ Enable

Antenna Gain: 0 dBi Cable Loss: 0 dBi

(4)

(5) Output Power: 27 dBm

(6) Data Rate Module: Default

Max TX Rate, Mbps: MCS 15 - 300 ☒ Automatic

Wireless Security

(7) Security: WPA2-AES

WPA Authentication: PSK

WPA Preshared Key: ***** ☐ Show

MAC ACL: ☐ Enable

Εικόνα. Z.22

Καρτέλα Network: Η κεραία του σταθμού βάσης (Εικόνα Z.23) θα συμπεριφέρεται κι αυτή σαν Bridge στο PtMP δίκτυο, οπότε κι εδώ στο Πλαίσιο (1) δηλώνουμε στο πεδίο Network Mode την επιλογή Bridge και στο πεδίο Disable Network την επιλογή None. Το Πλαίσιο (2) το αφήνουμε με την επιλογή ως έχει. Στο Πλαίσιο (3) εισάγουμε την διεύθυνση IP που θα διαθέτει η κεραία στο δίκτυο, το Netmask και την διεύθυνση του Gateway. Ακολουθώντας την σύμβαση που έχει ορίσει η κατασκευάστρια εταιρία των κεραίων η διεύθυνση IP είναι της μορφής 192.168.1. x όπου $x = 159$, η διεύθυνση IP του Gateway είναι της μορφής 192.168.1.1 και το Netmask της μορφής 255.255.255.0.

The screenshot shows the Ubiquiti airOS configuration interface for a Rocket M5 Titanium device. The 'NETWORK' tab is selected. The 'Network Role' section (1) has 'Network Mode' set to 'Bridge' and 'Disable Network' set to 'None'. The 'Configuration Mode' section (2) has 'Configuration Mode' set to 'Simple'. The 'Management Network Settings' section (3) has 'Management IP Address' set to 'Static' with 'IP Address' 192.168.1.159, 'Netmask' 255.255.255.0, and 'Gateway IP' 192.168.1.1. Other options like 'Primary DNS IP', 'Secondary DNS IP', 'MTU', 'Management VLAN', 'Auto IP Aliasing', and 'STP' are also visible. A 'Change' button is at the bottom right of the settings area.

Εικόνα. Z.23

Καρτέλα Advanced: Για την καρτέλα Advanced ισχύει ακριβώς ότι και στην περίπτωση της κεραίας του πλοίου.