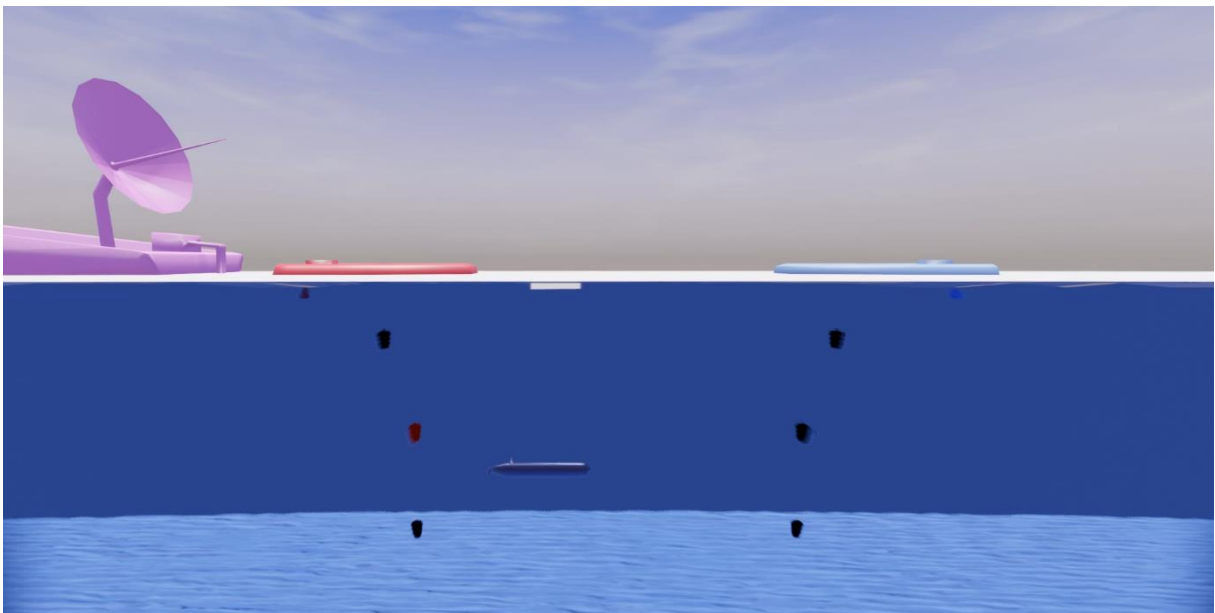


ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Αρχιτεκτονική και Δικτύωση Συστήματος Μη
Επανδρωμένων Υποβρύχιων Οχημάτων για
Εξερεύνηση Βυθού»



Των φοιτητών

**Αργυρόπουλου Χρήστου
Αρ. Μητρώου: 154432**

**Κύρτσου Αικατερίνης
Αρ. Μητρώου: 144367**

Επιβλέποντες:

**Κωνσταντίνος Διαμαντάρας,
Καθηγητής**

**Παντελής Ι. Καπλάνογλου,
Εντεταλμένος Επίκουρος Καθηγητής**

Ημερομηνία 14/09/2021

Τίτλος Δ.Ε.: Αρχιτεκτονική και Δικτύωση Συστήματος Μη Επανδρωμένων Υποβρύχιων Οχημάτων
για Εξερεύνηση Βυθού
Κωδικός Π.Ε.: 21242

Όνοματεπώνυμο φοιτητών: Αργυρόπουλος Χρήστος & Κύρτσου Αικατερίνη
Όνοματεπώνυμο εισηγητή: Διαμαντάρας Κώστας
Ημερομηνία ανάληψης: Δ.Ε. 01/04/2021
Ημερομηνία περάτωσης: Δ.Ε. 14/09/2021

Βεβαιώνω ότι είμαι ο συγγραφέας αυτής της εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, έχω καταγράψει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών, εικόνων και κειμένου, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επιπλέον, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά, ειδικά ως διπλωματική εργασία, στο Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του ΔΙ.ΠΑ.Ε.

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία των φοιτητών Αργυρόπουλου Χρήστου και Κύρτσου Αικατερίνης που την εκπόνησε/αν. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης, ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσης της εργασίας διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο της εργασίας, δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού, ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, πώληση, εμπορική χρήση, διανομή, έκδοση, μεταφόρτωση (downloading), ανάρτηση (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού.

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος, δεν υποδηλώνει απαραίτητα και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα, εκ μέρους του Τμήματος.

Πρόλογος

Η πτυχιακή εργασία έγινε στα πλαίσια περάτωσης του προγράμματος σπουδών του Τμήματος «Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων» του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος με θέμα «Αρχιτεκτονική και Δικτύωση Συστήματος Μη Επανδρωμένων Υποβρυχίων Οχημάτων για Εξερεύνηση Βυθού». Η επιλογή του συγκεκριμένου θέματος έγινε μετά από μεγάλη συζήτηση με τον συνεπιβλέποντα μας κ. Παντελή Καπλάνογλου και καταλήξαμε πως είναι ένα θέμα για το οποίο γίνονται ακόμα ερευνητικές προσπάθειες για την δημιουργία μη επανδρωμένων υποβρυχίων οχημάτων, unmanned underwater vehicles – UUV, που διενεργούν εργασίες χαρτογράφησης και εξερεύνησης βυθού χωρίς την χρήση καλωδίου-λώρου (tether cord) με κάποιο μητρικό σκάφος. Η ανεξαρτησία μιας τέτοιας αρχιτεκτονικής μπορεί να δημιουργήσει νέες δυνατότητες εξερεύνησης, σε περιβάλλοντα όπως υποθαλάσσια σπήλαια ή ναύαγια και να μειώσει δραστικά το κόστος χρήσης τους. Αυτοί οι λόγοι καθώς και οι απέραντες προοπτικές που έχει το θέμα θεωρητικά και πρακτικά κέρδισαν το ενδιαφέρον μας για την αναζήτηση πληροφοριών και τελικά για την ανάπτυξη της παρούσας πτυχιακής.

Περίληψη

Στόχος της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι ο σχεδιασμός ενός συστήματος σκάφους-αυτόνομου σκάφους επιφάνειας-αυτόνομου υποβρυχίου για την αξιοποίηση του σε εφαρμογή χαρτογράφησης βυθού.

Για την υλοποίηση του συγκεκριμένου συστήματος χρειάζεται η αξιοποίηση δικτύων και διαφόρων αυτόνομων σκαφών. Στο πρώτο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας γίνεται μια εκτενής περιγραφή των δικτύων μαζί με την εξέλιξη τους ανά τα χρόνια. Πιο συγκεκριμένα αναλύονται τα ενσύρματα και τα ασύρματα δίκτυα με τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα τους. Επίσης γίνεται αναφορά στα υποθαλάσσια δίκτυα.

Τα μη επανδρωμένα αυτόνομα οχήματα είναι απαραίτητα για την χαρτογράφηση του βυθού. Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται όλα τα υποβρύχια αυτόνομα οχήματα με τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που έχει το κάθε ένα και σε τι εφαρμογές μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Επίσης γίνεται αναφορά στην ιστορική εξέλιξη που έχουν τον τελευταίο αιώνα και ποιες είναι οι κύριες εφαρμογές τους σήμερα.

Ένα σύστημα χαρτογράφησης πέρα από το μη επανδρωμένο αυτόνομο υποβρύχιο ή κάποιο σκάφος επιφάνειας έχει και διάφορα άλλα μικρότερα μέρη. Ανάλογα με την εφαρμογή που χρησιμοποιείται το υποβρύχιο χρειάζονται και διαφορετικά εξαρτήματα. Στο κεφάλαιο 3 αναφέρονται τα πιθανά μέρη που μπορεί να έχει ένα τέτοιο σύστημα. Βασικά στοιχεία όπως η πλατφόρμα που έχει το λογισμικό του υποβρυχίου μέχρι τις μπαταρίες που παρέχουν ενέργεια στο σύστημα περιγράφονται στο συγκεκριμένο κεφάλαιο.

Στο κεφάλαιο 4 γίνεται η επιλογή του υλισμικού του συστήματος για κάθε ένα από τα απαραίτητα εξαρτήματα. Οι επιλογές γίνονται με βάση τις ανάγκες της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας που είναι ένα σύστημα για την χαρτογράφηση βυθού. Αρχικά γίνεται σύγκριση πολύ καλών επιλογών από την αγορά και έπειτα επιλογή του κάθε μέρους ξεχωριστά.

Φυσικά ένα τέτοιο σύστημα για λειτουργήσει χρειάζεται ένα λογισμικό και ένα σύστημα επικοινωνίας (middleware). Στο κεφάλαιο 5 περιγράφονται για το προτεινόμενο σύστημα οι επιλογές του λογισμικού και του τρόπου επικοινωνίας αναλυτικά. Επίσης περιγράφεται ο τρόπος με τον οποίο αποθηκεύονται τα δεδομένα. Τέλος περιγράφεται και ο τρόπος με τον οποίο επανέρχεται το υποβρύχιο όταν χαθεί το σήμα.

Στο κεφάλαιο 6 περιγράφεται η αρχιτεκτονική του λειτουργικού συστήματος. Πιο συγκεκριμένα παρουσιάζονται οι τεχνικές εντοπισμού θέσης του υποβρυχίου. Επίσης γίνεται αναφορά σε διάφορες τεχνικές αποφυγής των εμποδίων όπως επίσης και στις τεχνικές χαρτογράφησης του βυθού.

Abstract

The goal of this thesis is the design of boat-surface unmanned vehicle-autonomous unmanned vehicle to be used for seafloor mapping applications.

For the implementation of this system the use of networks and autonomous unmanned vehicles is necessary. In the first chapter of this thesis an extensive description of the networks and the development that they have over the years. More specifically, wired and wireless networks are analysed with their advantages and disadvantages. Reference is also made to submarine networks.

Unmanned autonomous vehicles are necessary for the mapping of the seabed. The second chapter presents all the underwater autonomous vehicles with the advantages and disadvantages of each and in what applications they can be used. Reference is also made to the historical development of the last century and what are their main applications today.

A mapping system in addition to the unmanned autonomous submarine or a surface vessel has several other smaller parts. Depending on the application used by the submarine, different components are needed. Chapter 3 lists the possible parts that such a system may have. Basic elements such as the platform that the submarine software has up to the batteries that supply power to the system are described in this chapter.

Chapter 4 selects the system hardware for each of the necessary components. The choices are made based on the needs of the specific thesis which is a system for bottom mapping. First a comparison of very good options from the market is made and then the selection of each place separately.

Of course, such a system needs software and a communication system (middleware) to work. Chapter 5 describes the software options and the communication method in detail for the proposed system. It also describes how the data is stored. Finally, the way in which the submarine returns when the signal is lost is described.

Chapter 6 describes the operating system architecture. More specifically, the techniques of locating the submarine are presented. Reference is also made to various obstacle avoidance techniques as well as seabed mapping techniques.

Ευχαριστίες

Επιθυμούμε να εκφράσουμε τις ευχαριστίες μας σε όλους εκείνους που συνέβαλαν άμεσα ή έμμεσα στην ολοκλήρωση της πτυχιακής μας εργασίας και κατά συνέπεια των προπτυχιακών σπουδών μας.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντά μου, Καθηγητή Κωνσταντίνο Διαμαντάρα. Η υποστήριξη και διαθεσιμότητά του καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας αποτέλεσε σπουδαία βοήθεια, συμβάλλοντας ποικιλοτρόπως στην ολοκλήρωσή της, παρέχοντας μεταξύ άλλων πολύτιμες συμβουλές και καθοδήγηση όπου κρίθηκε αναγκαίο. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω την μητέρα μου Αναστασία Κωνσταντινίδου και τον πατέρα μου Αγαθάγγελο Αργυρόπουλο για την αγάπη, την κατανόηση και την υποστήριξή τους, χωρίς τις οποίες δεν θα ήταν δυνατή η ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας. Τέλος, νιώθω την ανάγκη να ευχαριστήσω την κοπέλα μου Μαχαίρα Χαριτωμένη για την αγάπη, την υποστήριξή και την τεράστια υπομονή που έδειξε μέχρι την ολοκλήρωση της εργασίας.

Αργυρόπουλος Χρήστος

Πρώτα απ' όλα θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς και θερμές ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα καθηγητή της πτυχιακής μου εργασίας Διαμαντάρα Κωνσταντίνο για τη συνεχή καθοδήγηση, τις ουσιώδεις συμβουλές, καθώς επίσης και την αδιάκοπη συμπαράσταση και ενθάρρυνση που μου παρείχε σε όλο αυτό το χρονικό διάστημα. Επίσης ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να δώσω στον συνεπιβλέποντά μας κ. Παντελή Ι. Καπλάνογλου για όλες τις υποδείξεις και συμβουλές του, καθώς για την προθυμία και για τις γνώσεις που αποκόμισα καθ' όλη την διάρκεια των φοιτητικών μου χρόνων. Ένα τεράστιο ευχαριστώ ακόμα αξίζει στους γονείς μου οι οποίοι με την καθημερινή τους συμπαράσταση, την υπομονή τους, την θετική τους σκέψη, την οικονομική και ηθική στήριξη όλα αυτά τα χρόνια συνέβαλλαν στην εκπλήρωση των στόχων που είχα θέσει υπερπηδώντας κάθε εμπόδιο. Ακόμα στα αδέρφια μου, στους συγγενείς και φίλους μου που ο καθένας ξεχωριστά έβαλε το "λιθαράκι" του στην επιτυχημένη ολοκλήρωση της εργασίας. Τέλος ένα μεγάλο ευχαριστώ στον αρραβωνιαστικό μου για την συμπαράστασή του, την βοήθεια και κατανόησή του σε όλη αυτή την δύσκολη διαδρομή της πτυχιακής.

Κύρτσου Αικατερίνη

Πίνακας περιεχομένων

1. Δίκτυα.....	12
1.1. Εισαγωγή στα δίκτυα	12
1.2. Σκοπός των δικτύων	13
1.3. Ιστορική αναδρομή	13
1.3.1. Ενσύρματων δικτύων	13
1.3.2. Ασύρματων δικτύων.....	15
1.4. Είδη Δικτύων	15
1.4.1 xDSL	16
1.4.2 Οπτικές Ύφες	16
1.4.3 Wi-fi	17
1.4.4 WiMax	17
1.4.5 Δορυφορικό Ίντερνετ	17
1.4.6 3G/UMTS	18
1.4.7 Bluetooth.....	18
1.4.8 Ακουστικά.....	18
1.5. Πλεονεκτήματα / Μειονεκτήματα Δικτύων.....	18
1.5.1. Ενσύρματα δίκτυα.....	18
1.5.2. Ασύρματα δίκτυα	19
1.6. Υποθαλάσσια ακουστικά δίκτυα.....	20
1.6.1. Γενικά.....	20
1.6.2. Εφαρμογή ασύρματων υποθαλάσσιων δικτύων	21
1.6.3. Αρχιτεκτονική ασύρματων υποθαλάσσιων δικτύων	22
2. Υποβρύχια οχήματα	25
2.1. Εισαγωγή.....	25
2.2. Χρησιμότητα των υποβρυχίων.....	25
2.2.1. Ωκεανογραφία	25
2.2.2. Ενάλια αρχαιολογία	26
2.2.3. Υποθαλάσσιος ορυκτός πλούτος	26
2.2.4. Έρευνα και διάσωση	26
2.2.5. Βιοποικιλότητα και αλιεία	26
2.2.6. Μετεωρολογία	27
2.2.7. Στρατιωτικές εφαρμογές.....	27
2.2.8. Εκπαιδευτικά προγράμματα	27
2.2.9. Φωτογράφιση του βυθού και κινηματογράφος.....	27
2.3. Είδη σκαφών	28

2.3.1. Αυτόνομα οχήματα επιφάνειας – ASV (Autonomous Surface Vehicles)	28
2.3.2. Βαθυσκάφη – DSV (Deep Submergible Vehicles).....	30
2.3.3. Αυτόνομα υποβρύχια οχήματα – AUV (Autonomous Underwater Vehicles).....	31
2.3.4. Τηλεκατευθυνόμενα οχήματα – ROV (Remote Operated Vehicles).....	34
3. Μέρη του Συστήματος	38
3.1. Αισθητήρες	39
3.2. Αισθητήρας Lidar.....	44
3.3. Mini Υπολογιστής	45
3.4. Λοιπά μέρη του συστήματος	46
4. Επιλογή μερών του συστήματος.....	48
4.1. Πλατφόρμα για έλεγχο του AUV	48
4.2. Κινητήρες.....	50
4.3. Lidar	53
4.4. Sonar.....	55
4.5. Doppler velocity sensor	57
4.6. Κάμερα	59
4.7. Μπαταρίες.....	60
4.8. Memory card	62
5. Λογισμικό και εξοπλισμός δικτύωσης.....	63
5.1. Πιθανά λειτουργικά συστήματα για AUVs.....	63
5.2. Σύστημα επικοινωνίας	64
5.3. Συλλογή πληροφοριών και επεξεργασία	68
5.4. Τεχνική αυτοματοποιημένης επαναφοράς του οχήματος	68
6. Προτεινόμενη αρχιτεκτονική συστήματος.....	70
6.1. Εισαγωγή.....	70
6.2. Σύστημα εντοπισμού θέσης.....	71
6.3. Σύστημα χαρτογράφησης βυθού – αποφυγής εμποδίων	78
BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	82

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1.1: Δίκτυο Wan	2
Εικόνα 1.2: Δίκτυο Man	2
Εικόνα 1.3: Αρχιτεκτονική δορυφορικού ίντερνετ	6
Εικόνα 1.4: Ασύρματο υποθαλάσσιο δίκτυο	10
Εικόνα 1.5: Αρχιτεκτονική 2D UW-ASNS δικτύου	11
Εικόνα 1.6: Αρχιτεκτονική 3D UW-ASNS δικτύου	12
Εικόνα 2.1: Δομικά στοιχεία ASV	18
Εικόνα 2.2: Πρώτος περίπλους ενός Saildrone στην Νέα Ζηλανδία	19
Εικόνα 2.4: Abyss AUV	22
Εικόνα 2.5: AUV SeaBED	22
Εικόνα 2.6: Work-class Rov	24
Εικόνα 2.7: Observation-class ROV	24
Εικόνα 2.8: Τρισδιάστατη ανακατασκευή ναυαγίου Τιτανικού	25
Εικόνα 2.9: Mini commercial Rons BlueROV2 και Seabotix	26
Εικόνα 3.1: Μέρη ενός υποβρυχίου συστήματος πλοήγησης	27
Εικόνα 3.2: Ηχοβολιστικά πολλαπλής δέσμης	30
Εικόνα 3.3: Ηχοβολιστικά πλευρικής σάρωσης	31
Εικόνα 3.4: Τομές πυθμένα από ακουστικό τομογράφο	31
Εικόνα 3.5: Διάταξη καμερών υποβρυχίου οχήματος	33
Εικόνα 3.6: Αποτύπωση εδάφους βυθού με χρήση lidar	34
Εικόνα 3.7: Σχεδιάγραμμα mini υπολογιστή και υπολοίπων μερών του συστήματος	35
Εικόνα 4.1: Jetson AGX Xavier platform	37
Εικόνα 4.2: Τεχνικά χαρακτηριστικά Jetson AGX Xavier	38
Εικόνα 4.3: NUC11 Extreme Kit	38
Εικόνα 4.4: Τεχνικά χαρακτηριστικά NUC11 Extreme Kit	39
Εικόνα 4.5: Κινητήρας VXL-3s and Velineon 3500.....	40
Εικόνα 4.6: Χαρακτηριστικά Velineon 3500.....	40
Εικόνα 4.7: Κινητήρας Castle 3800.....	41
Εικόνα 4.8: Χαρακτηριστικά Castle 3800.....	41
Εικόνα 4.9: Lidar SL3.....	42
Εικόνα 4.10: Χαρακτηριστικά Lidar SL3	43

Εικόνα 4.11: Lidar M4000UV	43
Εικόνα 4.12: Χαρακτηριστικά M4000UV	44
Εικόνα 4.13: Modem 6 standard sonar system	45
Εικόνα 4.14: M3Sonar	46
Εικόνα 4.15: DVL 1000	47
Εικόνα 4.16: Teledyne Marine Pathfinder DVL	47
Εικόνα 4.17: LUXUS compact camera	48
Εικόνα 4.18: camera L3C-HDX	49
Εικόνα 4.19: Μπαταρία λιθίου GS Yuasa	50
Εικόνα 4.20: Μπαταρία Bluefin Robotics	50
Εικόνα 4.21: eMMC 128GB iNAND	51
Εικόνα 5.1: Σύστημα επικοινωνίας εφαρμογής SWARMS	54
Εικόνα 5.2: Ακουστικά modem εφαρμογής SWARMS	55
Εικόνα 5.3: Αρχιτεκτονική middleware εφαρμογής SWARMS	56
Εικόνα 5.4: AUV με αναμεταδότη συστήματος USBL	58
Εικόνα 6.1: Λειτουργικό σύστημα υποβρύχιας χαρτογράφησης	60
Εικόνα 6.2: Το πρόβλημα των dead-reckoning τεχνικών λόγων ρευμάτων	62
Εικόνα 6.3: Τεχνικές Long Baseline	63
Εικόνα 6.4: Χαρτογράφηση πληθυσμού βενθικών οργανισμών με Short Baseline τεχνικές	64
Εικόνα 6.5: Εφαρμογή Short Baseline τεχνικών	65
Εικόνα 6.6: Σύστημα Ultra-Short Baseline τεχνικών	66
Εικόνα 6.7: Σύστημα GPS Intelligent Buoys μεθόδων	67
Εικόνα 6.8: Όχημα που εφαρμόζει Side-Scan Sonar μέθοδο	68
Εικόνα 6.9: Όχημα που εφαρμόζει Forward-Looking Sonar μέθοδο	68
Εικόνα 6.10: Εφαρμογή SLAM ενός AUV	69

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1.1: Χαρακτηριστικά τύπων xDSL	5
Πίνακας 6.1: Οπτικές μεθόδου SLAM	70

Συντομογραφίες

Δ.Ε.	Διπλωματική Εργασία
ΔΙΠΑΕ	Διεθνές Πανεπιστήμιο Ελλάδος
Π.Ε.	Πτυχιακή Εργασία
LAN	Local Area Network
MAN	Metropolitan Area Network
PAN	Wide Area Network
ISDN	Integrated Services Digital Network
Mbps	Mega bytes per second
Mb	Megabyte
DIX	Danish Internet Exchange Point
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
ARPA	Advanced Research Projects Agency
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
HDSL	High-Bit-Rate Digital Subscriber Line
MSDL	Military Scenario Definition Language
RADSL	Rate-Adaptive Digital Subscriber Line
SDSL	Symmetric Digital Subscriber Line
VDSL	Very-High-Bit-Rate Digital Subscriber Line
Wi-Fi	Wireless Fidelity
DSL	Digital Subscriber Line
WiMax	Worldwide Interoperability Microwave Access
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
Kbps	Kilo-byte per second
3GPP	Third Generation Partnership Project
UW-ASNS	Underwater Acoustic Sensor Network
ASV	Autonomous Surface Vehicle
DSV	Deep Submergible Vehicle
AUV	Autonomous Underwater Vehicle
OES	Oceanic Engineering Society

IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
REMUS	Remote Environmental Monitoring Units
ROV	Remote Operated Vehicle
DVL	Doppler Velocity Log
INS	Inertial Navigation Systems
IMU	Inertial Measurement Unit
LBL	Long-baseline
USBL	Ultrashort-baseline
RGB	Red-Green-Blue
HD	High Definition
UHD	Ultra High Definition
CPU	Central Processing Unit
GPU	Graphics Processing Unit
DVS	Doppler Velocity Sensor
KHz	Kilo-Hertz
Gbps	Gigabyte per second
DUSBL	Digital Ultrashort-baseline Navigation
UUV	Unmanned Underwater Vehicle
SBL	Short-baseline
GPS	Global Positioning System
SLAM	Simultaneous Localization and Mapping

1. Δίκτυα

1.1. Εισαγωγή στα δίκτυα

Δίκτυο είναι ένα σύνολο από ανεξάρτητους και αυτόνομους υπολογιστές οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους με στόχο την ανταλλαγή πληροφοριών και εκμετάλλευση κοινών πόρων υλικού και λογισμικού. Σε ένα δίκτυο υπολογιστών, οι υπολογιστές είναι συνήθως συνδεδεμένοι με καλώδια δεδομένων γνωστά και ως συνδέσεις δικτύου. Η τεχνολογία εξελίσσεται με ραγδαίους ρυθμούς και οι διάφορες τεχνολογίες επικοινωνίας που υπάρχουν διαθέσιμες σήμερα, μπορούν να βοηθήσουν στον διαμοιρασμό δεδομένων είτε στο επίπεδο μιας εταιρείας είτε σε όλο τον κόσμο. Έτσι, εκτός από τη σύνδεση των υπολογιστών με καλωδίωση υπάρχει και η δυνατότητα μεταφοράς πόρων με ασύρματες μεθόδους. Σήμερα λοιπόν, μπορούμε να διαχωρίσουμε τα δίκτυα σε ασύρματα και ενσύρματα [1].

Όταν λέμε ενσύρματα δίκτυα αναφερόμαστε σε τεχνολογίες όπως Ethernet, xDSL και στα δίκτυα οπτικών ινών. Παρά την εμφάνιση των ασύρματων δικτύων, τα ενσύρματα δίκτυα συνεχίζουν να χρησιμοποιούνται στην σύνδεση μεταξύ των υπολογιστών. Το βασικό χαρακτηριστικό το οποίο αποτελεί και τον λόγο για τον οποίο τα ενσύρματα δίκτυα εξακολουθούν να υπάρχουν είναι η ταχύτητα. Επιπροσθέτως, προφέρουν μεγαλύτερη ασφάλεια και καθιστούν τις δικτυακές υποδομές λιγότερο ευάλωτες σε εξωτερικούς κινδύνους και επιθέσεις [2].

Λέγοντας ασύρματα δίκτυα, αναφερόμαστε στην ανταλλαγή πόρων χωρίς την χρήση καλωδίωσης. Τα ασύρματα δίκτυα είναι ένα συμπλήρωμα στα ενσύρματα δίκτυα, αλλά δεν είναι μια τεχνολογία αντικατάστασης. Ακριβώς όπως τα κινητά τηλέφωνα συμπληρώνουν την τηλεφωνία σταθερών γραμμών, τα ασύρματα συμπληρώνουν τα υπάρχοντα σταθερά δίκτυα LAN με την παροχή κινητικότητας στους χρήστες. Σήμερα παρουσιάζουν μια ολοένα και αυξανόμενη τάση στην χρήση τους. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι προσφέρουν πολύ μεγάλες ευκολίες στους χρήστες τους, επιτρέποντας την ελεύθερη μετακίνηση δεδομένων χωρίς την χρήση καλωδίων. Τα ασύρματα δίκτυα προσφέρουν την δυνατότητα σχετικά υψηλών ταχυτήτων. Παρόλα αυτά, οι συσκευές που συνδέονται ασύρματα είναι ευάλωτες σε εξωτερικούς κινδύνους γεγονός που υπονομεύει την ασύρματη ελευθερία [2].

Δύο υπολογιστές συνδεδεμένοι μεταξύ τους με τηλεφωνικά καλώδια αποτελούν την απλούστερη μορφή ενσύρματου δικτύου. Υπάρχουν όμως περιπτώσεις όπου οι υπολογιστές βρίσκονται πολύ μακριά μεταξύ τους γεγονός που καθιστά αδύνατη την απευθείας σύνδεση. Σε τέτοιες περιπτώσεις, η λύση βρίσκεται στα ασύρματα δίκτυα. Ανάλογα λοιπόν με την τοποθεσία των υπολογιστών, τα δίκτυα χαρακτηρίζονται ως [2]:

- Τοπικά Δίκτυα (Local Area Network – LAN)
- Μητροπολιτικά Δίκτυα (Metropolitan Area Network -MAN)
- Δίκτυα Ευρείας Περιοχής (Wide Area Network – WAN)

- Προσωπικά δίκτυα (PAN)
- Διαδίκτυο

Όταν η απόσταση μεταξύ υπολογιστών είναι μεγάλη, χρησιμοποιούνται διάφοροι τρόποι σύνδεσης όπως κοινές τηλεφωνικές γραμμές, μισθωμένες τηλεπικοινωνιακές γραμμές, ασύρματες ζεύξεις, ISDN γραμμές και αρκετές φορές συνδέσεις μέσω δορυφόρων, εάν χρειάζεται μεταφορά δεδομένων σε πολύ μεγάλες αποστάσεις [2].



Εικόνα 1.1: Δίκτυο Wan [2]



Εικόνα 1.2: Δίκτυο MAN [2]

1.2. Σκοπός των δικτύων

Τα δίκτυα αναπτύχθηκαν για να εξυπηρετούν τις ανάγκες που προέκυψαν από την ευρεία εξάπλωση της χρήσης των υπολογιστών. Βασικός σκοπός της δημιουργίας των δικτύων είναι ο διαμερισμός των πόρων του συστήματος και η ανταλλαγή πληροφοριών οποιασδήποτε μορφής. Πόροι του συστήματος μπορεί να είναι είτε υλισμικό (hardware), (π.χ. υπολογιστές, εκτυπωτές, σκληροί δίσκοι) είτε λογισμικό 'software', (π.χ. δεδομένα, εφαρμογές, υπηρεσίες) [3].

Τα προγράμματα, τα δεδομένα και οι συσκευές είναι διαθέσιμα σε οποιονδήποτε είναι συνδεδεμένος στο δίκτυο, ανεξάρτητα από τη φυσική του θέση. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η εξοικονόμηση χρημάτων, η αύξηση της απόδοσης του συστήματος, ο κεντρικός έλεγχος και η εύκολη επεκτασιμότητα [3].

1.3. Ιστορική αναδρομή

1.3.1. Ενσύρματων δικτύων

Λόγω της ραγδαίας εξάπλωσης των υπολογιστών αλλά και του internet, αναπτύχθηκε μια καινούργια γενιά τοπικών δικτύων Ethernet με στόχο να εξυπηρετηθούν οι ολοένα και αυξανόμενες απαιτήσεις για γρήγορη χρονικά μετάδοση δεδομένων μεταξύ των χρηστών του δικτύου. Τα Ethernet είναι τοπικά δίκτυα LAN που ακολουθούν το πρότυπο IEEE 802.3. Η τεχνολογία Ethernet ανέπτυξε διάφορους ρυθμούς μετάδοσης ανά το χρόνο, όπως το Fast Ethernet 100 Mb/sec και το Gigabit Ethernet 1000 Mb/sec και εξελίχθηκε στην βασική λύση δικτύων του αιώνα μας [4].

Η απαρχή του προτύπου IEEE 802.3 έγινε στις αρχές του 1970 στην Χαβάη, όπου ο ερευνητής Norman Abramson και οι συνεργάτες του αντιμετώπιζαν πολλές δυσκολίες στην προσπάθεια σύνδεσης χρηστών από απομακρυσμένα νησιά με τον κεντρικό υπολογιστή της Χονολουλού, λόγω των συνεχόμενων διακοπών του τηλεφωνικού σήματος [4].

Η λύση που βρέθηκε από την ομάδα ερευνητών ήταν μέσω της χρήσης ραδιοπομπών μικρής εμβέλειας. Έτσι, κάθε τερματικός χρήστης είχε ένα μικρό ραδιοπομπό με δύο συχνότητες, μια ανερχόμενη και μια κατερχόμενη προς τον κεντρικό υπολογιστή. Εφόσον ο χρήστης ήθελε να επικοινωνήσει με τον κεντρικό υπολογιστή, μετάδιδε στο ανερχόμενο κανάλι. Σε περίπτωση που δεν μετάδιδε κάποιος άλλος εκείνη την στιγμή τα δεδομένα έφταναν διαμέσου του κατερχόμενου καναλιού. Διαφορετικά η αποστολή γινόταν κάποια άλλη στιγμή. Το σύστημα ονομάστηκε ALOHANET και έπαινε καλές αποδόσεις σε περιπτώσεις χαμηλής κυκλοφορίας [4].

Γύρω στο 1976 ο Bob Metcalfe χρησιμοποίησε τις γνώσεις από το εύρημα του Abramson και μαζί με τον συνεργάτη του David Boggs, κατασκεύασαν το πρώτο δίκτυο με το οποίο οι εκτυπωτές που υπήρχαν στο κτήριο μπόρεσαν να μοιραστούν στους χρήστες. Το σύστημα ονομάστηκε Ethernet από το φωτοβόλο αιθέρα, μέσω του οποίου πίστευαν κάποτε ότι μεταδίδεται η ηλεκτρονική ακτινοβολία [5].

Το μέσο μετάδοσης εδώ δεν ήταν το κενό, αλλά ένα παχύ ομοαξονικό καλώδιο με μήκος μέχρι 2,5 χλμ. (και με αναμεταδότες κάθε 500 μέτρα). Τη διασύνδεση αναλάμβανε μία κάρτα δικτύου Ethernet προσαρτημένη σε κάθε κόμβο, με κάθε κάρτα να χαρακτηρίζεται από μία μοναδική, εργοστασιακή 48-bit διεύθυνση MAC. Έως 256 μηχανές θα μπορούσαν να συνδέονται στο σύστημα μέσω πομποδεκτών που ήταν βιδωμένοι πάνω στο καλώδιο. Ένα καλώδιο με πολλαπλές μηχανές που επισυνάπτονται σε αυτό παράλληλα ονομάζεται καλώδιο πολλαπλής απόληξης. Το σύστημα έτρεχε στα 2,94 Mbps [5].

Αργότερα, το 1980, η Intel και η Xerox κυκλοφόρησε το Πρότυπο DIX Ethernet που ήταν για το Ethernet, στα 10 Mbps. Μέσα από αυτή την προσπάθεια είδαμε ότι το Ethernet ήταν εφικτό να γίνει ένα ανοιχτό πρότυπο για τις λειτουργίες του δικτύου [5].

Την ίδια στιγμή, το Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (IEEE) δημιούργησε μια ομάδα που χαρακτηρίζεται από την ομάδα εργασίας για την τυποποίηση των 802 τεχνολογιών δικτύου, αυτή η ομάδα δημιούργησε πρότυπα που αργότερα θα έπαιρναν τον αριθμό 802.x. Η επιτροπή που ανέπτυξε τις προδιαγραφές για το csma / cd, ήταν λειτουργικά πολύ παρόμοια με το σύστημα DIX Ethernet. Αργότερα, το 1985, κυκλοφόρησε η επίσημη έκδοση για το πρότυπο IEEE 802.3 όπου τότε το Ethernet έγινε αποδεκτό από τον οργανισμό IEEE ως το πρότυπο για ενσύρματα τοπικά δίκτυα (LAN) [5].

1.3.2. Ασύρματων δικτύων

Το 1984 επιτεύχθηκε από το Ιταλό φυσικό Γουλιέλμο Μαρκόνι η πρώτη μετάδοση μηνυμάτων χωρίς την χρήση ασυρμάτων. Η συγκεκριμένη μετάδοση χρησιμοποιούσε τον κώδικα σημάτων μορς και χρησιμοποιούταν κυρίως στα πλοία μέχρι και πριν από κάποια χρόνια [6].

Η αμέσως επόμενη εξέλιξη στον χώρο των ασυρμάτων δικτύων ήταν τα ραδιοδίκτυα δεδομένων με τεχνολογία TCP/IP. Έρευνες που έλαβαν χώρα το 1964, οδήγησαν στο τωρινό διεθνές δίκτυο X.25. Λίγο αργότερα, το 1969, έπειτα από έρευνες χρηματοδοτούμενες από τον ARPA(Advanced Research Projects Agency) δημιουργήθηκε το λεγόμενο ARPAnet το οποίο αποτελεί μέρος του σημερινού Internet [6].

Γενικότερα, τον περασμένο αιώνα λόγω της χρήσης δορυφόρων που απλοποίησαν την σύνδεση μεταξύ απομακρυσμένων περιοχών και κατήργησαν την χρήση αγωγών μεγάλου μήκους, οι τηλεπικοινωνίες οδηγήθηκαν σε ραγδαία εξέλιξη. Συγκεκριμένα, η ασύρματη επικοινωνία χρησιμοποιεί τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα τα οποία μεταδίδονται στην γη μέσω των δορυφόρων. Τα ασύρματα τηλέφωνα, η ραδιοφωνική και η τηλεοπτική μετάδοση, αποτελούν μερικά από τα πολύ χαρακτηριστικά παραδείγματα εφαρμογής της ασύρματης επικοινωνίας [6].

Σήμερα τα ασύρματα δίκτυα χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο προδιαγραφών του IEEE 802.11, το οποίο αποτελεί ουσιαστικά πρωτόκολλο πολλαπλής πρόσβασης με ανίχνευση φέροντος και αποφυγή συγκρούσεων. Ένα πολύ τυπικό παράδειγμα είναι το HotSpot που αποτελεί ασύρματο δίκτυο με το οποίο ο χρήστης αποκτά πρόσβαση στο internet [6].

1.4. Είδη Δικτύων

Παρακάτω θα παρουσιαστούν και θα αναλυθούν συνοπτικά τα βασικά είδη ενσύρματων και ασύρματων δικτύων [7]:

- **Ενσύρματα δίκτυα**

- Ethernet

- Τεχνολογίες xDSL (ADSL, HDSL, IDSL, MSDL, RADSL, SDSL, VDSL)

- Δίκτυα οπτικών ινών

- **Ασύρματα δίκτυα**

- Wi – fi (IEEE 802.11)

- 3G / UMT

- 4G/LTE

- WiMax (IEEE 802.16)

- Δορυφορικό Internet

- Bluetooth (IEEE 802.15.1)

- Zigbee (IEEE 802.15.4)

- **Ακουστικά (Sonar)**

1.4.1 xDSL

Το DSL (Digital Subscriber Line) είναι μια τεχνολογία που χρησιμοποιεί τις υπάρχουσες τηλεφωνικές γραμμές με στόχο την μετάδοση δεδομένων σε υψηλές ταχύτητες. Το DSL χρησιμοποιείται για την παροχή ευζωνικών συνδέσεων. Τα καλώδια χαλκού αξιοποιούνται από την τεχνολογία DSL διότι της προσφέρουν μεγάλο εύρος ζώνης και οδηγούν την μετατροπή του τηλεφωνικού καλωδίου σε διάυλο ψηφιακής επικοινωνίας. Όσο αναφορά το “x” στη συντομογραφία, υποδηλώνει τις διαφορετικές προδιαγραφές που αφορούν και διαφορετικές ανάγκες [7]. Στον **(Πίνακα 1.1)** γίνεται μια σύντομη περιγραφή των χαρακτηριστικών των διαφόρων τύπων της τεχνολογίας xDSL.

Πίνακας 1.1: Χαρακτηριστικά τύπων xDSL [7].

Τύπος	Μέγιστη Αποστολή Δεδομένων	Μέγιστη λήψη Δεδομένων	Μέγιστη Απόσταση
ADSL	800 Kbps	8 Mbps	5.500 m
HDSL	1.54 Mbps	1.54 Mbps	3.650 m
IDSL	16 Mbps	52 Mbps	1.200 m
MSDL	2.3 Mbps	2.3 Mbps	6.700 m
RADSL	2 Mbps	2 Mbps	8.800 m
SDSL	1 Mbps	7 Mbps	5.500 m
VDSL	144 Kbps	144 Kbps	10.700 m

1.4.2 Οπτικές Ίνες

Σε ότι αφορά τις οπτικές ίνες, αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε τοπικά δίκτυα αλλά και για μεταδόσεις σε μεγάλες αποστάσεις. Έχουν στο κέντρο τους τον πυρήνα μέσω του οποίου μεταδίδεται το οπτικό σήμα. Ο πυρήνας εγκλωβίζει τις ακτίνες φωτός και τις οδηγεί στο τέρμα. Τα κύματα μεταφέρονται από τον πυρήνα της οπτικής ίνας. Όσο πιο στενός είναι ο πυρήνας, τόσο πιο γρήγορα μεταφέρεται το κύμα φωτός. οι οπτικές ίνες χρησιμοποιούνται για την υλοποίηση ευρυζωνικού δικτύου κορμού και διανομής, καθώς είναι ουσιαστικά η μόνη τεχνολογία που μπορεί να υποστηρίξει τη συγκέντρωση ευρυζωνικών συνδέσεων πρόσβασης και να μεταφέρει τις μεγάλες ποσότητες δεδομένων με υψηλό ρυθμό που απαιτεί η παροχή ευρυζωνικών υπηρεσιών από κεντρικά σημεία διανομής προς τους συνδρομητές [7].

1.4.3 Wi-fi

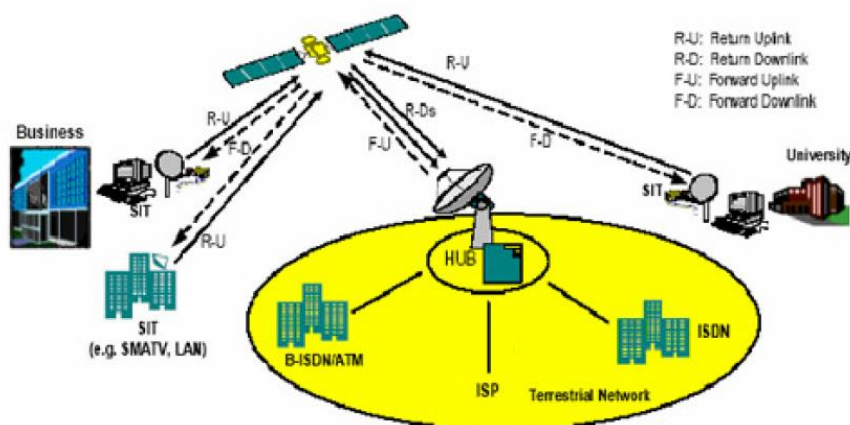
Το Wi-Fi έχει επικρατήσει σαν όρος για το υψηλής συχνότητας ασύρματο τοπικό δίκτυο (WLAN). Αποτελεί ένα ασύρματο τρόπο διασύνδεσης και παράλληλα προσφέρει την δυνατότητα σύνδεσης και στο Internet. Οι ασύρματες τεχνολογίες χρησιμοποιούνται κυρίως με στόχο για να αντικαταστήσουν ή να επεκτείνουν ένα ενσύρματο δίκτυο και προσφέρουν στον χρήστη την μεταφορά και λήψη δεδομένων [8].

1.4.4 WiMax

Το WiMax είναι γνωστό ως το πρότυπο 802.16 που θεσπίστηκε από την IEEE το 2003. Στόχος του συγκεκριμένου προτύπου είναι η κάλυψη των απαιτήσεων ασύρματης πρόσβασης σε ευρεία ζώνη. Οι συχνότητες στις οποίες λειτουργεί το συγκεκριμένο πρότυπο κυμαίνονται μεταξύ 2 έως 66 GHz. Η ταχύτητα μετάδοσης που μπορεί να φτάσει το WiMax στον αέρα είναι έως 72 Mbps σε αντίθεση με την πραγματική, αντιληπτή ταχύτητα του Ethernet που φτάνει τα 50 Mbps. Η διαφορά του WiMax σε σχέση με παλιότερα πρότυπα είναι ότι μπορεί να λειτουργήσει και σε συνθήκες μη οπτικής επαφής σε χαμηλότερους ρυθμούς μετάδοσης [8].

1.4.5 Δορυφορικό Ίντερνετ

Το δορυφορικό ίντερνετ ή αλλιώς τεχνολογία DVB – RCS έχει χρησιμότητα σε υπηρεσίες σχετικά με την μεταφορά δεδομένων, εικόνας, βίντεο και φωνής μέσω δορυφόρου. Το δίκτυο στο οποίο βασίζεται η συγκεκριμένη τεχνολογία διατάσσεται σε τοπολογία αστέρα μεταξύ του σταθμού εδάφους (HUB), του δορυφόρου και των χρηστών [8]. Η **Εικόνα 1.3** απεικονίζει την αρχιτεκτονική του συγκεκριμένου δικτύου.



Εικόνα 1.3: Αρχιτεκτονική δορυφορικού ίντερνετ [8]

1.4.6 3G/UMTS

Τα αρχικά UMTS σημαίνουν Universal Mobile Telecommunications System. Τα συγκεκριμένα δίκτυα αποτελούν το βελτιωμένο μοντέλο των δικτύων δεύτερης γενιάς με στόχο την αύξηση της ταχύτητας μετάδοσης δεδομένων. Το βασικό πλεονέκτημα των συγκεκριμένων δικτύων είναι ο μεγάλος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων που φτάνουν και έως το επίπεδο των 384 kbps. Σήμερα, με στόχο την παρακολούθηση και την καθοδήγηση των εξελίξεων στην συγκεκριμένη τεχνολογία έχει θεσπιστεί ένας οργανισμός που ονομάζεται Third Generation Partnership Project (3GPP) [8].

1.4.7 Bluetooth

Το Bluetooth είναι μια τεχνολογία η οποία καθιστά δυνατή τη σύνδεση περιορισμένου εύρους μεταξύ PCs, laptops, κινητών τηλεφώνων, εκτυπωτών και πολλών άλλων. Η συχνότητα του Bluetooth είναι 2,4GHz καθώς το εύρος ζώνης είναι στο 1 MHz. Η ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων φτάνει έως 1Mbps ενώ είναι δυνατή και η ταυτόχρονη μεταφορά ήχου [8].

1.4.8 Ακουστικά

Τα συγκεκριμένα δίκτυα αποτελούν κύριο μέρος της μελέτης που θα διεκπεραιωθεί στα πλαίσια την συγκεκριμένης Πτυχιακής Εργασίας (ΠΕ) καθώς είναι το είδος δικτύων που χρησιμοποιείται κατά κόρον σε υποθαλάσσιες εφαρμογές. Επομένως στη συνέχεια θα γίνει μια πιο εκτενείς αναφορά στο συγκεκριμένο είδος δικτύων [8].

1.5. Πλεονεκτήματα / Μειονεκτήματα Δικτύων

1.5.1. Ενσύρματα δίκτυα

Τα ενσύρματα δίκτυα αναμφίβολα διαθέτουν μια μεγάλη γκάμα δυνατοτήτων και πλεονεκτημάτων με την εφαρμογή τους και θα αναλυθούν περαιτέρω παρακάτω [9]:

- Κοινή χρήση περιφερειακών συσκευών: Αναφέρεται στο γεγονός ότι τα μέλη του δικτύου μπορούν να χρησιμοποιούν από κοινές περιφερειακές συσκευές. Για παράδειγμα σε περίπτωση που υπάρχουν πολλοί υπολογιστές, δεν χρειάζεται να υπάρχει και ο ίδιος αριθμός εκτυπωτών και σαρωτών. Αρκεί ένας εκτυπωτής και ένας σαρωτής, που θα χρησιμοποιείται από όλους τους υπολογιστές. Η δυνατότητα αυτή προσφέρει εξοικονόμηση κεφαλαίων αλλά και χώρου
- Χρήση μιας σύνδεσης Internet σε όλους τους υπολογιστές: η ύπαρξη μιας και μοναδικής σύνδεσης με το Internet είναι αρκετή για να προσφέρει πρόσβαση σε όλους τους υπολογιστές του τοπικού δικτύου. Μία γρήγορη σύνδεση ADSL φτάνει έτσι ώστε να προσφέρει ικανοποιητική ταχύτητα σύνδεσης σε τουλάχιστον 5 υπολογιστές. Η συγκεκριμένη δυνατότητα μειώνει αισθητά το κόστος σύνδεσης και παροχής Internet
- Εκμετάλλευση υπολογιστών χαμηλών δυνατοτήτων ή παλαιότερης τεχνολογίας: Αναφέρεται στα μηχανήματα που ως αυτόνομες μονάδες δεν μπορούσαν να χρησιμεύσουν σε κάτι αξιόλογο, με την

εμφάνιση όμως των δικτύου μπορούν τώρα να ενταχθούν σε κάποιο από αυτά και να αποκτήσουν κάποιο ρόλο

- Διαμοιρασμός των ψηφιακών πόρων του συστήματος (προγραμμάτων, φακέλων, αρχείων κ.λπ.): Πρόκειται για την συγκρότηση ενός εικονικού κοινόχρηστου χώρου, όπου όλοι οι χρήστες, ανάλογα και με τα προνόμια ή δικαιώματα που τους έχουν δοθεί από το διαχειριστή του δικτύου, έχουν πρόσβαση από τον υπολογιστή τους και μπορούν να χρησιμοποιούν τα ίδια αρχεία, τους ίδιους φακέλους και τις ίδιες εφαρμογές. Η δυνατότητα αυτή εξοικονομεί πολύτιμο χρόνο

Πέρα από τα πλεονεκτήματα η χρήση ενσύρματων δικτύων παρουσιάζει και συγκεκριμένα μειονεκτήματα [9]:

- Δύσκολη εγκατάσταση γιατί τα καλώδια απαιτούν παρεμβάσεις στον χώρο.
- Δεν υπάρχει κινητικότητα γιατί απαιτείται υποδοχή σύνδεσης στο σημείο της τερματικής συσκευής.

1.5.2. Ασύρματα δίκτυα

Τα ασύρματα δίκτυα παρουσιάζουν και αυτά μια σειρά από δυνατότητες με την εφαρμογή τους [9]:

- Ελευθερία κίνησης: Ανεξάρτητα με την τοποθεσία του καθενός, ένα wireless δίκτυο μπορεί να προσφέρει πρόσβαση και μεταφορά δεδομένων σε πραγματικό χρόνο
- Προσαρμοστικότητα: Σε περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει δυνατότητα χρήσης καλωδίων η ασύρματη τεχνολογία προσφέρει την δυνατότητα σύνδεσης
- Ταχύτητα στην εγκατάσταση: Η εγκατάσταση ενός ασύρματου δικτύου είναι μια σύντομη και απλοϊκή διαδικασία και αποτρέπει τα προβλήματα και τους περιορισμούς της καλωδίωσης των ενσύρματων δικτύων
- Μειωμένο κόστος: Τα ασύρματα δίκτυα έχουν μειωμένα έξοδα εγκατάστασης και μικρότερο κόστος χρήσης. Σε βάθος χρόνου τα οφέλη είναι ακόμα πιο εμφανή ιδίως για συγκεκριμένους χώρους εργασίας όπου υπάρχουν συχνές μετακινήσεις χρηστών

Τέλος οι αδυναμίες που παρουσιάζουν τα ασύρματα δίκτυα περιλαμβάνουν [9]:

- Αυξημένος κίνδυνος επιθέσεων: Τα ασύρματα δίκτυα έχουν ως φυσικό μέσο τον αέρα που είναι απευθείας προσβάσιμο από τους επιτιθέμενους σε αντίθεση με τα ενσύρματα.
- Επιπλέον, τα ασύρματα δίκτυα, κυρίως όσα βρίσκονται σε ζώνες χαμηλής συχνότητας, είναι ευάλωτα στις παρεμβολές. Οι τελευταίες ενδέχεται να οφείλονται στην ύπαρξη γειτονικών ηλεκτρονικών συσκευών, αλλά ακόμη και στην ίδια τη γεωμετρία του χώρου λειτουργίας.
- Η χαμηλή, σχετικά, ταχύτητα ανταλλαγής δεδομένων και το υψηλό, προς το παρόν, κόστος του εξοπλισμού αποτελούν δύο ακόμη μειονεκτήματα. Ωστόσο, είναι θέμα χρόνου να βελτιωθεί η κατάσταση προς όφελος των χρηστών ασύρματων δικτύων.

1.6. Υποθαλάσσια ακουστικά δίκτυα

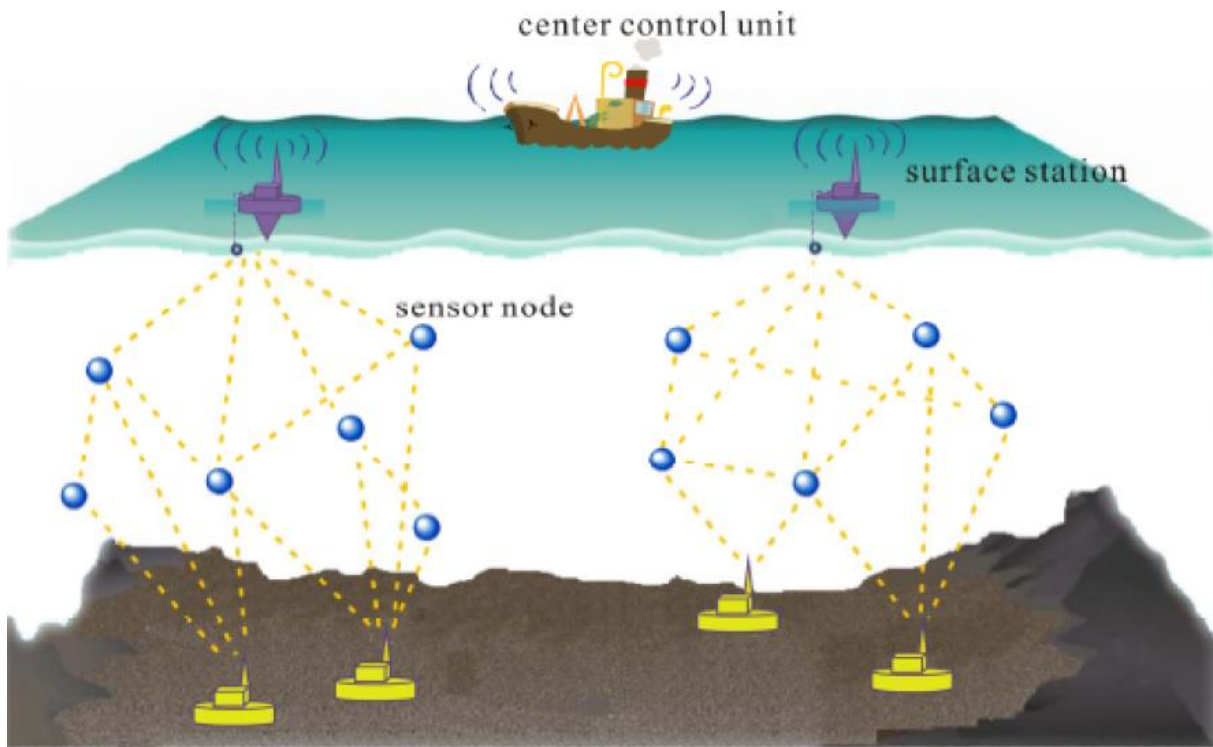
1.6.1. Γενικά

Σε ένα υποβρύχιο περιβάλλον, η εκπομπή αποτελεί μια σημαντική ευκαιρία για την ανάπτυξη των ασύρματων δικτύων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα ραδιοκύματα έχουν χαμηλές δυνατότητες διάδοσης στο νερό και τα οπτικά κύματα είναι ευάλωτα σε μεγάλο βαθμό από το φαινόμενο της σκέδασης και απαιτούν μεγάλη ακρίβεια στην καθοδήγηση των ακτινών λέιζερ. Έτσι, η τεχνολογία που παρέχει το φυσικό στρώμα στα υποβρύχια δίκτυα είναι συνήθως υλοποιήσιμη μέσω ακουστικών κυμάτων. Τα υποβρύχια ασύρματα ακουστικά δίκτυα διαθέτουν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, που καθορίζουν το σχεδιασμό των πρωτοκόλλων των δικτύων. Τα πιο σημαντικότερα χαρακτηριστικά είναι [10]:

- Διάδοση καθυστέρησης η οποία είναι πέντε τάξεις μεγέθους μεγαλύτερη από εκείνη που βασίζεται σε ραδιοεπικοινωνίες στην ίδια απόσταση, λόγω χαμηλής ταχύτητας του ήχου
- Το διαθέσιμο εύρος ζώνης των ηχητικών επικοινωνιών είναι χαμηλό και εξαρτάται από την απόσταση μεταξύ των κόμβων επικοινωνίας
- Ο ρυθμός σφαλμάτων δυαδικών ψηφίων των υποβρύχιων ακουστικών συνδέσεων είναι υψηλότερο από εκείνο των επίγειων βασιζόμενων σε ραδιοκύματα.

Τα υποθαλάσσια ακουστικά δίκτυα ή αλλιώς δίκτυα αισθητήρων είναι μια σύγχρονη εφαρμογή των δικτύων αισθητήρων τα οποία είναι χρήσιμα για ανάπτυξη κατάλληλων συστημάτων επιτήρησης, ανίχνευση υποθαλάσσιου περιβάλλοντος, μετάδοση σημαντικών πληροφοριών, συλλογή ωκεανογραφικών δεδομένων, παρακολούθηση πληθυσμών, εκμετάλλευση υπογείων κοιτασμάτων και παρεμπόδιση καταστροφών από σεισμική δραστηριότητα. Επιπλέον είναι λειτουργικά και στην ανίχνευση φυσικών ενδείξεων όπως περιεκτικότητα σε αλάτι, πίεση και θερμοκρασία και χημικών-βιολογικών ενδείξεων όπως επίπεδα βακτηρίων, επίπεδα μόλυνσης και επικίνδυνοι βιολογικοί ή χημικοί παράγοντες σε πηγάδια και δεξαμενές [10].

Τα υποθαλάσσια δίκτυα κατασκευάζονται με την εγκατάσταση κόμβων αισθητήρων και ειδικών οχημάτων σε θάλασσες, ωκεανούς, ποταμούς ή λίμνες. Τα ειδικά οχήματα είτε μη επανδρωμένα UUVS(Unmanned Underwater Vehicles) είτε αυτόνομα AUVS(Autonomous Underwater Vehicles), χρησιμοποιούνται για εξερεύνηση και συλλογή επιστημονικών δεδομένων από τους κόμβους. Η επικοινωνία μεταξύ των υποθαλάσσιων συσκευών, δηλαδή ο συντονισμός της λειτουργίας τους με ανταλλαγή πληροφοριών όπως διαμορφώσεων, τοποθεσίας, μετακίνησης όπως επίσης και η αναμετάδοση των δεδομένων στο σταθμό ξηράς από τους αισθητήρες κόμβους και τα οχήματα επιτυγχάνεται μέσω ακουστικών κυμάτων. Όλα αυτά συγκροτούν ένα αυτόνομο δίκτυο το οποίο μπορεί να λειτουργήσει στα χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος του ωκεανού [11]. Η τεχνολογία που χρησιμοποιείται για τις εφαρμογές αυτές, ονομάζεται Ασύρματη Υποθαλάσσια Ακουστική Δικτύωση με Αισθητήρες και απεικονίζεται στην **Εικόνα 1.4**.



Εικόνα 1.4: Ασύρματο υποθαλάσσιο δίκτυο [11]

1.6.2. Εφαρμογή ασύρματων υποθαλάσσιων δικτύων

Τα υποβρύχια ασύρματα ακουστικά δίκτυα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ποικίλες εφαρμογές, μερικές από αυτές είναι [12]:

Δίκτυα δειγματοληψίας ωκεανού τα οποία αφορούν την συνοπτική δειγματοληψία του 3D παράκτιου περιβάλλοντος, με σκοπό την παρατήρηση και την πρόβλεψη των χαρακτηριστικών του.

Υποβοηθούμενη πλοήγηση που σχετίζεται με την δημιουργία του βαθυμετρικού προφίλ του πυθμένα της θάλασσας, αναγνωρίζοντας κινδύνους, επικίνδυνους βράχους στα ρηχά, αγκυροβολημένα σημεία και ναυάγια.

Υποθαλάσσιες εξερευνήσεις δηλαδή η ανεύρεση πετρελαιοφόρων περιοχών, για χάραξη εγκατάστασης υποθαλάσσιων καλωδιώσεων και υποβοήθηση στην ανίχνευση πολύτιμων ορυκτών.

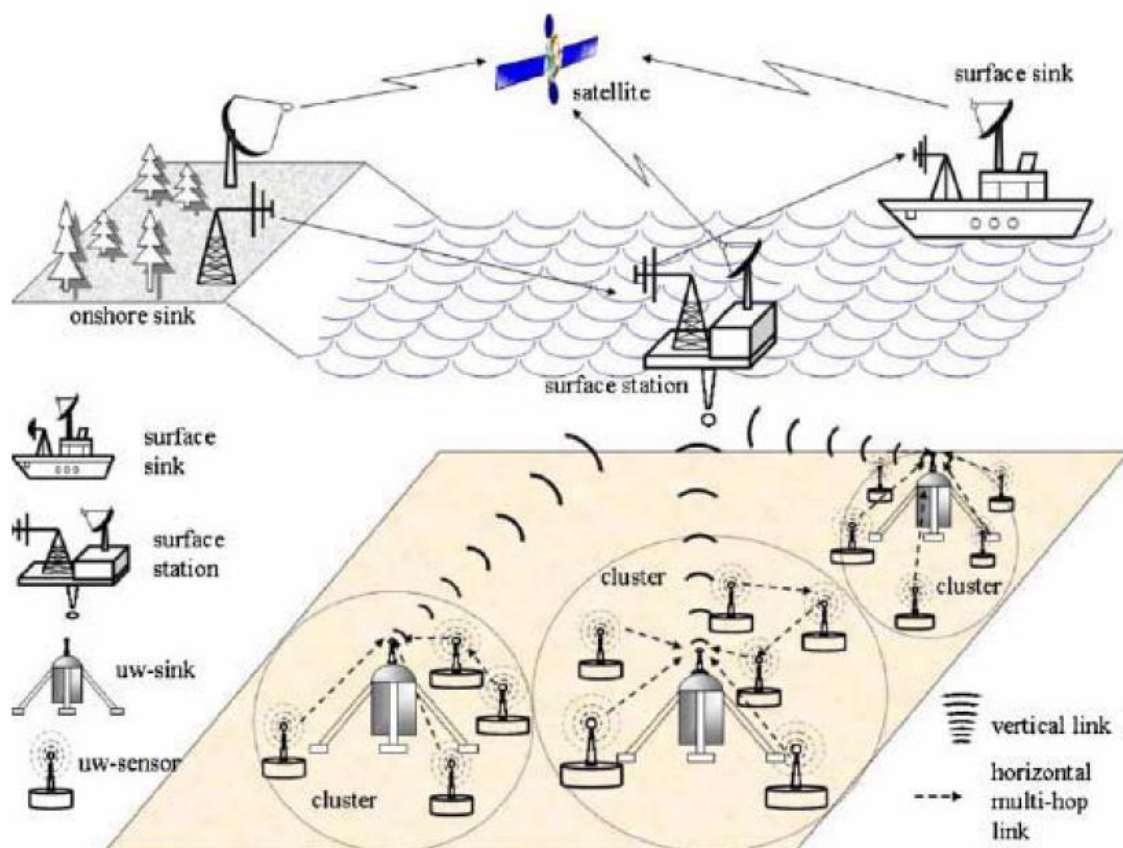
Αποτροπή καταστροφών που σχετίζεται με τη μέτρηση της σεισμικής δραστηριότητας απομακρυσμένων περιοχών, παρέχοντας προειδοποιήσεις για τσουνάμι στις παράκτιες περιοχές και την μελέτη των επιδράσεων των υποθαλάσσιων σεισμών.

Παρακολούθηση των ρευμάτων και ανέμων των ωκεανών. Αφορά στη μελέτη αυτών με σκοπό τις βέλτιστες καιρικές προβλέψεις μέσω των κλιματικών αλλαγών και την κατανόηση και πρόβλεψη της επίδρασης των ανθρώπινων δραστηριοτήτων στο θαλάσσιο οικοσύστημα.

1.6.3. Αρχιτεκτονική ασύρματων υποθαλάσσιων δικτύων

Υπάρχουν δύο κατηγορίες δικτύων για την εξερεύνηση του πυθμένα των θαλασσών. Η πρώτη είναι τα 2D UW-ASNS και η δεύτερη τα 3D UW-ASNS. Η βασική τους διαφορά έγκειται στο γεγονός ότι τα 3D χρησιμοποιούνται για εφαρμογές όπου η εμβέλεια παρατήρησης των 2D δεν είναι επαρκής. Στη συνέχεια θα γίνει μια σύντομη περιγραφή και των δύο κατηγοριών [13].

Στα 2D UW-ASNS υπάρχει στο βυθό των ωκεανών ένα σύνολο αισθητήρων που συνδέονται μεταξύ τους με την βοήθεια συσσωρευτών που χρησιμοποιούν ασύρματη ακουστική σύνδεση. Στην συνέχεια η μεταφορά των δεδομένων από τον βυθό σε ένα σταθμό της επιφάνειας επιτυγχάνεται με τη βοήθεια συλλεκτών(sinks). Οι συλλέκτες διαθέτουν δύο ακουστικούς πομπούς ένα κατακόρυφο και ένα οριζόντιο. Στόχος του οριζόντιου είναι η αποστολή εντολών και δεδομένων διαμόρφωσης στους αισθητήρες και η συλλογή στοιχείων ελέγχου από τους αισθητήρες προς τον συσσωρευτή. Η κατακόρυφη σύνδεση αποσκοπεί στην εκπομπή δεδομένων από τους συσσωρευτές προς του σταθμούς επιφάνειας. Η εμβέλεια των κατακόρυφων πομπών πρέπει να είναι μεγάλη μέχρι 10 χιλιόμετρα λόγω του μεγάλου βάθους των ωκεανών. Στην **Εικόνα 1.5** φαίνεται η αρχιτεκτονική ενός 2D UW-ASNS δικτύου [13].

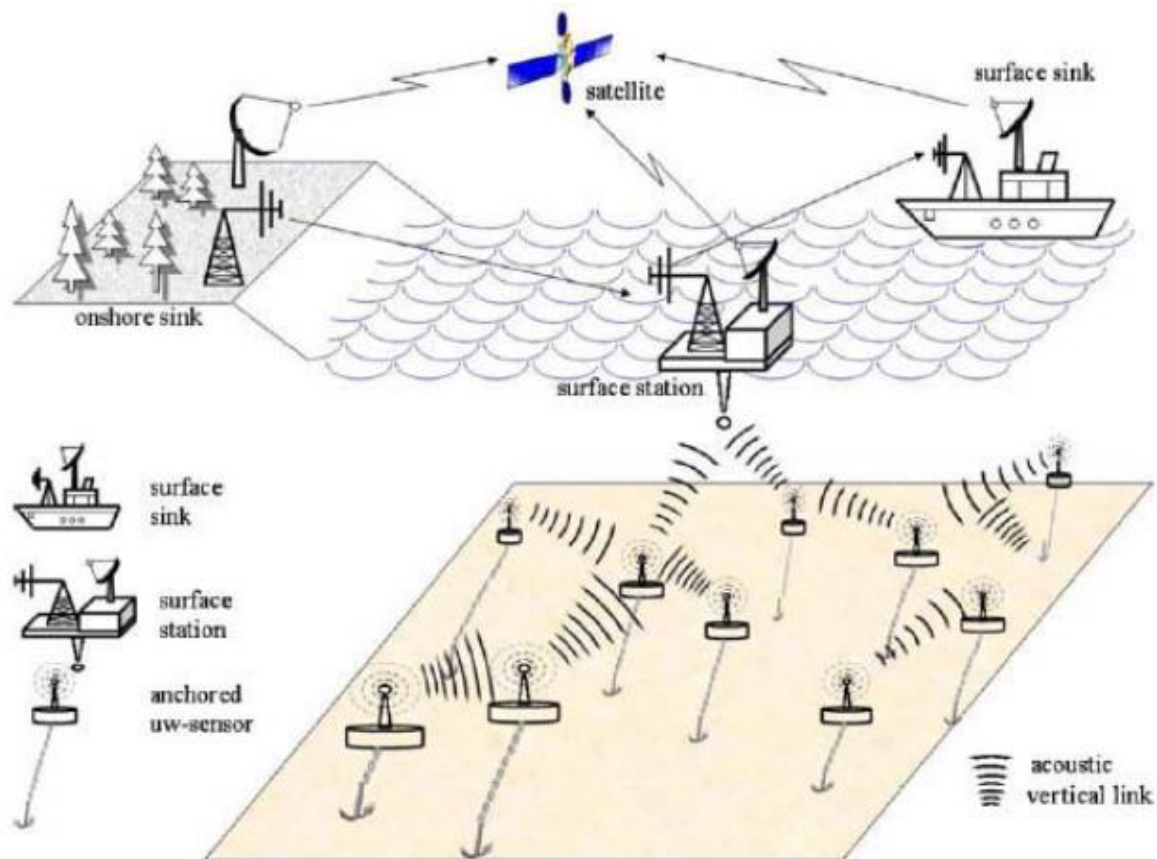


Εικόνα 1.5: Αρχιτεκτονική 2D UW-ASNS δικτύου [13]

Παρόλο που η άμεση σύνδεση αισθητήρων και συσσωρευτών είναι ο απλούστερος τρόπος σύνδεσης του υποθαλάσσιου δικτύου, δεν αποδεικνύεται ενεργειακά αποδοτική λύση, ιδίως για κάλυψη μεγάλων αποστάσεων. Επίσης, η υψηλή ισχύς μετάδοσης, λόγω την αυξημένων ακουστικών παρεμβολών, πιθανόν να μειώσουν την αποδοτικότητα του δικτύου [13].

Στην περίπτωση των 3D UW-ASNS δικτύων οι αισθητήριοι κόμβοι κινούνται σε διάφορα βάθη με σκοπό την παρατήρηση ενός συγκεκριμένου φαινομένου. Η εγκατάστασή τους γίνεται με στερéωση κάθε αισθητήριο κόμβου σε μια επιφανειακή σημαδούρα, με ρυθμιζόμενο καθ' ύψος σύρμα, για την αντίστοιχη ρύθμιση βάθους ελέγχου του αισθητήρα. Έτσι όμως είτε τίθεται πρόβλημα εμπόδισης πλεύσης των πλοίων είτε γίνονται εύκολα αντιληπτά από εχθρούς κατά τη διάρκεια στρατιωτικών εφαρμογών είτε τα ίδια είναι ευάλωτα στις καιρικές συνθήκες [13].

Για την αποφυγή των παραπάνω προβλημάτων γίνεται η αγκύλωση των αισθητήρων στον πυθμένα του ωκεανού, οι οποίοι εξοπλίζονται με μια επιπλέουσα σημαδούρα, η οποία φουσκώνει με αντλία. Η σημαδούρα ωθεί τον αισθητήρα προς την επιφάνεια του ωκεανού και το βάθος του, ρυθμίζεται με τη ρύθμιση του μήκους του σύρματος, που συνδέει τον αισθητήρα με την αγκύλωση [13]. Στην **Εικόνα 1.6** φαίνεται η αρχιτεκτονική ενός 3D UW-ASNS δικτύου.



Εικόνα 1.6: Αρχιτεκτονική 3D UW-ASNS δικτύου [13]

Τα αυτόνομα υποθαλάσσια οχήματα (AUV) χρησιμοποιούν τα 3D UW-ASNS δίκτυα. Έχουν τη δυνατότητα να λειτουργήσουν χωρίς σύρματα, σχοινιά ή τηλεχειριζόμενο έλεγχο, συνεπώς έχουν ευρύ πλάτος εφαρμογών στην ωκεανογραφία, παρακολούθηση περιβάλλοντος και μελέτη υποθαλάσσιων πηγών. Εξοπλισμένα με αισθητήρες, μπορούν να φτάσουν σε μεγάλου βάθους πυθμένες, δοκιμάζοντας έτσι τις δυνατότητες ενός UWASN [14].

Μερικά οχήματα λειτουργούν ως μικρού μεγέθους υποβρύχια και οχήματα που απλά μετακινούνται από τα ρεύματα του ωκεανού κατακόρυφα για τη συλλογή των πληροφοριών. Άλλα οχήματα κινούνται με μπαταρία, χρησιμοποιώντας υδραυλικές αντλίες για τη μεταβολή του όγκου τους και συνεπώς μεταβολής ύψους παρακολούθησης. Κατά την άφιξη στην επιφάνεια της θάλασσας, χρησιμοποιούν GPS για τον εντοπισμό τους. Γενικά, στόχος τους είναι να είναι όσο το δυνατό πιο αυτόνομα από τις επικοινωνίες με τις ακτές [14].

2. Υποβρύχια οχήματα

2.1. Εισαγωγή

Υποβρύχια είναι τα οχήματα τα οποία έχουν την δυνατότητα να κινούνται πάνω στην επιφάνεια αλλά και κάτω από την θάλασσα. Η εξερεύνηση και μελέτη των υδάτων ήταν πάντα από τα αρχαία χρόνια αντικείμενο ενασχόλησης για τον άνθρωπο. Είναι γνωστό ότι το 70% της Γης αποτελείται από νερό και αποτελεί καθοριστικό παράγοντα στην συνέχιση του ανθρώπινου είδους. Η εξερεύνηση και χαρτογράφηση της θάλασσας ήταν πάντα δυσκολότερη σε σχέση με την στεριά καθώς χρειάζεται συγκεκριμένο και αξιόπιστο εξοπλισμό. Στην θάλασσα υπάρχουν ενεργειακοί πόροι που μπορούν να γίνουν εκμεταλλεύσιμοι από τον άνθρωπο (π.χ. υδρογονάνθρακες). Επίσης μέρος της μελέτης του περιβάλλοντος αποτελεί η μελέτη της χλωρίδας και της πανίδας της θάλασσας. Ακόμη, η θάλασσα αποτελεί μεγάλη πηγή τροφίμων (π.χ. ιχθυοκαλλιέργειες).

Στην σύγχρονη εποχή, οι ανάγκες της κοινωνίας είναι αυξημένες και υπάρχει ανάγκη για εύρεση φυσικών πόρων για ενέργεια αλλά και τροφή. Μεγάλο κομμάτι των υδάτων της Γης παραμένει ακόμα ανεξερεύνητο καθώς είναι δύσκολη η πρόσβαση του ανθρώπου σε αυτά. Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις το 95% των ωκεανών δεν έχει εξερευνηθεί ακόμα. Οι δύο ανάγκες που προαναφέρθηκαν αποτέλεσαν και την ώθηση στην δημιουργία νέων τεχνολογιών που θα μπορούν να ανταπεξέλθουν στο απαιτητικό περιβάλλον της θάλασσας. [15].

Τα υποβρύχια οχήματα αποτελούν πολύ σημαντικό εργαλείο για την εξερεύνηση των ωκεανών, την εύρεση φυσικών πόρων και την μελέτη του περιβάλλοντος τους. Τα οχήματα αυτά πρέπει να είναι σε θέση να αντιμετωπίσουν όλα τα πιθανά προβλήματα που μπορεί να προκύψουν εντός της θάλασσας (π.χ. μεγάλες πιέσεις, θαλάσσια ρεύματα, καιρικές συνθήκες). Τα υποβρύχια με την εξέλιξη της τεχνολογίας μπορούν πέρα από επανδρωμένα να είναι και μη επανδρωμένα και να χειρίζονται από ανθρώπους.

2.2. Χρησιμότητα των υποβρυχίων

2.2.1. Ωκεανογραφία

Αποτελεί κλάδο της Γεωλογίας και είναι η επιστήμη που μελετά τους ωκεανούς, τις θάλασσες, τις λίμνες και τον πυθμένα αυτών. Είναι κλάδος ο οποίος απαιτεί την συνεργασία πολλών επιστημονικών πεδίων. Η Ωκεανογραφία μπορεί να χωριστεί σε 5 βασικές κατηγορίες [16]:

1. Γεωλογική Ωκεανογραφία. Ασχολείται κυρίως με το στερεό υπόβαθρο και τις ακτές, τα χαλαρά ή συμπαγή ιζήματα στους πυθμένες της θάλασσας, το πάχος τους και την τεκτονική τους διάταξη.
2. Φυσική Ωκεανογραφία. Ασχολείται κυρίως με το θαλάσσιο νερό, τις ιδιότητες του, τις κινήσεις των υγρών μορίων όπως κύματα, ρεύματα και παλίρροιες. Επίσης ασχολείται με τις επιδράσεις μεταξύ θάλασσας και ατμόσφαιρας.

3. Βιολογική Ωκεανολογία. Ουσιαστικά είναι επιστήμη που μελετά την ζωή μέσα στην θάλασσα. Από τα πλαγκτόν μέχρι οποιαδήποτε άλλη χλωρίδα και πανίδα που υπάρχει μέσα στην θάλασσα.
4. Χημική Ωκεανογραφία. Ασχολείται κυρίως με τις χημικές ιδιότητες του θαλάσσιου νερού, τον εντοπισμό και την αξιοποίηση χημικών στοιχείων που υπάρχουν μέσα σε αυτό και επίσης τον βαθμό χημικής ρύπανσης της θάλασσας.
5. Εφαρμοσμένη Ωκεανογραφία. Ασχολείται με την αλιεία, την διευθέτηση των ακτών, την μόλυνση του θαλάσσιου νερού, την εκμετάλλευση της θαλάσσιας ενέργειας και του πλούτου του θαλάσσιου βυθού όπως είναι ο υποθαλάσσιος ορυκτός πλούτος.

2.2.2. Ενάλια αρχαιολογία

Με τον όρο υποβρύχια αρχαιολογία εννοείται η μελέτη του παρελθόντος στον βυθό των θαλασσών και των ωκεανών. Ολόκληρες πόλεις, μνημεία, αγάλματα και άλλα στοιχεία αρχαίων πολιτισμών βρίσκονται βυθισμένα στις θάλασσες. Η μελέτη τους σε ένα τέτοιο περιβάλλον είναι δύσκολη και απαιτητική. Ανεπτυγμένη τεχνολογία που να καθιστά δυνατή την μελέτη είναι απαραίτητη. Συνήθως η χρησιμοποιούμενη τεχνολογία είναι υποβρύχια ρομπότ [17].

2.2.3. Υποθαλάσσιος ορυκτός πλούτος

Ο ορυκτός πλούτος της θάλασσας τα τελευταία χρόνια αποτελεί πολύ σημαντικό πεδίο έρευνας για τον άνθρωπο. Υπάρχει πληθώρα κοιτασμάτων σε διάφορα βάθη που φτάνουν τα 5000 μέτρα. Η ανάγκη του ανθρώπου για παραγωγή περισσότερης ενέργειας οδήγησε την κοινωνία στην αναζήτηση αυτών των κοιτασμάτων, επομένως είναι απαραίτητη η εξειδικευμένη τεχνολογία που θα επιτρέψει την μελέτη αυτών. Για την μελέτη σε μεγάλα βάθη γίνεται χρήση μη επανδρωμένων υποβρυχίων.

2.2.4. Έρευνα και διάσωση

Η υποβρύχια έρευνα και διάσωση αναφέρεται στον εντοπισμό και τη διάσωση υποβρυχίως ατόμων αποκλεισμένων σε θύλακες αέρα ή χαμένων δυτών ή βατραχανθρώπων. Τα υποβρύχια οχήματα χρησιμοποιούνται συχνά για την ανάκτηση θυμάτων από πνιγμό παγκοσμίως. Έρευνα γίνεται για την ανάπτυξη κατάλληλων υποβρυχίων ρομπότ για τις συγκεκριμένες αποστολές [18].

2.2.5. Βιοποικιλότητα και αλιεία

Ο συγκεκριμένος ερευνητικός τομέας ασχολείται με το θαλάσσιο οικοσύστημα, το οποίο αποτελεί και το μεγαλύτερο κομμάτι των ζώντων φυτικών και ζωικών οργανισμών. Η διατήρηση και προστασία του αποτελεί πολύ σημαντικό παράγοντα για την διατροφική και οικονομική ευημερία της ανθρωπότητας.

Το θαλάσσιο οικοσύστημα εκτείνεται από την επιφάνεια της θάλασσας μέχρι και κάποια χιλιόμετρα βάθος. Η ανθρώπινη δραστηριότητα προκαλεί ποικίλα προβλήματα σε αυτό και είναι απαραίτητη η

μελέτη του. Ο καλύτερος τρόπος για μελετηθεί η ζωή στην θάλασσα είναι να μελετηθεί το φυσικό περιβάλλον των οργανισμών που ζουν εκεί. Η χρήση των υποβρυχίων καθιστά δυνατή μια τέτοια μελέτη αφού δίνει την δυνατότητα στον άνθρωπο να κατέβει σε κάποια χιλιόμετρα βάθος.

2.2.6. Μετεωρολογία

Θαλάσσια φαινόμενα επηρεάζουν άμεσα τον κλάδο της μετεωρολογίας. Τα θαλάσσια ρεύματα μεταφέρουν μεγάλες υδάτινες μάζες και διαμορφώνουν τις συνθήκες για την ζωή στο θαλάσσιο περιβάλλον. Η κίνηση των ρευμάτων οφείλεται στην βαρύτητα, τους ανέμους καθώς και στην ανύψωση και ταπείνωση των υδάτων. Δεδομένα για το πως κινούνται τα ρεύματα συλλέγονται από υποβρύχια ώστε να χρησιμοποιηθούν από ψαράδες και ναυτικούς καθώς μπορεί να μπορεί να προκαλέσουν διαφορά στην στάθμη της θάλασσας. Επίσης γνωστή επίδραση των θαλάσσιων ρευμάτων είναι το φαινόμενο Ελ Νίνιο. Το φαινόμενο αυτό είναι υπεύθυνο για διάφορους τυφώνες και άλλα δυσμενή φαινόμενα που δημιουργούν πρόβλημα στην οικονομία [19].

2.2.7. Στρατιωτικές εφαρμογές

Στην σημερινή εποχή όλο και περισσότερες ναυτικές δυνάμεις υιοθετούν την χρήση υποβρυχίων οχημάτων. Επανδρωμένα και μη οχήματα χρησιμοποιούνται σε ναυτικές επιχειρήσεις αφού παρουσιάζουν πλεονεκτήματα. Αρχικά έχουν χαμηλότερο κόστος και μπορούν να σταθούν άμεσα σε διάφορες θαλάσσιες περιοχές. Ακόμη, έχουν την δυνατότητα σε σχέση με τα πλοία να καταδυθούν σε μεγάλα βάθη και μάλιστα να κινηθούν κόντρα σε θαλάσσια ρεύματα. Τα μη επανδρωμένα υποβρύχια ουσιαστικά παρέχουν ασφάλεια στο στρατιωτικό προσωπικό αφού δεν χρειάζεται η παρουσία στρατιωτών μέσα σε αυτά. Άλλη μια σημαντική χρήση είναι αποναρκοθέτηση ή η ανάκτηση στρατιωτικού υλικού όπως ανενεργά βλήματα και μαύρα κουτιά αεροσκαφών [20].

2.2.8. Εκπαιδευτικά προγράμματα

Τα τελευταία χρόνια όλο και περισσότεροι άνθρωποι έχουν αποκτήσει ενδιαφέρον για τον ωκεανό και το τι υπάρχει σε αυτόν. Έχει προκύψει ένα χόμπι που περιλαμβάνει την κατασκευή μη επανδρωμένων υποβρυχίων που είναι σε θέση για κατάδυση μερικών μέτρων. Μέσα από αυτό το χόμπι έχουν δημιουργηθεί διάφοροι διαγωνισμοί και αγώνες που περιλαμβάνουν την χρήση τέτοιων υποβρυχίων.

2.2.9. Φωτογράφιση του βυθού και κινηματογράφος

Χρήση υποβρυχίων γίνεται για την παραγωγή διαφόρων ταινιών documentary που παρουσιάζουν την θαλάσσια ζωή. Είναι βέβαιο ότι χωρίς την χρήση τους δεν θα ήταν δυνατή η φωτογράφιση σε μεγάλα βάθη. Μη κερδοσκοπικές επιστημονικές οργανώσεις από η National Geographic με διάφορα ενδιαφέροντα που περιέχουν την εξερεύνηση του βυθού, χρειάζονται απαραίτητα υποβρύχια υψηλής τεχνολογίας για την χαρτογράφηση αλλά και φωτογράφιση του βυθού. Ο κινηματογράφος είναι επίσης ένας χώρος που κάνει χρήση των υποβρυχίων για σκηνές που διαδραματίζονται κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας.

2.3. Είδη σκαφών

2.3.1. Αυτόνομα οχήματα επιφάνειας – ASV (Autonomous Surface Vehicles)

Τα ASV ανήκουν στην κατηγορία των μη επανδρωμένων οχημάτων και βρίσκονται πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας αλλά χρησιμοποιούνται από τα υποβρύχια οχήματα. Έχουν την δυνατότητα πλοήγησης μέσα από δορυφορικά συστήματα που επικοινωνούν με κάποιο σταθερό κέντρο ελέγχου που βρίσκεται σε κάποιο σε κάποιο άλλο σκάφος μέσα στην θάλασσα είτε σε κάποιο χερσαίο κέντρο ελέγχου. Φυσικά οι πληροφορίες που μπορούν να συλλέξουν είναι περιορισμένες σε σχέση με τα υποβρύχια καθώς βρίσκονται πάνω από την επιφάνεια αλλά έχουν πολύ πιο αξιόπιστη επικοινωνία με το κέντρο ελέγχου. Χρησιμοποιούνται υποστηρικτικά στα υποβρύχια οχήματα αλλά και αυτόνομα. Χρησιμοποιούν βενζινοκινητήρες για την κίνηση τους, κάτι που τους επιτρέπει να μετακινούνται γρήγορα σε σύγκριση με τα υπόλοιπα μη επανδρωμένα υποβρύχια οχήματα. Φυσικά γίνεται έρευνα για την παραγωγή και ηλεκτροκίνητων ASV που παρουσιάζουν καλές επιδόσεις με χαμηλότερο κόστος [21]. Επίσης υπάρχουν ASV που εκμεταλλεύονται ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως ηλιακή και αιολική [22].

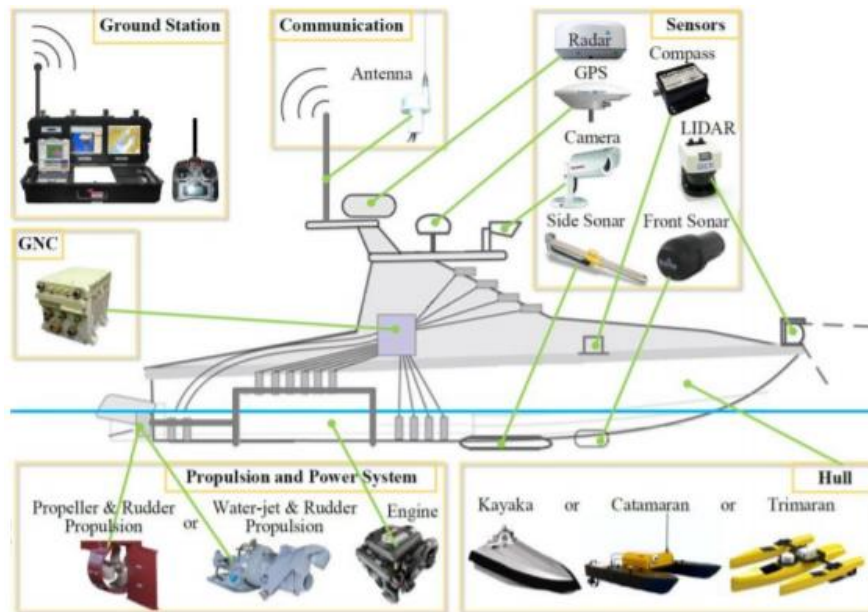
Τα ASV έχουν την δυνατότητα να κινηθούν με μεγάλες ταχύτητες και με την χρήση δεκτών GNSS που τοποθετούνται σε αυτά μπορούν να έχουν δορυφορική παρατήρηση ώστε να μπορούν να καλύπτουν μεγάλες εκτάσεις για χαρτογράφηση. Τα οχήματα επίσης έχουν ηχοβολιστικά συστήματα, οπτικούς αισθητήρες, μαγνητόμετρα, γυροσκοπικές πυξίδες και δέκτες GPS ώστε να παρέχουν υψηλής ανάλυσης πληροφορίες. Παρόλο που παρουσιάζει το πλεονέκτημα ότι είναι στην επιφάνεια της θάλασσας και μπορεί να έχει δορυφορική κάλυψη, εκτίθεται σε διάφορες κακές καιρικές συνθήκες [23].

Τέτοια οχήματα πρωτοεμφανίστηκαν στον 2^ο Παγκόσμιο Πόλεμο με τους Καναδούς να φτιάχνουν το USV COMOX, το οποίο ήταν ένα τορπιλοβόλο σκάφος που μάλιστα συμμετείχε στην απόβαση στην Νορμανδία. Επίσης το Αμερικάνικο Ναυτικό σε κοντινό διάστημα ανέπτυξε παρόμοια τεχνολογία τέτοιων σκαφών για πολεμική και μη χρήση όπως η εξουδετέρωση ναρκών, καταγραφή μετεωρολογικών δεδομένων και ασκήσει διάσωσης [24].

Με την πάροδο του χρόνου τα ASV αναπτύχθηκαν αρκετά τεχνολογικά με την προσθήκη τηλεκατεύθυνσης, αναμετάδοσης της εικόνας σε πραγματικό χρόνο καθώς και χρησιμοποίηση μεγάλου εύρους αισθητήρων και συστημάτων. Η χρήση τους πλέον ξέφυγε αρκετά από τους αμιγώς στρατιωτικούς σκοπούς σε τοπογραφικές, μετεωρολογικές και περιβαλλοντικές μελέτες. Η έρευνα για την βελτιστοποίηση τους συνεχίζεται και υπάρχει πληθώρα διαθέσιμων ASV στην αγορά για τους σκοπούς που προαναφέρθηκαν.

Στην **Εικόνα 2.1** φαίνονται τα δομικά στοιχεία ενός ASV οχήματος τα οποία είναι τα παρακάτω:

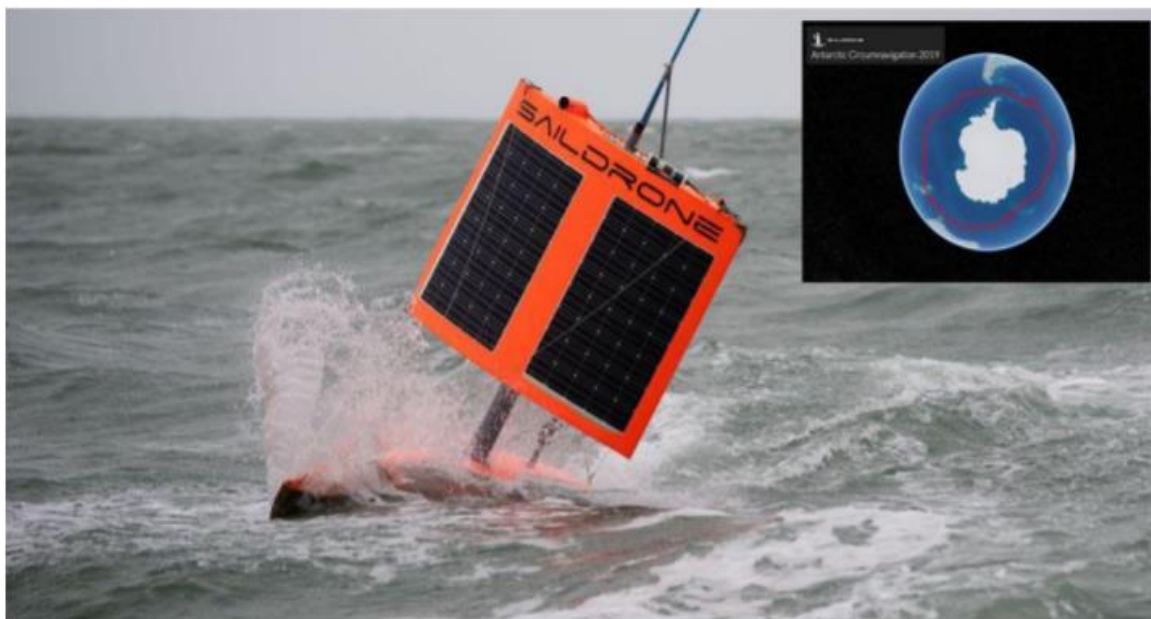
1. Σκάφος
2. Σύστημα πρόωσης (προπέλες)
3. Κινητήρας
4. Σύστημα πλοήγησης και ελέγχου
5. Αισθητήρες
6. Κέντρο ελέγχου
7. Σύστημα επικοινωνίας



Εικόνα 2.1: Δομικά στοιχεία ASV [24]

Σε ακαδημαϊκό επίπεδο το πρώτο ASV ήταν το ARTEMIS που κατασκευάστηκε από το MIT το 1993 το οποίο χρησιμοποιήθηκε για συλλογή βαθυμετρικών δεδομένων. Το ACES (Autonomous Coastal Exploration System) διαδέχθηκε το ARTEMIS το οποίο ήταν πιο αναβαθμισμένο και χρησιμοποιήθηκε για υδατογραφικά δεδομένα.

Το 2014 το Ωκεανογραφικό Ινστιτούτο Woods Hole κατασκεύασε το Jetyak ένα ASV με βενζινοκινητήρα και με κέντρο ελέγχου και επικοινωνίας δορυφορικό δέκτη και επιπλέον αισθητήρες. Το συγκεκριμένο ASV χρησιμοποιήθηκε κατά βάση για χαρτογράφηση και παρακολούθηση φαινομένων στον Αρκτικό Κύκλο [23]. Το πανεπιστήμιο του Aarhus επίσης κατασκεύασε ένα ASV, το ARCAB για την λήψη διαφόρων ωκεανογραφικών και βαθυμετρικών δεδομένων σε περιοχές του Αρκτικού Κύκλου επίσης. Τα συγκεκριμένα ASV διέθεταν δορυφορικό δέκτη (GNSS), αισθητήρα Lidar και ηχοβολιστικό σύστημα [25]. Στις ΗΠΑ το 2007 ο Εθνικός Ωκεανογραφικός και Ατμοσφαιρικός Οργανισμός ανέπτυξε τα Saildrones, μια κατηγορία ASV για την χαρτογράφηση κλιματολογικών δεδομένων σε δυσπρόσιτες περιοχές στον Αρκτικό Κύκλο. Τα συγκεκριμένα οχήματα χρησιμοποιούσαν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Στην **Εικόνα 2.2** φαίνεται ένα τέτοιο όχημα να επιχειρεί αυτόνομο περίπλου στην Νέα Ζηλανδία.



Εικόνα 2.2: Πρώτος περίπλους ενός Saildrone στην Νέα Ζηλανδία (Saildrone.com)

Τα ASV βρίσκουν εφαρμογή για την αποτύπωση βυθισμένων και ημιβυθισμένων αντικειμένων μέσω διαφόρων οργάνων και συστημάτων που χρησιμοποιούν όπως ηχοβολιστικά όργανα και συστήματα Lidar.

Τα συγκεκριμένα οχήματα επίσης έχουν εφαρμογή στις ενάλιες αρχαιολογικές έρευνες καθώς μπορούν να εντοπίσουν αρχαιολογικές θέσεις έως και 10 μέτρα βάθος. Πιο συγκεκριμένα το ASV Pladyros που κατασκευάστηκε από το πανεπιστήμιο του Ζάγκρεμπ είναι ένα τέτοιο παράδειγμα που χρησιμοποιήθηκε για τις ανάγκες της βυθισμένης πόλης της Παραλίου Καισαρείας στο Ισραήλ.

2.3.2. Βαθυσκάφη – DSV (Deep Submergible Vehicles)

Τα βαθυσκάφη είναι στην κατηγορία των επανδρωμένων υποβρύχιων οχημάτων και χρησιμοποιούνται για καταδύσεις σε μεγάλα βάθη όπου άλλα υποβρύχια οχήματα δεν μπορούν να προσεγγίσουν. Μπορούν να έχουν διάρκεια κατάδυσης από 8 μέχρι 10 ώρες και είναι δυνατόν να μεταφέρουν από 2 έως 4 άτομα. Το 1960 πραγματοποιήθηκε η πρώτη κατάδυση στο βαθύτερο σημείο στον ωκεανό από τους Jacques και Donald Walsh το οποίο είναι η Τάφρος των Μαριαννών χρησιμοποιώντας το ελβετικό DSV Trieste που έφτασε σε βάθος 10.915 m και παρέμεινε για 20 λεπτά. Τον μεγαλύτερο αριθμό καταδύσεων τον έχει καταγράψει το βαθυσκάφος Alvin το οποίο ανήκει στο αμερικάνικο και ξεκίνησε το 1964 από ινστιτούτο ωκεανογραφίας Woods Hole. Τεχνολογικά είναι το κορυφαίο επανδρωμένο υποβρύχιο όχημα παρόλο που είναι παλιό, οι διαρκείς αναβαθμίσεις που έχουν γίνει σε αυτό το κρατάνε σε αυτή την θέση. Ο εντοπισμός του Τιτανικού έγινε με ένα σκάφος Alvin και είναι η πιο γνωστή επιχείρηση που πραγματοποίησε. Φυσικά υπάρχουν και άλλα DSV όπως το Pegasus, Star III και Aluminant [26].

Τα DSV χρησιμοποιούνται κατά κόρον στην ενάλια αρχαιολογία. Τα δύο πιο γνωστά project είναι το VENUS και το GROPLAN τα οποία πραγματοποιήθηκαν από το γαλλικό επιστημονικό κέντρο CNRS. Το project VENUS ξεκίνησε το 2000 με το σκάφος REMORA 2000 και πραγματοποίησε επιχείρηση 5 ωρών σε βάθος 610 m στο ρωμαϊκό ναυάγιο Port-Miou C το οποίο βρίσκεται στην Μασσαλία. Το project GROPLAN ξεκίνησε το 2014 το σκάφος REMORA 2000 εξερεύνησε στην Μάλτα ένα φοινικικό ναυάγιο σε βάθος 110 m. Στην **Εικόνα 2.3** παρουσιάζονται φωτογραφίες από ναυάγιο του Xlendi που πραγματοποίησε επιχείρηση το REMORA 2000.



Εικόνα 2.3: Φωτογραφίες από το σκάφος REMORA 2000 στο ναυάγιο Xlendi (www.groplan.eu)

Στην Ελλάδα το σκάφος ΘΕΤΙΣ, το οποίο είναι τύπου REMORA 2000 από το 2000 έχει πραγματοποιήσει δεκάδες αποστολές σε διάφορους τομείς όπως η ενάλια αρχαιολογία, τα βενθικά οικοσυστήματα, εντοπισμό αεροπορικών και ναυτικών ατυχημάτων και για περιβαλλοντικές και γεωφυσικές μελέτες. Το επιχειρησιακό του βάθος είναι τα 610 m [27].

2.3.3. Αυτόνομα υποβρύχια οχήματα – AUV (Autonomous Underwater Vehicles)

Τα AUV είναι μην επανδρωμένα υποβρύχια οχήματα τα οποία λειτουργούν χωρίς κάποια ενσύρματη τροφοδοσία, τροφοδοτούνται αποκλειστικά από μπαταρίες οι οποίες είναι ενσωματωμένες πάνω σε αυτά. Τα AUV προγραμματίζονται για συγκεκριμένες αποστολές με και επιστρέφουν στην αφετηρία για επαναφόρτιση και ανταλλάσσουν δεδομένα με κάποιο σκάφος υποστήριξης ή με κάποιο εξωτερικό σύστημα. Το 1957 το SPURV (Special Purpose Underwater Research Vehicle) ήταν το πρώτο χρονικά AUV και κατασκευάστηκε από το Εργαστήριο Εφαρμοσμένων Φυσικών Επιστημών του Πανεπιστημίου της Washington. Η αυτονομία του ήταν 5.5 ώρες και είχε μέγιστο βάθος 3000 m. Το αμερικάνικο ναυτικό κατασκεύασε το 1973 το AUV AUSS (Advanced Unmanned Search System) για εξυπηρέτηση στρατιωτικών επιχειρήσεων όπως η βύθιση πυρηνικών υποβρυχίων. Μερικά χρόνια αργότερα η Kornsberg, μια νορβηγική εταιρία κατασκεύασε το AUV HUGIN το οποίο παρείχε αυτονομία 24 ώρες και μέγιστο βάθος τα 1000 m. Επίσης το ινστιτούτο Woods hole έφτιαξε το AUV ABE (Autonomous Benthic Explorer) το οποίο είχε αυτονομία 34 ώρες και επιχειρησιακό βάθος 5000 m [28]. Ο διεθνής οργανισμός της IEEE OES (Institute of Electrical and Electronics Engineers – Oceanic Engineering Society) πραγματοποιεί συνέδριο με βασικό θέμα τα AUVs κάθε 2 χρόνια. Στην σημερινή εποχή πάνω από 20 εταιρίες κατασκευάζουν πλήρη συστήματα AUV.

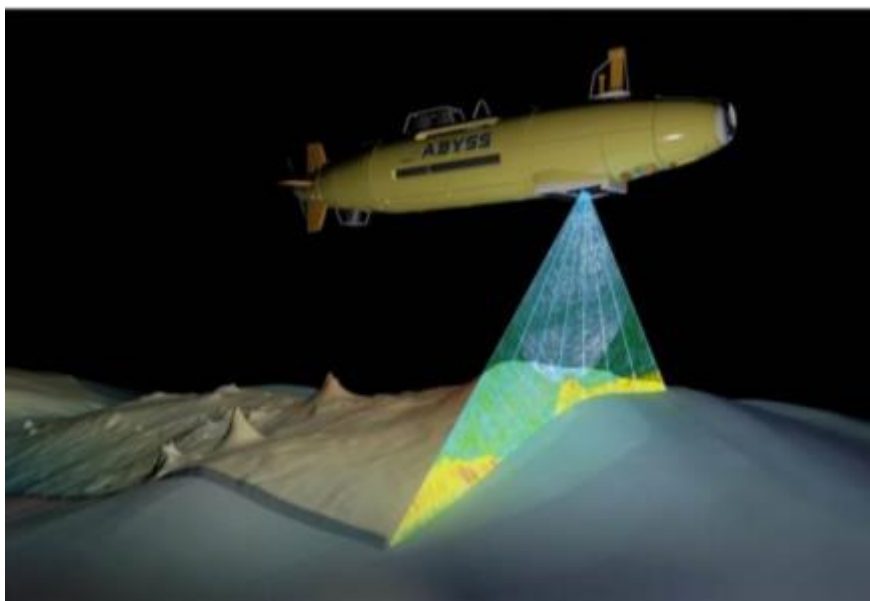
Βελτιώνονται συνέχεια και έχουν αυξηθεί σημαντικά οι ώρες αυτονομίας τους αλλά και το επιχειρησιακό τους βάθος που μπορεί να φτάσει έως και τα 6000 m. Το κόστος τους έχει μειωθεί σημαντικά και φυσικά είναι πιο ανθεκτικά σε αντίξοες καιρικές συνθήκες. Ταυτόχρονα με την ασύρματη λειτουργία τους δίνει πλεονεκτήματα όπως η ταχύτητα, η ελευθερία κίνησης και η οικονομία. Από την άλλη μεριά σε ξαφνικές απώλειες επικοινωνίας ή δυσλειτουργίας του οχήματος είναι πολύ πιθανό μέχρι και να υπάρξει ολοκληρωτική απώλεια του AUV.

Στις κυριότερες εφαρμογές των AUV βρίσκονται στρατιωτικές (ανίχνευση, μετάδοση πληροφοριών κ.α.), επιθεωρήσεις ναυαγίων (αεροσκαφών και πλοίων), ερευνητικές (ωκεανογραφία φυσική θαλάσσια βιολογία), ενάλια αρχαιολογία και εμπορικές (πετρελαιοβιομηχανία, εμπόριο κ.α.). Επίσης υπάρχουν και πολλοί ερασιτέχνες που χρησιμοποιούν AUVs.

Κατασκευάζονται ανάλογα με την ανάγκη που πρέπει να καλύψουν. Το μέγεθος που θα έχουν καθορίζεται από την αποστολή που θα πραγματοποιήσουν, καθώς θα παρέχει μεγαλύτερη αυτονομία και μεγαλύτερο επιχειρησιακό βάθος αλλά αυξημένο κόστος. Οι κατασκευαστές των AUVs χωρίζονται σε 3 βασικές κατηγορίες : της επιστημονικής έρευνας, της υπεράκτιας βιομηχανίας και του στρατού.

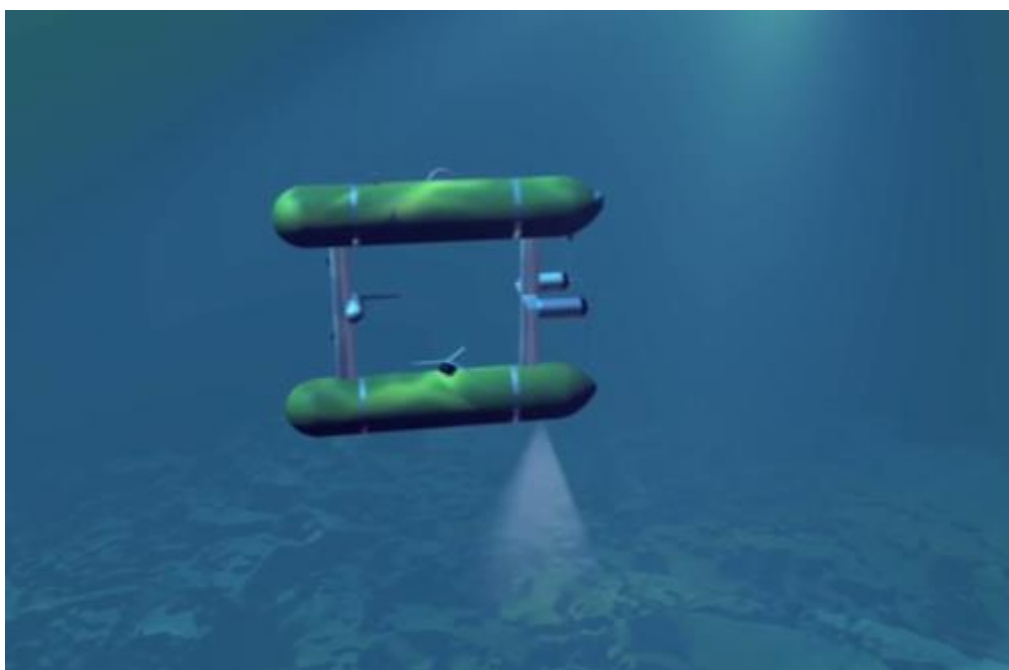
Τα AUVs δεν μπορούν βασίζονται σε παρατηρήσεις GPS καθώς τα ραδιοκύματα εξασθενούν μέσα στο νερό. Για τον προσδιορισμό της θέσης τους χρησιμοποιούνται τεχνικές αδρανειακής πλοήγησης dead reckoning σε συνδυασμό με τεχνικές εντοπισμού υποβρύχιας ακουστικής. Όπως προαναφέρθηκα το γεγονός ότι δεν υπάρχει ενσύρματη σύνδεση με κάποιο σκάφος στην επιφάνεια δημιουργεί ζήτημα αυτονομίας αλλά και δυσκολεύει το σύστημα ελέγχου μιας αποστολής. Το κλασικό πρόβλημα που αντιμετωπίζουν τα AUVs είναι ο προγραμματισμός της αποστολής. Αυτό συμβαίνει κυρίως διότι το περιβάλλον που θα πραγματοποιηθούν οι αποστολές είναι διαφορετικό, επομένως οι αλγόριθμοι κάθε φορά προσαρμόζονται στο εκάστοτε περιβάλλον [29].

Το REMUS (Remote Environmental Monitoring Units) είναι ένας από τους πιο γνωστούς τύπους AUV και κατασκευάστηκε το Woods Hole και πορεία δόθηκε και από διάφορες εταιρίες στην αγορά. Το συγκεκριμένο σκάφος είναι χαμηλού κόστους και μπορεί να προγραμματιστεί από έναν φορητό υπολογιστή. Το επιχειρησιακό βάθος του μπορεί να είναι από 100 μέχρι 6000 m. Χρησιμοποιείται για πληθώρα εφαρμογών όπως χαρτογράφηση, υδρογραφικές μελέτες και στρατιωτικές εφαρμογές κ.α. Άλλο ένα πολύ γνωστό AUV στην ίδια κατηγορία με το REMUS είναι το Abyss το οποίο φαίνεται στην **Εικόνα 2.4** Κατασκευάζεται από την αμερικανική εταιρία Hydroid και η κύρια λειτουργία του είναι η αποτύπωση του πυθμένα σε μεγάλα βάθη που φτάνουν τα 6000 m. Έχει βάρος 900 kg και μήκος 4 m με μέγιστο βάθος τα 6000 m. Η αυτονομία του φτάνει τις 20 ώρες και κινείται με ταχύτητα 7.5 km/h. Είναι ένα AUV εξοπλισμένο με πληθώρα αισθητήρων και κάμερα υψηλής ανάλυσης [30].



Εικόνα 2.4: Abyss AUV (www.geomar.de)

Στην Ελλάδα το 2005 η Εφορεία Ενάλιων Αρχαιοτήτων μαζί με το Ελληνικό Κέντρο Θαλάσσιων Ερευνών και το ινστιτούτο Woods Hole συνεργάστηκαν για μια αρχαιολογική έρευνα στα νησιά Χιό-Οινούσες χρησιμοποιώντας το AUV SeaBED ώστε να τεκμηριώσουν με λεπτομέρεια το ναυάγιο που βρίσκεται εκεί. Στην **Εικόνα 2.5** φαίνεται το AUV SeaBED. Επίσης το συγκεκριμένο AUV χρησιμοποιήθηκε και σε ηφαιστειολογικές μελέτες στη Μήλο και την Σαντορίνη [31].



Εικόνα 2.5: AUV SeaBED (www.whoi.edu)

2.3.4. Τηλεκατευθυνόμενα οχήματα – ROV (Remote Operated Vehicles)

Τα συγκεκριμένα οχήματα είναι μη επανδρωμένα και τηλεκατευθυνόμενα που καθοδηγούνται με την βοήθεια κάποιου χειριστή. Επίσης ένα κέντρο ελέγχου σε κάποιο σκάφος επιφάνειας συμβάλει στην καθοδήγηση του ROV. Το ROV επικοινωνεί με την επιφάνεια μέσω ενός καλωδίου (tether) που το τροφοδοτεί με ηλεκτρική ενέργεια και επιτρέπει και την μεταφορά πληροφοριών. Το 1953 προέκυψε το πρώτο ROV (Poodle) το οποίο ήταν μια αναβαθμισμένη έκδοση του υποβρυχίου scooter Torpille και χρησιμοποιήθηκε κυρίως σε ενάλιες αρχαιολογικές έρευνες. Μεγάλη πρόοδος για τα ROV έγινε το 1961 από το αμερικανικό πολεμικό ναυτικό με το όχημα CURV (Cable-Controlled Underwater Research Vehicle) το οποίο χρησιμοποιήθηκε σε έρευνες για τον εντοπισμό τορπιλών και ναυαγίων. Μέσα στις επόμενες δεκαετίες έγιναν σημαντικές τεχνολογικές προόδους στα ROV και σήμερα οι εταιρίες που τα κατασκευάζουν ξεπερνούν τις 450. Οι κύριες εφαρμογές τους είναι στην υπεράκτια και παράκτια βιομηχανία, στον στρατό, στην ενάλια αρχαιολογία κ.α.

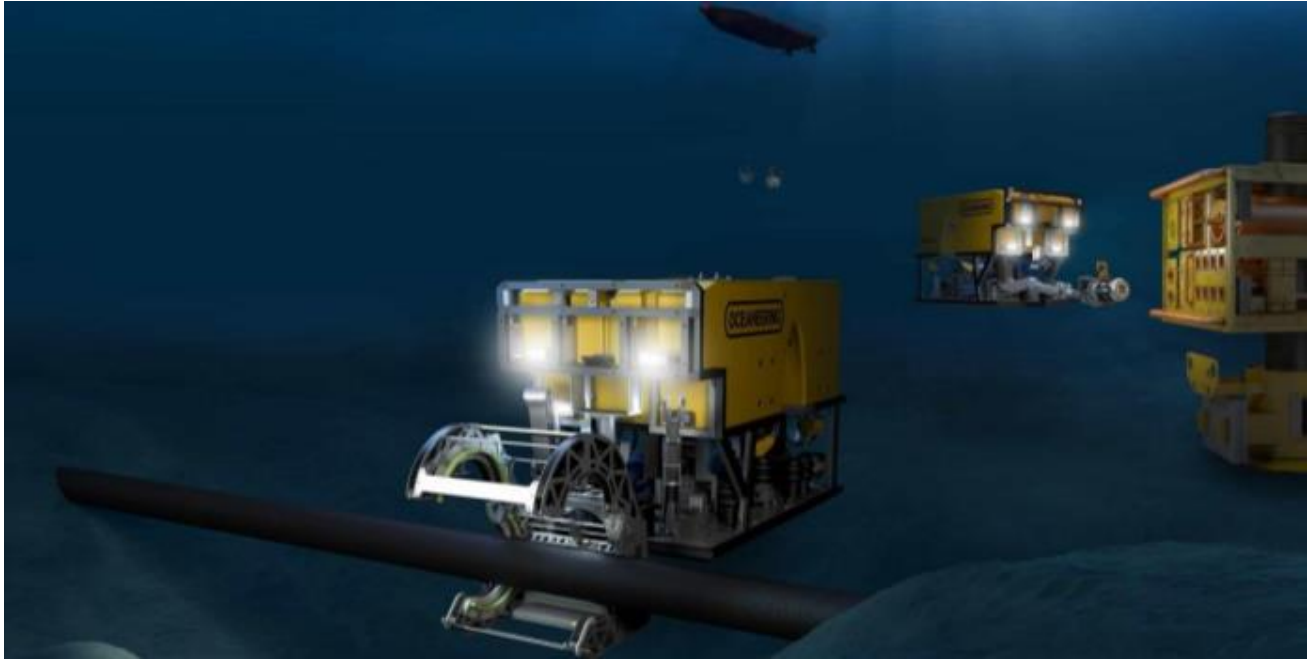
Τρεις είναι οι βασικές κατηγορίες που μπορούν να χωριστούν τα ROVs:

- ROV εργασίας (Working-class) **Εικόνα 2.6**
- ROV παρατήρησης (Observation-class) **Εικόνα 2.7**
- ROV μικρού μεγέθους

Τα ROV εργασίας χρησιμοποιούνται από την βιομηχανία πετρελαίου και φυσικού αερίου. Μπορούν να εκτελέσουν εργασίες όπου είναι πολύ δύσκολο δύτες να τις πραγματοποιήσουν. Μπορούν να ταξινομηθούν σε 3 υποκατηγορίες:

- Light Work-class (επιχειρησιακό βάθος 2000 m και 50 ίπποι)
- Heavy Work-class (επιχειρησιακό βάθος 3500 m και 220 ίπποι)
- Trenching and Burial (επιχειρησιακό βάθος 8000 m και 200 έως 500 ίπποι)

Στην δεύτερη κατηγορία, τα ROV παρατήρησης χρησιμοποιούνται κυρίως για χαρτογραφήσεις και εντοπισμό αντικειμένων Στην Τρίτη κατηγορία που είναι τα ROV μικρού μεγέθους, σε σύγκριση με τις άλλες 2 κατηγορίες είναι πολύ μικρότερα, ελαφρύτερα και με λιγότερο κόστος αλλά φυσικά και με περιορισμένες δυνατότητες (μικρότερο επιχειρησιακό βάθος κ.α.). Χωρίζονται στα micro ROVs (κύρια εφαρμογή τους η αντικατάσταση των δυτών σε μέρη όπως αποχετεύσεις και αγωγοί) και στα mini ROVs [32].

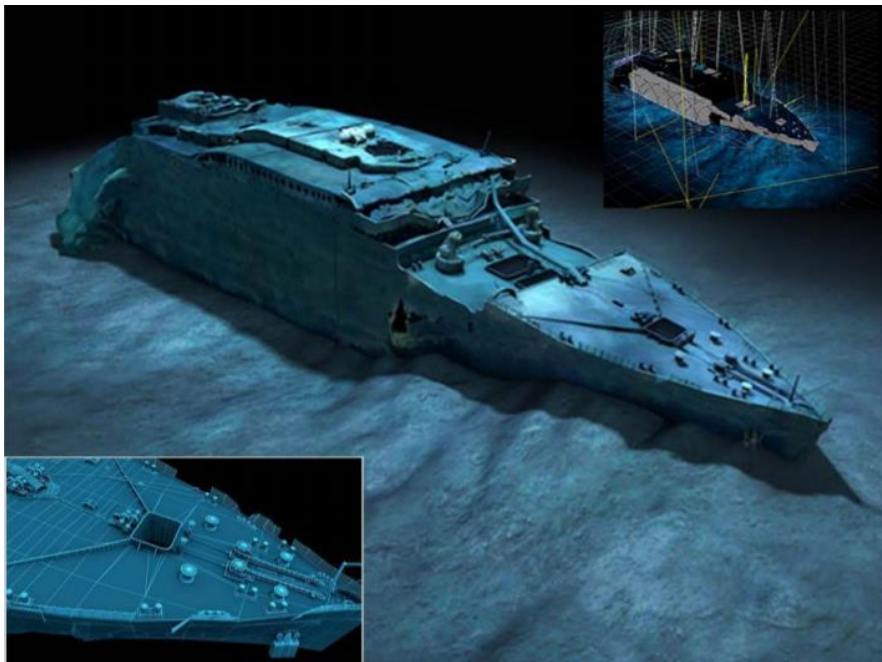


Εικόνα 2.6: Work-class Rov (www.oceaneering.com)



Εικόνα 2.7: Observation-class ROV (oceanexplorer.noaa.gov)

Το ινστιτούτο ωκεανογραφίας Woods Hole κατασκεύασε το 1988 το ROV Jason. Σήμερα είναι εξοπλισμένο με πληθώρα αισθητήρων εντοπισμού θέσης και πλοήγησης. Το επιχειρησιακό του βάθος ξεπερνά τα 3000 m. Μια από τις πιο γνωστές επιχειρήσεις που πραγματοποίησε το ROV Jason ήταν αυτή στο ναυάγιο του Τιτανικού το 2010. Στόχος ήταν η τρισδιάστατη ανακατασκευή του ναυαγίου σε ανάλυση υψηλού επιπέδου αλλά και η εξαγωγή μετρητικών παραγώγων (τρειςδιάστατα φωτορεαλιστικά μοντέλα κ.α.). Στην **Εικόνα 2.8** φαίνεται ένα φωτορεαλιστικό μοντέλο όπως προέκυψε από τα δεδομένα και εικόνας σόναρ.



Εικόνα 2.8: Τρισδιάστατη ανακατασκευή ναυαγίου Τιτανικού (Behance, 2014)

Άλλα γνωστά ROVs είναι το Super Achilles και Apache τα οποία είναι της γαλλικής εταιρίας COMEX, και σε συνεργασία με το γαλλικό ερευνητικό ινστιτούτο CNRS χρησιμοποιήθηκαν σε γνωστά project όπως το GROPLAN και το VENUS. Τα επιχειρησιακά τους βάθη είναι 1000 και 2500 m αντίστοιχα. Και τα δύο ROVs είναι πλήρως εξοπλισμένα με αισθητήρες και κάμερες υψηλής ανάλυσης [33].

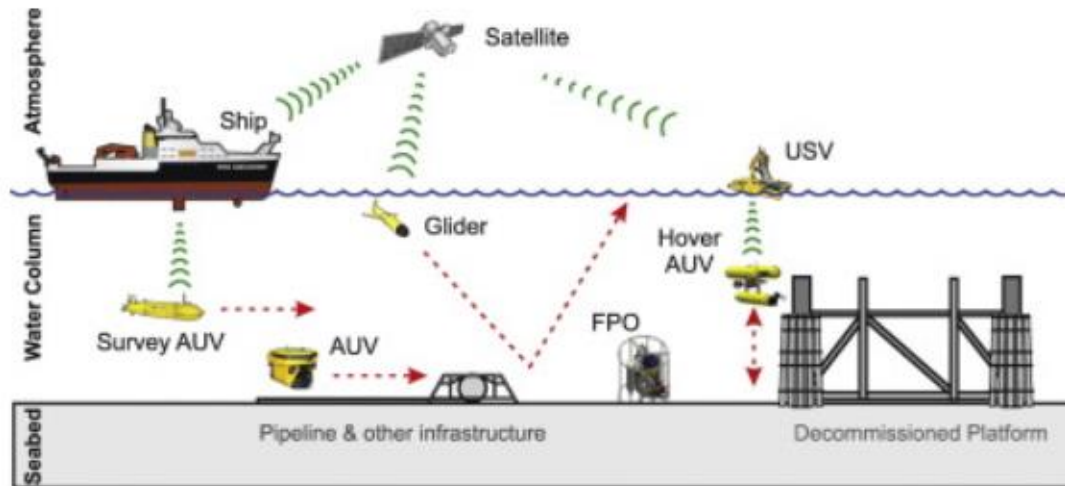
Διάφορα μικρά ROVs όπως τα OpenROV, Seabotix, BlueROV2 κ.α., που είναι low-cost πραγματοποιούν μαζικά επιχειρήσεις χαρτογράφησης και φωτογραμμετρικής τεκμηρίωσης βυθού. Στην **Εικόνα 2.9** φαίνονται μερικά από αυτά.



Εικόνα 2.9: Mini commercial Rovs BlueROV2 (αριστερά, www.bluerobotics.com) και Seabotix (δεξιά, www.teledynemarine.com)

3. Μέρη του Συστήματος

Όπως περιγράφεται αναλυτικά στα προηγούμενα κεφάλαια, συστήματα για underwater mapping και άλλες τέτοιες εφαρμογές χρειάζονται απαραίτητα ένας κεντρικό σκάφος, σκάφη επιφάνειας και υποβρύχια αυτόνομα σκάφη. Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται τα διάφορα μέρη του συστήματος για ένα τέτοιο σύστημα.



Εικόνα 3.1: Μέρη ενός υποβρυχίου συστήματος πλοήγησης [34]

Πέρα από τα κεντρικά στοιχεία του συστήματος, υπάρχουν επίσης πολλά που δεν είναι διακριτά στην παραπάνω εικόνα. Τέτοια είναι οι αισθητήρες για μέτρηση για προσδιορισμό διαφόρων εξωτερικών παραμέτρων (περιγράφονται αναλυτικά πιο κάτω), οι κεραίες για επικοινωνία διαφόρων μερών του συστήματος, αισθητήρας lidar (για το underwater mapping) και το πιο βασικό που είναι κάποια πλατφόρμα (mini υπολογιστής) που χρησιμοποιείται από το μη επανδρωμένο υποβρύχιο όχημα ώστε να προγραμματίζεται κατάλληλα για να επεξεργάζεται τις διάφορες πληροφορίες αλλά και για να επικοινωνεί με τα υπόλοιπα μέρη του συστήματος. Όλα τα παραπάνω στοιχεία του συστήματος θα αναλυθούν στις επόμενες ενότητες.

Στην εικόνα 3.1 φαίνονται διάφορα στοιχεία τα οποία στο προτεινόμενο σύστημα που πραγματεύεται αυτή η εργασία δεν θα χρησιμοποιηθούν. Πιο συγκεκριμένα, μόνο το κεντρικό σκάφος, σκάφη επιφάνειας (ASV) και αυτόνομα μη επανδρωμένα οχήματα (AUV) θα χρησιμοποιηθούν.

3.1. Αισθητήρες

Τα υποθαλάσσια οχήματα, επανδρωμένα ή όχι, αυτόνομα ή τηλεκατευθυνόμενα, για να μπορέσουν να ικανοποιήσουν τις διάφορες λειτουργίες που εξυπηρετούν, έχουν ενσωματωμένους από έναν έως αρκετούς αισθητήρες. Στο πλαίσιο της συγκεκριμένης εργασίας, η προσοχή θα επικεντρωθεί στους αισθητήρες που ενσωματώνονται σε υποβρύχια οχήματα και στοχεύουν στη χαρτογράφηση αντικειμένων, περιοχών ενδιαφέροντος ή και στη τρισδιάστατη αναπαράσταση του βυθών. Οι συγκεκριμένοι αισθητήρες είναι συνήθως είτε καταγραφής είτε πλοήγησης [35].

Η πλειονότητα των αισθητήρων πλοήγησης που ενσωματώνονται στα υποβρύχια οχήματα διευκολύνουν την λήψη και μετάδοση ακουστικών σημάτων. Οι πιο διαδεδομένοι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται για την μετάδοση ηχητικών σημάτων είναι τα υδρόφωνα. Οι αναμεταδότες αυτοί, γνωστοί και ως transponders ή transducers τοποθετούνται πάνω στο υποθαλάσσιο όχημα είτε μεμονωμένοι είτε σε συστοιχίες και λειτουργούν συνδυαστικά με ένα δίκτυο τουλάχιστον τριών άλλων αναμεταδοτών γνωστών συντεταγμένων και τοποθετημένων στον πυθμένα ή σε κάποιο σκάφος υποστήριξης, ανάλογα με την επιλογή του συστήματος πλοήγησης. Με μέτρηση της ταχύτητας του ήχου στο νερό και του χρόνου μετάδοσης ενός κύματος μεταξύ των αναμεταδοτών προκύπτουν οι αποστάσεις μεταξύ πομπών και δεκτών και με επίλυση τριπλευρισμών προκύπτει η θέση του υποβρύχιου οχήματος [35].

Η συχνότητα δειγματοληψίας των ηχητικών σημάτων είναι ο βασικός παράγοντας που καθορίζει την τελική ακρίβεια στον προσδιορισμό θέσης. Σε υψηλότερες συχνότητες, δηλαδή σε περισσότερες παρατηρήσεις, ενώ αυξάνεται η αξιοπιστία του αποτελέσματος, αναπόφευκτα μειώνεται η εμβέλεια του συστήματος, λόγω της γρηγορότερης εξασθένησης των ηχητικών κυμάτων μικρότερου μήκους στο νερό. Αντίθετα, οι χαμηλότερες συχνότητες επιλέγονται σε εφαρμογές μεγαλύτερου εύρους και μικρότερων απαιτήσεων σε ακρίβεια. Σε μία τυπική αποστολή ενός υποβρύχιου οχήματος, το εύρος συχνοτήτων κυμαίνεται από 0.3 έως 1.0 Hz. Για τη μέτρηση του βάθους ενός υποβρύχιου οχήματος προσαρμόζονται μανόμετρα, που μετρούν την υδροστατική πίεση. Η ακρίβεια ενός αξιόπιστου μανομέτρου αντιστοιχεί στο 0.01% της κλίμακάς του και αντίστοιχα η ακρίβεια στον προσδιορισμό του βάθους είναι ανάλογη του βάθους, σε μια συχνότητα περίπου 8 Hz. Αυτό σημαίνει ότι τα επίπεδα ακρίβειας στον προσδιορισμό του βάθους μανομετρικά είναι υψηλότερα από ότι στον προσδιορισμό της απόστασης με ηχοβολιστικές μεθόδους [35].

Για να προστεθούν επιπλέον παρατηρήσεις στην διαδικασία προσδιορισμού θέσης ενός υποθαλάσσιου οχήματος, σημαντική βοήθεια παρέχουν οι μεταβολές στη συχνότητα των ηχητικών κυμάτων λόγω της κίνησης του πομπού σε σχέση με τον δέκτη (γνωστό και ως φαινόμενο Doppler). Αν το υποβρύχιο θεωρηθεί ως πομπός και ο πυθμένας που ανακλά το ηχητικό σήμα αντιμετωπιστεί σαν δέκτης, η τιμή της σχετικής ταχύτητας του οχήματος προς τον βυθό, προσδιορίζεται με τον εντοπισμό της πιο ισχυρής ανάκλασης που φτάνει στο όχημα, αυτής δηλαδή του πυθμένα, μέσω του αισθητήρα DVL (

Doppler Velocity Log). Οι αισθητήρες DVL διαθέτουν τουλάχιστον τρεις πομποδέκτες στη διάταξη τους που στέλνουν και λαμβάνουν ηχητικά κύματα [36].

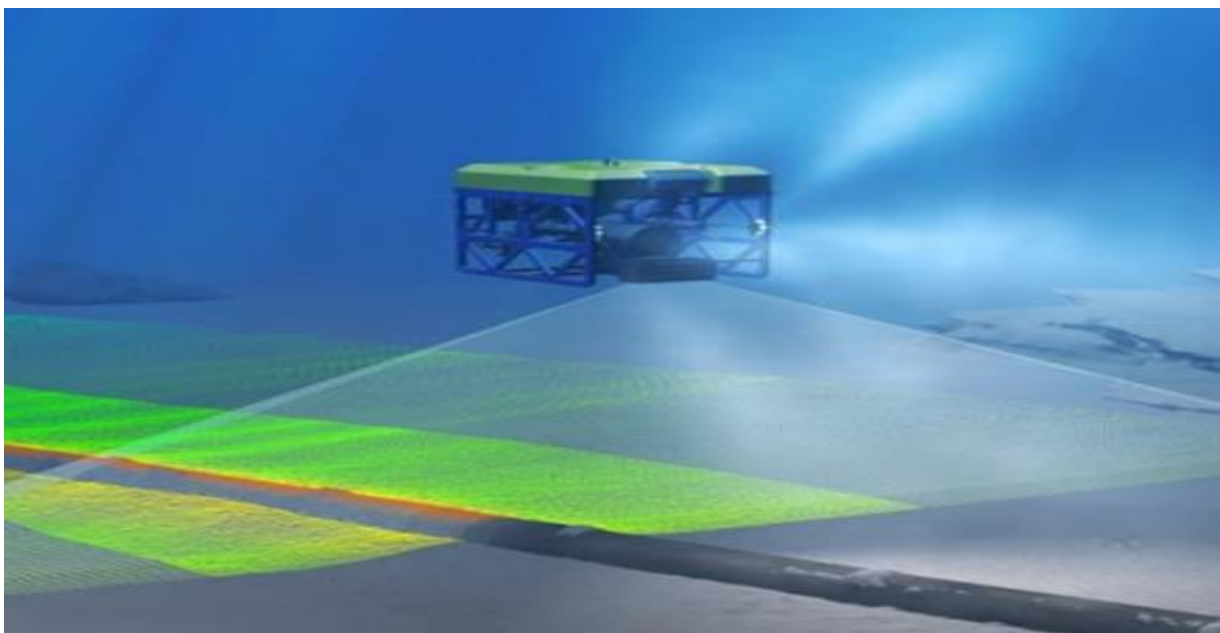
Με ταυτόχρονη χρήση πυξίδας είναι εφικτός ο προσδιορισμός της θέσης του οχήματος σε σχέση με τον πυθμένα, ενώ με αφετηρία το σύστημα αναφοράς του οχήματος, με συνδυασμό δηλαδή των παρατηρήσεων DVL και LBL ή USBL, γίνεται δυνατή η ακριβέστερη εκτίμηση της γεωγραφικής θέσης του οχήματος, με ακρίβειες που φτάνουν την τάξη των μερικών εκατοστών. Οι αισθητήρες DVL είναι κατάλληλοι για την παρακολούθηση βυθών, όταν επιδρούν με τον πυθμένα και βρίσκονται σε λειτουργική απόσταση από αυτόν και κατάλληλοι για την παρακολούθηση υδάτων όταν επιδρούν με τα ρεύματα ή τα σωματίδια της υδάτινης στήλης. Οι DVL είναι χρήσιμοι τόσο για ακριβέστερη πλοήγηση και προσδιορισμό θέσης του οχήματος υποβρυχίως, όσο και για το αντίθετο πρόβλημα, της χαρτογράφησης του πυθμένα οι παρατηρήσεις. Δηλαδή έχουν ταυτόχρονη χρήση και στη θέση του οχήματος ως προς τον πυθμένα αλλά και στην αποτύπωση του πυθμένα σε σχέση με το όχημα. Οι αισθητήρες DVL εκπέμπουν από 300 έως 1200 KHz, με εμβέλεια από 0.5 έως 200 m, ανάλογα της συχνότητας εκπομπής [37].

Από τα πιο γνωστά συστήματα εντοπισμού θέσης είναι τα αδρανειακά συστήματα πλοήγησης (Inertial Navigation Systems - INS). Το σύνολο των αισθητήρων που χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό ονομάζεται Αδρανειακή Μονάδα Μέτρησης, Inertial Measurement Unit (IMU) και αποτελείται από ένα τριαξονικό επιταχυνσιόμετρο για τη μέτρηση της ταχύτητας του κινούμενου αντικειμένου, ένα τριαξονικό γυροσκόπιο για τη μέτρηση της γωνιακής ταχύτητας και τον προσδιορισμό της γωνίας διεύθυνσης της κίνησης, ένα τριαξονικό μαγνητόμετρο για τη διόρθωση της μετατόπισης του γυροσκοπίου καθώς και ένα βαρόμετρο για την αλλαγή της ατμοσφαιρικής πίεσης σε υψομετρική. Μία τυπική διάταξη IMU αισθητήρων έχει ρυθμό ανανέωσης από 100 έως 1.000 Hz, πολύ ταχύτερο δηλαδή των LBL, USBL, DVL. Η βαθμονόμηση του συστήματος IMU είναι σημαντική ανά διαστήματα για την σταθερότητα της τροχιάς του οχήματος και το αφανισμό των σωρευτικών σφαλμάτων, όπως είναι η ολίσθησης και ο θόρυβος [38].

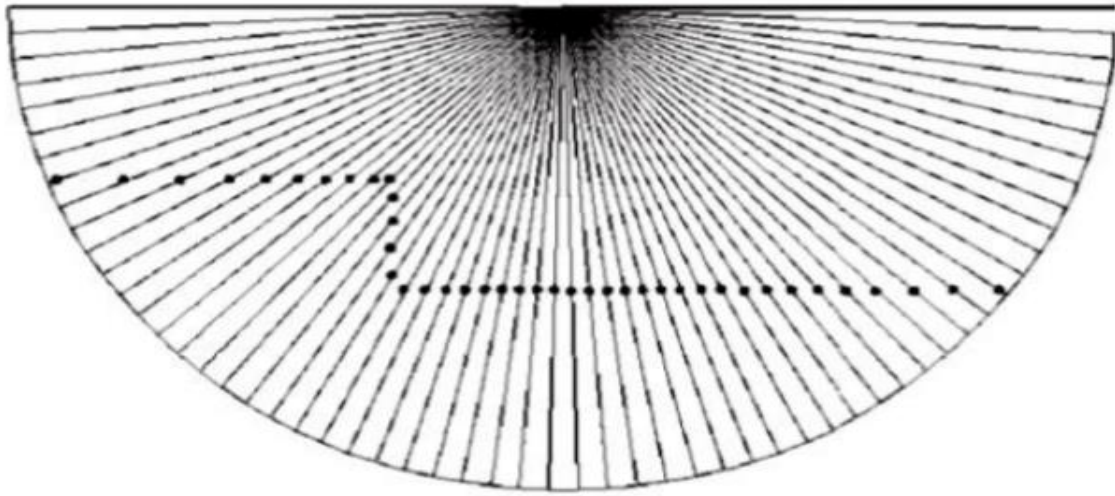
Οι αισθητήρες καταγραφής γεωμετρικής πληροφορίας που συχνά διαθέτει ένα μη επανδρωμένο υποθαλάσσιο όχημα χρησιμοποιούν ηχοβολιστικές τεχνικές, και εκπέμπουν ηχητικά κύματα σε διάφορες διευθύνσεις. Οι συχνότεροι τύποι ηχοβολιστικών συσκευών είναι τα ηχοβολιστικά απλής δέσμης (single beam sonar), τα ηχοβολιστικά πολλαπλής δέσμης (multibeam echosounder), τα ηχοβολιστικά πλευρικής σάρωσης (side scan sonar) και οι ακουστικοί τομογράφοι υποδομής πυθμένα (sub-bottom profilers). Τα ηχοβολιστικά απλής δέσμης, η πιο παλιά μορφή των sonar, προκαλούν μία κατακόρυφη δέσμη ηχητικών κυμάτων, σε συχνότητες που κυμαίνονται από 50 έως 500 KHz περίπου, με τις υψηλές συχνότητες να αποδίδουν υψηλή ακρίβεια σε χαμηλότερη απόσταση από το αντικείμενο και τις μικρές συχνότητες να έχουν εφαρμογή σε μεγαλύτερα βάθη, με μειωμένη ακρίβεια. Σε περιπτώσεις ρευμάτων, απώλειας προσανατολισμού ή στροφών των οχημάτων, με στόχο την διατήρηση της δέσμης κατακόρυφα, τοποθετούνται παράλληλα γυροσκοπικοί μηχανισμοί στους

αισθητήρες απλής δέσμης που προσαρμόζονται στα υποβρύχια οχήματα. Τα ηχοβολιστικά πολλαπλής δέσμης εκπέμπουν ηχητικά σήματα εκτιμώντας τους χρόνους επιστροφής τους, όπως και τα ηχοβολιστικά απλής δέσμης, αλλά σε πολλαπλές δέσμες με μεγάλη γωνία πρόσπτωσης, διαγράφουν διατομές εγκάρσιες στην πορεία του οχήματος. Τα ηχητικά σήματα εκπέμπονται πολλές φορές το δευτερόλεπτο και η συχνότητα εκπομπής εξαρτάται από την απόσταση μεταξύ του αντικειμένου και του αισθητήρα. Η μεγάλη πυκνότητα των ηχοβολιστικών δεσμών των multibeam sonars, η δυνατότητα εκπομπής υψηλών συχνοτήτων, η υψηλή ταχύτητα κάλυψης μεγάλων περιοχών, η ικανότητα καταγραφής σύνθετων δομών πέραν του πυθμένα, καθιστούν τα πολυδεσμικά sonars το πιο αποτελεσματικό όργανο συλλογής γεωμετρικής πληροφορίας. Ωστόσο, έχουν υψηλό κόστος και δεν μπορούν να ανταγωνιστούν τις τεχνολογίες που βασίζονται στην οπτική (vision-based), με εφαρμογή των οποίων επιτυγχάνονται καλύτερα αποτελέσματα ανάλυσης και ακρίβειας [38].

Τα ηχοβολιστικά πλευρικής σάρωσης παράγουν ηχητικά κύματα καθέτως του άξονα της πορείας του υποθαλάσσιου οχήματος, δημιουργώντας μία αμβλεία κωνική δέσμη ήχου που αποτυπώνει στον πομποδέκτη του αισθητήρα την μορφολογία του πυθμένα έπειτα από ανάκλαση. Σε αντίθεση με τα ηχοβολιστικά απλής δέσμης και τα ηχοβολιστικά πολλαπλής δέσμης που καταγράφουν τους χρόνους άφιξης των επιστρεφόμενων σημάτων, τα ηχοβολιστικά πλευρικής σάρωσης καταγράφουν την ισχύ τους και την αποδίδουν σε ανακλαστικότητα πυθμένα. Η πλάγια πρόσπτωση της ηχητικής δέσμης προσομοιάζει την πλάγια πρόσπτωση του φωτός ενός προβολέα σε μια επιφάνεια. Τα αντικείμενα και οι ατέλειες του πυθμένα εστιάζονται περισσότερο και έτσι εμφανίζονται πιο φωτεινά κατά την καταγραφή τους. Οι συχνότητες που εκπέμπουν τα ηχοβολιστικά πλευρικής σάρωσης κυμαίνονται από 100 έως 500 KHz, οι υψηλότερες συχνότητες αποδίδουν μεγαλύτερη ανάλυση αλλά σε μικρότερη εμβέλεια [36].

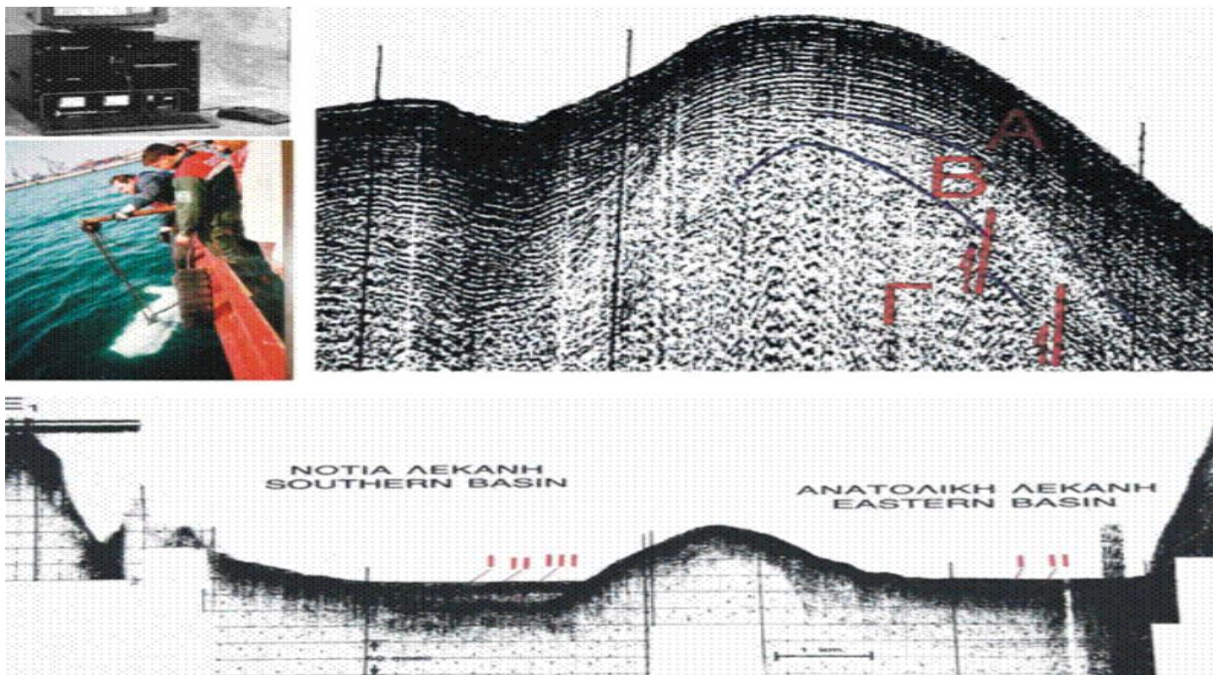


Εικόνα 3.2: Ηχοβολιστικά πολλαπλής δέσμης [36].



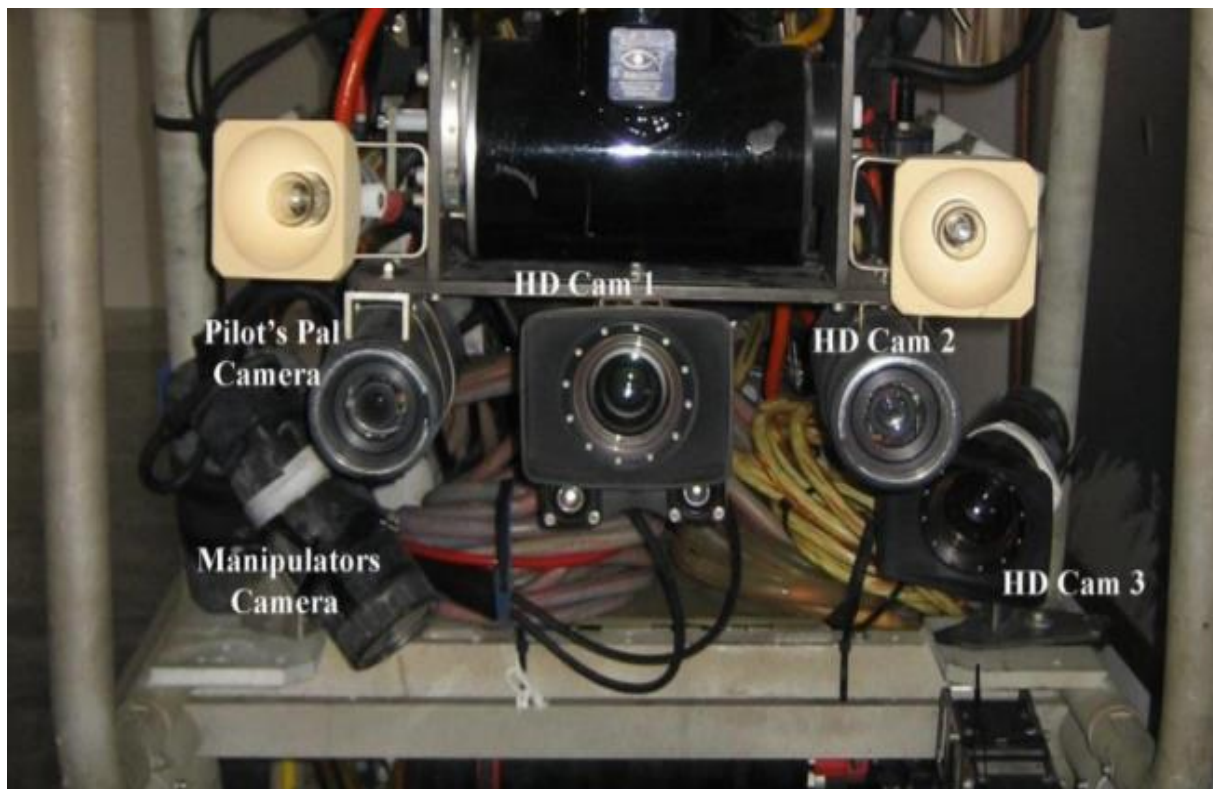
Εικόνα 3.3: Ηχοβολιστικά πλευρικής σάρωσης [36].

Η τελευταία κατηγορία ηχοβολιστικών οργάνων χρησιμοποιείται κατά βάση για την αποτύπωση της στρωματογραφίας του πυθμένα είναι οι ακουστικοί τομογράφοι πυθμένα. Τα ηχητικά κύματα που παράγει ένας ακουστικός τομογράφος εισχωρούν στα ιζήματα του πυθμένα, ανιχνεύοντας από τα υδρόφωνα του και ανακλώντας ασυνέχειες στο εσωτερικό των ιζημάτων. Τα αποτελέσματα αυτών των τομογράφων είναι συνήθως τομές του πυθμένα όπου βρίσκονται σχετικά ευρήματα και αποδίδουν την ένταση κάθε ανάκλασης.



Εικόνα 3.4: Τομές πυθμένα από ακουστικό τομογράφο [36].

Σε ότι αφορά τους αισθητήρες καταγραφής εικόνας, οι κάμερες είναι ένα βασικό μέλος των μερών ενός μη επανδρωμένου υποβρύχιου οχήματος, καθώς αποτελούν το μέσο διαχείρισης τους. Η ραγδαία ανάπτυξη της υποβρύχιας φωτογραφίας αποτελεί τα τελευταία χρόνια μεγάλη πρόκληση για την υποβρύχια τεχνολογία, κερδίζοντας συνεχώς έδαφος στην πλοήγηση και την λεπτομερή και ακριβή γεωμετρική τεκμηρίωση του υποβρύχιου χώρου. Σε περιπτώσεις μεγάλης απόστασης αισθητήρα-αντικειμένου, ως λύση διατηρείται ο ηχοβολισμός. Σε περιπτώσεις αποστάσεων κατάλληλων για την καταγραφή οπτικής πληροφορίας, ακόμα και με ελάχιστο ή μηδενικό φωτισμό, η τρισδιάστατη αποτύπωση γίνεται σε υψηλά επίπεδα ανάλυσης και ακρίβειας, με τεχνικές επεξεργασίας εικόνας. Για τη λήψη εικόνων υποβρυχίως χρησιμοποιούνται μηχανές RGB υψηλής ανάλυσης (HD, UHD), κυρίως CCD αισθητήρων λόγω του χαμηλού κόστους τους, με φακούς πολλαπλών μεγεθών, κυρίως ευρυγώνιους λόγω περιορισμών στην απόσταση μεταξύ φακού και αντικειμένου. Κατασκευαστικά, οι μηχανές που των υποβρυχίων οχημάτων έχουν μικρό όγκο και το περίβλημά τους, είτε είναι υδατοστεγή θήκη είτε είναι κατασκευασμένο να αντέχει τις πιέσεις σε μεγάλα βάθη. Τα υποβρύχια οχήματα συνήθως έχουν αρκετές κάμερες. Συγκεκριμένα, τα ROV οχήματα έχουν μία ή παραπάνω κάμερες, μικρής ανάλυσης για τη μετάδοση εικόνας στην επιφάνεια σε πραγματικό χρόνο κατά την πλοήγηση, και διαθέτουν και τα συστήματα καμερών υψηλής ανάλυσης για την χαρτογράφηση και τη τρισδιάστατη ανακατασκευή του χώρου. Η κάμερες ή τα συστήματα καμερών, βαθμονομούνται, για λόγους αποκατάστασης της εσωτερικής γεωμετρίας των μηχανών και για την απόδοση κλίμακας στο αντικείμενο κατά την επεξεργασία των εικόνων. Οι ιδιότητες του υγρού στοιχείου, όπως η απορρόφηση, η διάθλαση και η σκέδαση του φωτός αποτελούν σημαντικούς παράγοντες στην επεξεργασία της υποβρύχιας εικόνας και ο προσδιορισμός των παραμέτρων αυτών όπως και η διόρθωσή τους συνιστούν αντικείμενο έρευνας [39].



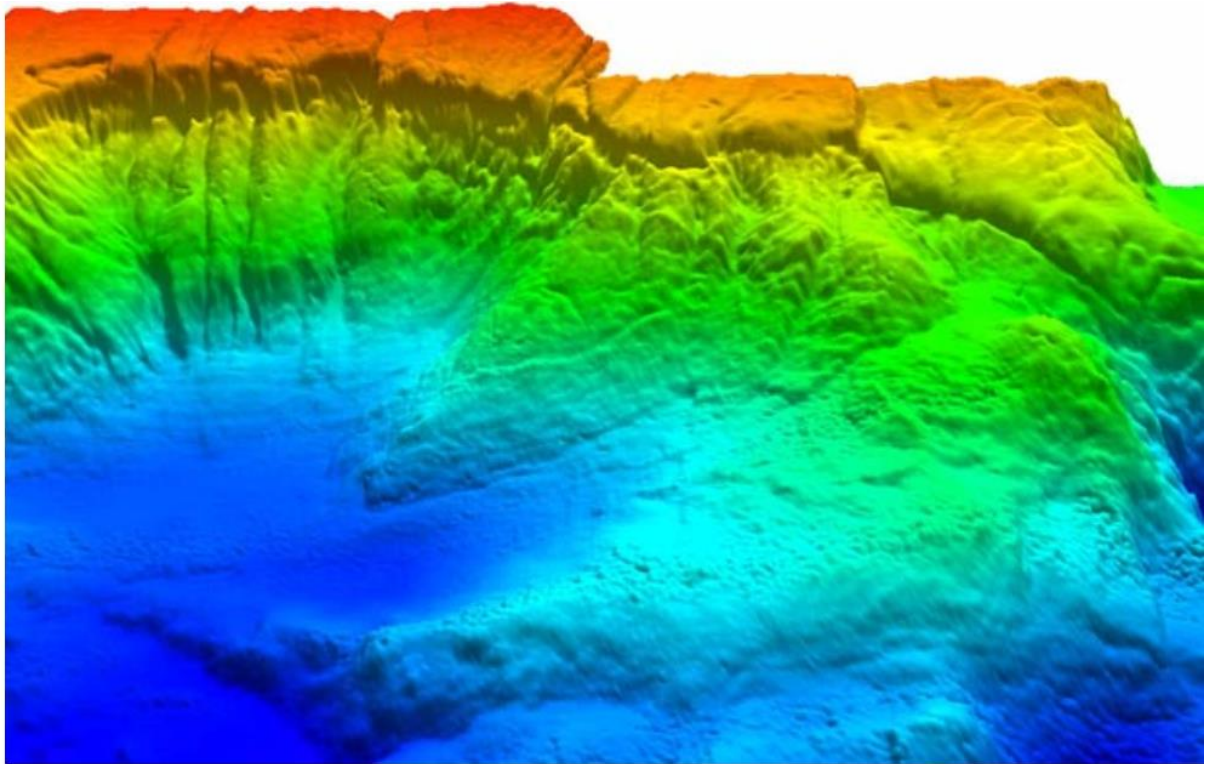
Εικόνα 3.5: Διάταξη καμερών υποβρυχίου οχήματος [39].

3.2. Αισθητήρας Lidar

Τα Lidar πήραν την ονομασία τους από τον όρο ‘Light Detection and Ranging’ ενώ μπορεί να αναφερθούν και ως Radar Laser. Η τεχνική αυτή βασίζεται ουσιαστικά στην εκπομπή χιλιάδων παλμών λέιζερ σε κάποιο χώρο (στην προκειμένη περίπτωση μέσα στην θάλασσα) που αντανακλώνται και επιστρέφουν πίσω και συλλέγονται. Μερικά από τα πλεονεκτήματα των lidar είναι τα εξής [40]:

- Η πληροφορία συλλέγεται γρήγορα και με μεγάλη ακρίβεια.
- Η πληροφορία για το έδαφος είναι δύσκολο να αποτυπωθεί με ακρίβεια χωρίς την χρήση lidar.
- Είναι εύκολη η τοποθέτηση τους σε υποβρύχια συστήματα.
- Μπορούν να χρησιμοποιηθούν καθ’ όλη την διάρκεια της μέρας λόγω της χρήσης ενεργούς ακτινοβολίας.

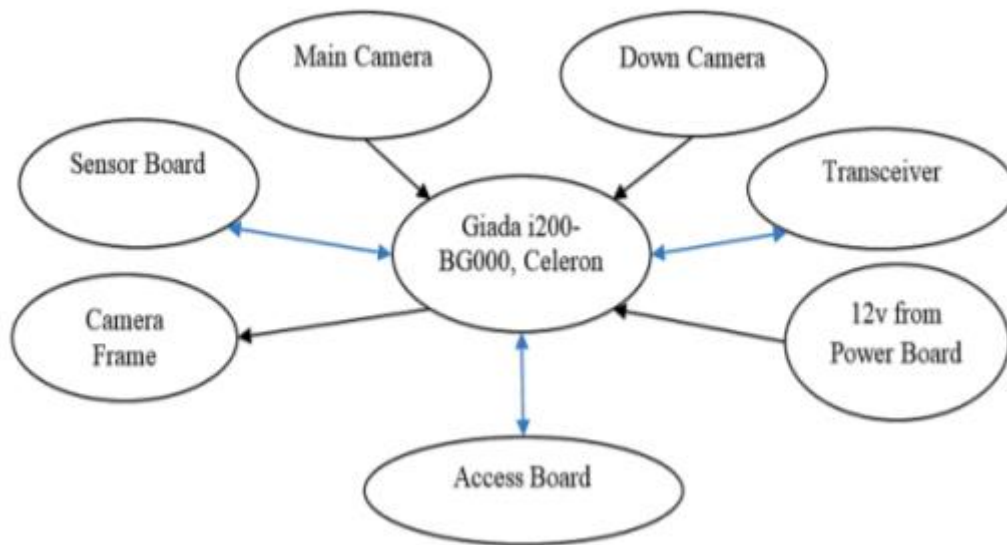
Στην εικόνα 3.6 φαίνεται ένα παράδειγμα από την χρήση lidar για underwater mapping και φαίνεται με αρκετή λεπτομέρεια το έδαφος της θάλασσας.



Εικόνα 3.6: Αποτύπωση εδάφους βυθού με χρήση lidar [41].

3.3. Mini Υπολογιστής

Τα AUVs για την εύρυθμη λειτουργίας τους χρησιμοποιούν κάποια πλατφόρμα στην οποία είναι τοποθετημένοι όλοι οι αισθητήρες, κάμερες, κεραίες και η μπαταρία για ελέγχονται με κάποιο λειτουργικό σύστημα. Ουσιαστικά η λειτουργία αυτού του υπολογιστή είναι η επεξεργασία και αποστολή των συλλεγμένων πληροφοριών και έλεγχος του AUV με τους διαφόρους αισθητήρες. Στην εικόνα 3.7 φαίνεται ένα σχεδιάγραμμα με τον mini υπολογιστή Giada i-200 BG000, Celeron και τα διάφορα άλλα μέρη που είναι συνδεδεμένα με αυτόν [40].



Εικόνα 3.7: Σχεδιάγραμμα mini υπολογιστή και υπολοίπων μερών του συστήματος [40].

3.4. Λοιπά μέρη του συστήματος

Απαραίτητη για την λειτουργία των AUVs είναι η μπαταρία. Οι μπαταρίες που χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο είναι οι ιόντων λιθίου. Το λίθιο ως μέταλλο είναι ελκυστικό σαν υλικό ανόδου στην μπαταρία λόγω του ελαφριού του βάρους, της υψηλής τάσης που παρουσιάζει, της υψηλής ηλεκτροχημικής ισοδυναμίας και της καλής αγωγιμότητάς του. Λόγω αυτών των εξαιρετικών χαρακτηριστικών του έχει κυριαρχήσει σε σχέση με άλλες μπαταρίες. Τα μεγέθη των μπαταριών λιθίου κυμαίνονται από 5mAh μέχρι 10.000 mAh. Τα πρωτογενή στοιχεία που χρησιμοποιούν ανόδους λιθίου έχουν πολλά πλεονεκτήματα έναντι των συμβατικών μπαταριών. Τα πλεονεκτήματα είναι:

- Υψηλή τάση. Οι μπαταρίες λιθίου έχουν τάσεις μέχρι περίπου 4 Volt ανά στοιχείο ανάλογα με το υλικό καθόδου σε σύγκριση με άλλα πρωτεύοντα συστήματα μπαταριών που έχουν 1,5Volt. Έτσι η υψηλότερη τάση μειώνει τον αριθμό των στοιχείων σε μια μπαταρία.
- Υψηλή πυκνότητα ενέργειας. Η παραγωγή ενέργειας από μια μπαταρία λιθίου είναι τουλάχιστον δυο φορές περισσότερη από άλλες μπαταρίες.
- Λειτουργία σε ένα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών. Πολλές από τις μπαταρίες λιθίου αποδίδουν σε ένα εύρος θερμοκρασιών από - 40 βαθμούς Κελσίου έως και 70.
- Καλή πυκνότητα ισχύος. Μερικές από τις μπαταρίες λιθίου είναι σχεδιασμένες με την ικανότητα να παραδώσουν την ενέργεια σε υψηλά επίπεδα ρεύματος και ισχύος.

Επίπεδη εκφόρτιση. Μια επίπεδη καμπύλη αποφόρτισης(σταθερή τάση και αντίσταση στο μεγαλύτερο μέρος εκφόρτισης) είναι χαρακτηριστική για πολλές μπαταρίες λιθίου.

Ανώτερη διάρκεια ζωής. Οι μπαταρίες λιθίου μπορούν να αποθηκεύουν για μεγάλο χρονικό διάστημα ακόμα και σε υψηλές θερμοκρασίες.

Εξίσου σημαντικό εξάρτημα για την λειτουργία των AUVs είναι οι κινητήρες. Χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες, κινητήρες συνεχούς ρεύματος και κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος. Στην παρούσα εργασία θα ασχοληθούμε μόνο με την πρώτη κατηγορία.

Οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος είναι συσκευές που μετατρέπουν την ηλεκτρική ισχύ που παίρνουν από την μπαταρία σε μηχανική και κατ' επέκταση σε προωθητική δύναμη, ώση δηλαδή, με την χρήσης έλικας. Ουσιαστική η λειτουργία ενός κινητήρα επιτυγχάνεται με την χρήση μαγνητών που αλληλεπιδρούν με αγωγούς που διαρρέονται από ηλεκτρικό ρεύμα. Τα τέσσερα βασικά στοιχεία που αποτελούν έναν τέτοιο κινητήρα είναι: δρομέας, στάτορας, ψήκτρεις και συλλέκτης. Η λειτουργία του έχει ως εξής, μέσω των ψηκτρών το ρεύμα παρέχεται στον συλλέκτη για να σχηματίσει ένα κύκλωμα μεταξύ της ηλεκτρικής πηγής και τον οπλισμό των περιελίξεων πηνίου κινητήρα. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται ένας ηλεκτρομαγνήτης ο οποίος λειτουργεί ως ρότορας. Ο στάτορας είναι το κέλυφος του κινητήρα και είναι επενδυμένο με μόνιμους μαγνήτες αντίθετης πολικότητας. Ως αποτέλεσμα της έλξης και της άπωσης περιστρέφεται. Καθώς ο οπλισμός περιστρέφεται, ο συλλέκτης αντιστρέφει την πολικότητα του ηλεκτρομαγνήτη και ο οπλισμός συνεχίζει να περιστρέφεται. Το σημαντικότερο χαρακτηριστικό των προωθητικών συστημάτων είναι ο λόγος της ισχύος προς την μονάδα του βάρους. Επομένως, οι ηλεκτροκινητήρες πρέπει να είναι ελαφριοί και με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη παρεχόμενη ισχύ. Για αυτό το λόγο έχουν δημιουργηθεί δύο βασικές κατηγορίες κινητήρων συνεχούς ρεύματος, οι Coreless DC κινητήρες και οι Brushless DC κινητήρες. Στην παρούσα εργασία θα ασχοληθούμε μόνο με την δεύτερη κατηγορία.

4. Επιλογή μερών του συστήματος

4.1. Πλατφόρμα για έλεγχο του AUV

Το πιο σημαντικό μέρος του συστήματος για την αυτόνομη λειτουργία του υποβρύχιου σκάφους είναι η πλατφόρμα η οποία θα ελέγχει το σκάφος. Για την συγκεκριμένη εφαρμογή οι απαιτήσεις είναι αυξημένες καθώς χρειάζεται μια πλατφόρμα η οποία όχι μόνο μπορεί να διαχειριστεί πολύπλοκους κώδικες αλλά να μεταφέρει και να επεξεργαστεί γρήγορα και αξιόπιστα την πληροφορία.

Απάντηση σε αυτές τις απαιτήσεις δίνει η πλατφόρμα της NVIDIA Jetson AGX Xavier. Αυτή την στιγμή είναι η πιο αξιόπιστη πλατφόρμα για αυτόνομες εφαρμογές. Διαθέτει CPU με 8 πυρήνες και η μονάδα επεξεργασίας γραφικών (GPU) βασίζεται στην αρχιτεκτονική της Volta και διαθέτει 512 πυρήνες. Η μέση καταναλωμένη ισχύς είναι κάτω των 30 W. Στην εικόνα 4.1 φαίνεται η συγκεκριμένη πλατφόρμα.



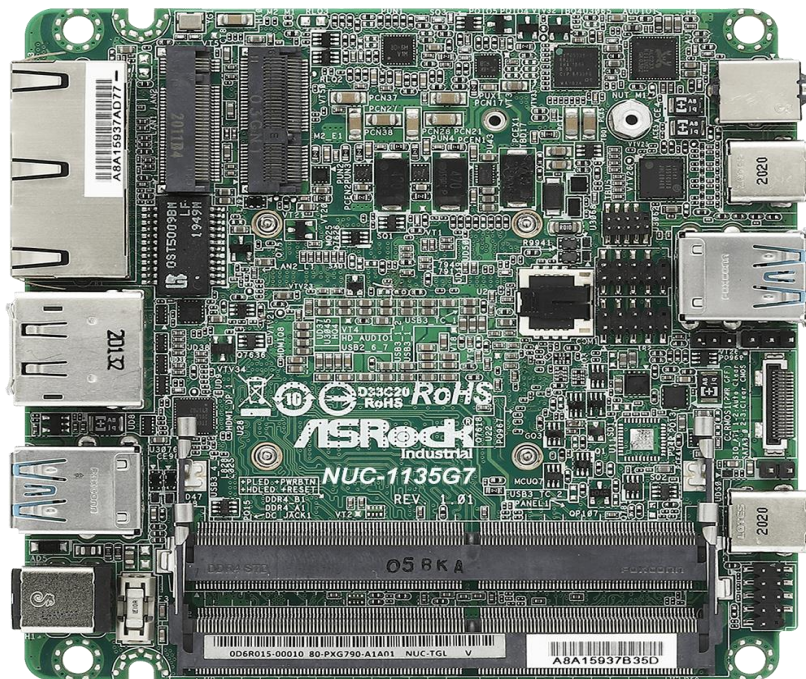
Εικόνα 4.1: Jetson AGX Xavier platform [42]

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά πέρα από την CPU και την GPU φαίνονται στην εικόνα 4.2.

JETSON AGX XAVIER	
GPU	512-core Volta GPU with Tensor Cores
CPU	8-core ARM v8.2 64-bit CPU, 8MB L2 + 4MB L3
Memory	32GB 256-Bit LPDDR4x 137GB/s
Storage	32GB eMMC 5.1
DL Accelerator	(2x) NVDLA Engines
Vision Accelerator	7-way VLIW Vision Processor
Encoder/Decoder	(2x) 4Kp60 HEVC/(2x) 4Kp60 12-Bit Support
Size	105 mm x 105 mm x 65 mm
Deployment	Module (Jetson AGX Xavier)

Εικόνα 4.2: Τεχνικά χαρακτηριστικά Jetson AGX Xavier [42]

Επίσης πολύ αξιόπιστη πλατφόρμα για τέτοιες εφαρμογές είναι της Intel η NUC11 Extreme Kit το οποίο φαίνεται στην εικόνα 4.3 και τα χαρακτηριστικά στην εικόνα 4.4.



Εικόνα 4.3: NUC11 Extreme Kit [43]

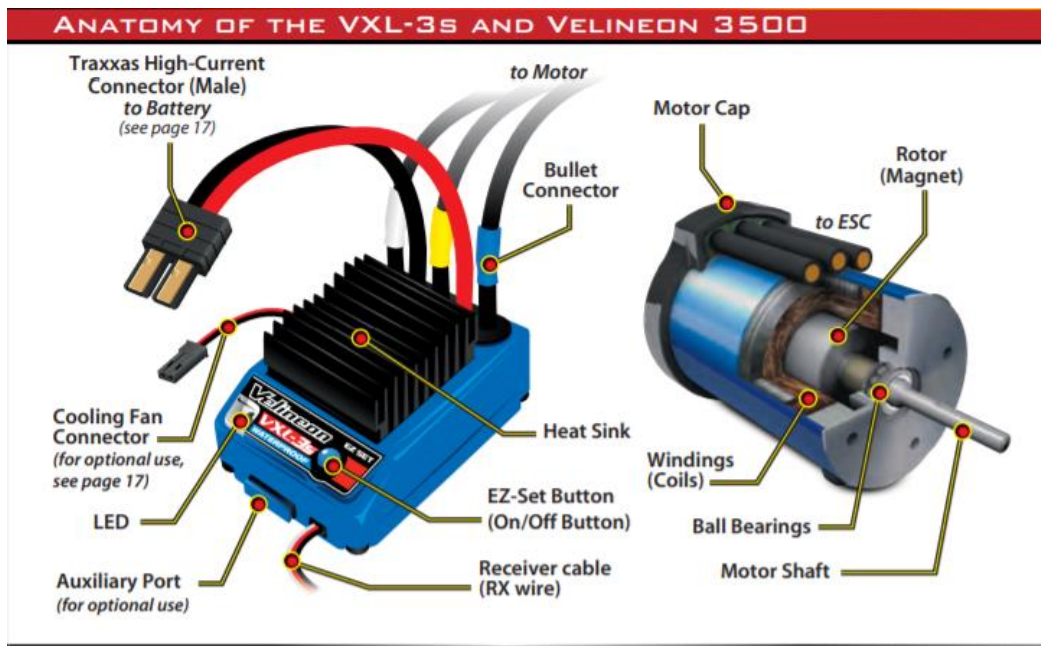
Supported Operating Systems	Windows 10, 64-bit*
Board Number	NUC11DBBi7
Board Form Factor	PCIe
Internal Drive Form Factor	M.2 SSD
# of Internal Drives Supported	4
Lithography ⓘ	10 nm
TDP ⓘ	65 W
# of Cores ⓘ	8
# of Threads ⓘ	16
Processor Base Frequency ⓘ	3.20 GHz
Max Turbo Frequency ⓘ	4.80 GHz

Εικόνα 4.4: Τεχνικά χαρακτηριστικά NUC11 Extreme Kit [43]

Και οι δύο πλατφόρμες παρουσιάζουν πλεονεκτήματα αλλά για την συγκεκριμένη εφαρμογή όπου η κατανάλωση της ενέργειας παίζει σημαντικό ρόλο εφόσον χρειάζεται αυτονομία το AUV η πλατφόρμα της NVIDIA αποτελεί καλύτερη επιλογή. Επίσης πρέπει να τονισθεί ότι η Jetson AGX Xavier υποστηρίζει λειτουργίες τεχνητής νοημοσύνης σημαντικό πλεονέκτημα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μελλοντικές λειτουργίες.

4.2. Κινητήρες

Η επιλογή των κινητήρων προϋποθέτει πέρα από υψηλή απόδοση ασφάλειας για το σύστημα αλλά και για τους ίδιους τους κινητήρες. Επομένως πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό για το προτεινόμενο σύστημα είναι οι κινητήρες να είναι αδιάβροχοι. Τέτοια επιλογή, δηλαδή που να παρέχει πολύ υψηλή απόδοση αλλά και ασφάλεια είναι VXL-3s and Velineon 3500 της εταιρίας Traxxas. Το συγκεκριμένο σύστημα διαθέτει και electronic speed controls, καλώδια τα οποία συνδέουν τους κινητήρες με την πλατφόρμα για την ασφαλή λειτουργία, κάτι το οποίο δεν είναι δεδομένο για άλλα συστήματα κινητήρων που πρέπει να αγοραστούν ξεχωριστά. Στην εικόνα 4.5 φαίνεται ο συγκεκριμένος κινητήρας.



Εικόνα 4.5: Κινητήρας VXL-3s and Velineon 3500 [44]

Velineon 3500 Specifications:

Type: Sensorless brushless

RPM/volt: 3500 (10-turn)

Magnet type: Ultra High-Temperature
Sintered Neodymium

Connection type: TRX 3.5mm bullet connectors

Wire size: 12-gauge Maxx® Cable w/ solder tabs

Current Ratings: 65A constant; 100A peak/burst

Max RPM: 50,000

Diameter: 36mm (1.42") (540 size)

Length: 55mm (2.165")

Weight: 262g (9.24oz)

Εικόνα 4.6: Χαρακτηριστικά Velineon 3500 [45]

Στην ίδια κατηγορία κινητήρων με αυτό που προαναφέρθηκε είναι ο Castle 3800. Επίσης αδιάβροχος και με electronic speed controllers. Έχει μεγαλύτερη μέγιστη ταχύτητα, 100000 rpm σε σχέση με το Velineon 3500 που έχει 50000 rpm. Στην εικόνα 4.7 φαίνεται ο Castle 3800.



Εικόνα 4.7: Κινητήρας Castle 3800 [45]

Παρόλο που έχει μεγαλύτερη ταχύτητα λόγω του kV rating το οποίο είναι μεγαλύτερο σε σχέση με τον Velineon 3500 έχει μικρότερη ροπή. Τα χαρακτηριστικά του φαίνονται στην εικόνα 4.8.

Technical Specs	
Input Voltage Range:	2-3S LiPo
Kv:	3800
Max. RPM:	100,000
Size:	Length: 52.7mm Diameter: 36mm
Weight (w/wires):	237g / 8.4oz
Shaft Size:	Length: 15.5mm Diameter: 1/8" (3.17mm)
Mounting Hole Specifications:	M3 @ 25mm
Cooling Fan:	Optional, coming soon!
Connectors:	4mm male Castle Bullet Connectors
Items Needed for Operation:	Compatible Electronic Speed Control (ESC)
Application Guidelines:	Ideal for 1:10 scale 2WD and 4WD SCT up to 6.5lb (2S) as well as 1:10 scale buggies and stadium trucks up to 4lbs (2S-3S).
Recommended ESC(s):	Mamba Max Pro, Mamba X, Sidewinder 4

Εικόνα 4.8: Χαρακτηριστικά Castle 3800 [45]

Το Castle έχει ελαφρώς μικρότερο βάρος και υψηλότερη ταχύτητα επομένως σε αυτή την κατηγορία και για τις ανάγκες της συγκεκριμένης εφαρμογής αποτελεί καλύτερη λύση.

4.3. Lidar

Γενικά τα lidar πρέπει να έχουν μεγάλο εύρος όσο αναφορά την απόσταση στην οποία θα φτάνει το laser. Επίσης πρέπει να έχει υψηλό ποσοστό ανίχνευσης καθώς το φως από κάποια άλλη πηγή μπορεί να επηρεάσει το τι θα ανιληφθεί το lidar και να αλλοιώσει το αποτέλεσμα. Επιπρόσθετα τα lidar πρέπει να είναι σε θέση να αντιλαμβάνονται την απόσταση στην οποία βρίσκονται τα αντικείμενα που αντανακλούν τις ακτίνες των laser ώστε να βγάζουν ακριβές αποτέλεσμα. Το lidar που θα επιλεγεί για το προτεινόμενο σύστημα είναι της εταιρίας 3D at Depth η οποία εξειδικεύεται στον συγκεκριμένο χώρο και αποτελεί μια από τις πρωτοπόρες εταιρίες στο 3D mapping και είναι το SL3 το οποίο φαίνεται στην εικόνα 4.9.



Εικόνα 4.9: Lidar SL3 [46]

SL Specifications		
Performance		
Measuring Method	Time of Flight (ToF) Pulsed	Pulse Repetition Rate 40kHz
Range	Min 2m, Max 45m	Turbidity Dependent
Field of View	360° Pan 90° Tilt	30° x 30° Sectors
Single Point Range Precision	±6mm @ 2-40m, 1σ	
Modelled Surface Precision	2mm (subject to methodology)	
Distance Measurement P2P	±2mm, 1σ	in air; calculated distance measurements are ±1mm, 1σ
Angle Precision	<100 μrad, Horiz & Vert	
Beam Divergence, 1/e 2, full width	0.025°	Typical. Varies with water conditions.
Beam Footprint, 1/e 2, full width	@10m = 4.5mm, @20m = 8.6mm	Typical. Varies with water conditions.
Scan Density	Fully selectable in both horizontal and vertical; <1 mm minimum spacing, through full range.	
Max Number of Points per Scan	1450 x 1450	2.1 million points per scan
Pan and Tilt Accuracy	±0.05°	Calibrated Pan & Tilt
Pitch and Roll Accuracy	±0.025°	Dual axis logging
Operating Temperature	-5°C to 35°C	
Laser Class	Class 1 (air) to Class 3B (Subsea)	
Ambient Lighting	Fully operational in bright sunlight and complete darkness	
Point Cloud Format	RIATT (Proprietary data format)	
Power & Communications		
Power Supply	24V DC	110V AC PCI Bottle incl.
Power Consumption	225W at 7.5A DC (incl. Pan & Tilt)	150W at 6A DC (No Pan & Tilt)
Data Transfer	Ethernet GBit LAN	Internal 1TB SSD
Physical Properties		
	Optical Canister (SL2-O)	Electronics Canister (SL2-E)
Pan / Tilt	Pan - 350 deg bi-directional	Tilt +/- 30 Deg Bi-Directional
Length	16.34in 415mm	14.0 in 355mm
Outside Diameter	6.94in 176mm	8.27mm 210mm
Weight	Air: 59.3 lb 26.89kg Water: 36.4 lb 16.51kg	Air: 40.8 lb 18.5 kg Water: 12.9 lb 5.85 kg
Depth	3,000m Standard (4,000m optional)	

Εικόνα 4.10: Χαρακτηριστικά Lidar SL3 [46]

Μια άλλη καλή επιλογή lidar είναι το προϊόν της Newton labs το οποίο επίσης μπορεί να φτάσει τα 4000m. Στην εικόνα 4.11 φαίνεται το M4000UV.



Εικόνα 4.11: Lidar M4000UV [47]

Τα χαρακτηριστικά του lidar της newton labs φαίνονται στην εικόνα 4.12.

Technical Specifications:	
Measurement Range	Up to 5m
ROV/AUV Power Requirements	Requires 24v at less than 1 amp and Gig Ethernet MUX Compatible
Cable	With flying leads or connector as specified.
Weight	45lbs in air, 35 lbs in water
Scanner Dimensions	See drawing below
Control Unit	Newton control unit or laptop
Control Unit Weight	56 lbs (25 kg)
Display	19" (48 cm) Color
Depth Rating	4000 meters

Εικόνα 4.12: Χαρακτηριστικά M4000UV [47]

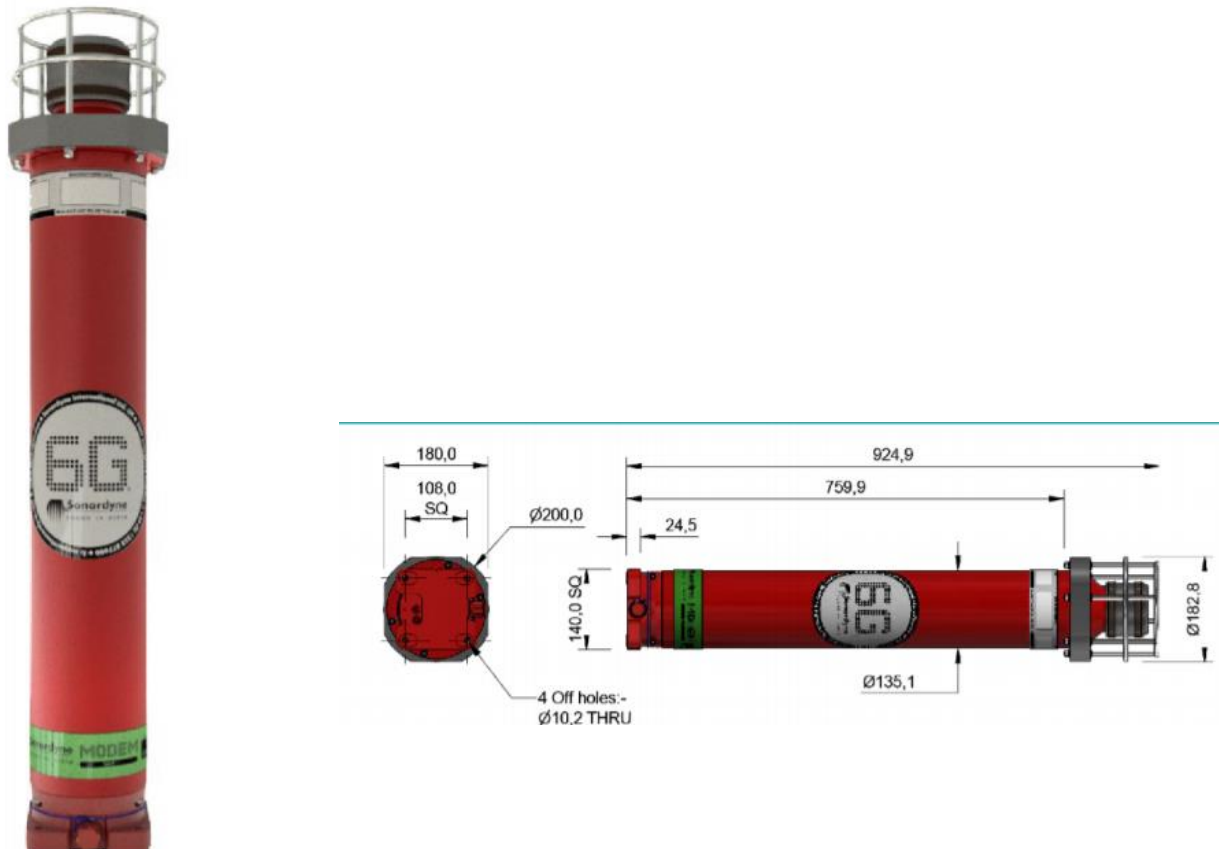
Η ακρίβεια του συγκεκριμένου lidar είναι 0.02mm για αντικείμενα κάτω από το νερό ενώ της 3D depth 0.05mm επομένως αποτελεί και καλύτερη επιλογή.

4.4. Sonar

Τα sonar όπως έχουν εξηγηθεί σε προηγούμενη ενότητα αποτελούν το σύστημα επικοινωνίας κάτω από το νερό. Τα χαρακτηριστικά που πρέπει να έχει ένα καλό sonar είναι:

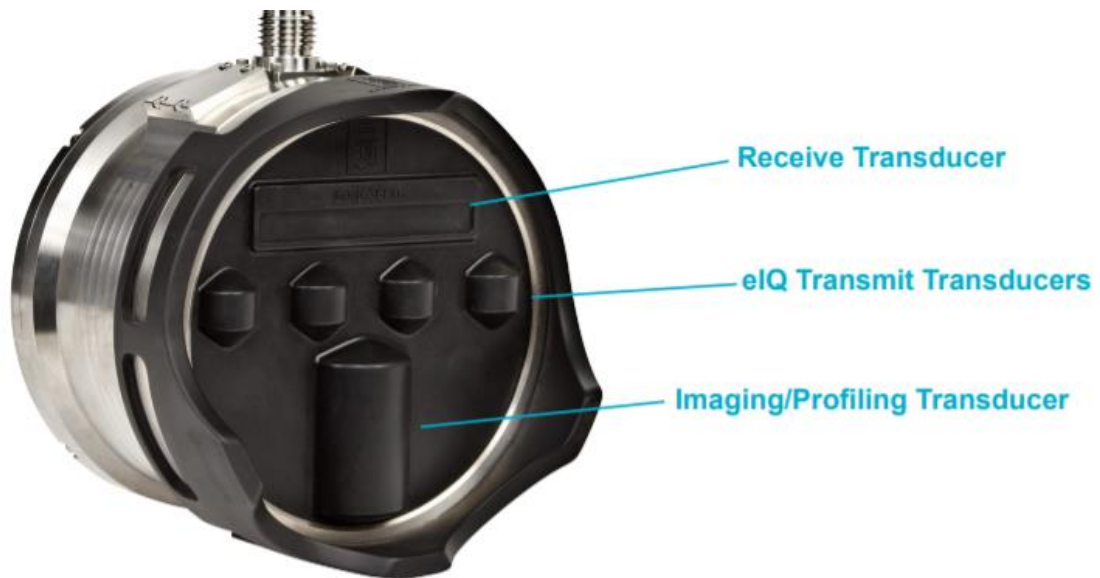
- Αντοχή σε μεγάλα βάθη
- Επικοινωνία σε μεγάλες αποστάσεις
- Μεταφορά μεγάλου όγκου πληροφοριών
- Υψηλή ευαισθησία στην αποστολή πληροφοριών

Για τους παραπάνω λόγους μια πολύ καλή επιλογή είναι το modem 6 standard της εταιρίας Sonardyne το οποίο καλύπτει στο μέγιστο τις ανάγκες αφού μπορεί να επικοινωνεί μέχρι και 5km βάθος και σε αποστάσεις μεγαλύτερες το 5km. Επίσης μπορεί να μεταφέρει πληροφορία μέχρι και 9000 hrs το οποίο σε σύγκριση με άλλα συστήματα sonar στην αγορά είναι σημαντικά μεγαλύτερο. Για το σύστημα sonar χρησιμοποιούνται 2 modem, ένα στο AUV και ένα στο κεντρικό σκάφος και από την συγκεκριμένη εταιρία παρέχονται και οι κεραίες για την επικοινωνία τους. Στην εικόνα 4.13 φαίνεται το συγκεκριμένο modem.



Εικόνα 4.13: Modem 6 standard sonar system [48]

Στην ίδια κατηγορία είναι το M3Sonar της Kongsberg. Έχει μέγιστο βάθος τα 4000m αλλά μπορεί να αποστείλει πληροφορία με 10000 hrs το οποίο είναι σημαντικότερο πλεονέκτημα ειδικά για τις ανάγκες της παρούσας πτυχιακής εργασίας. Στην εικόνα 4.14 φαίνεται το M3Sonar.



Εικόνα 4.14: M3Sonar [49]

4.5. Doppler velocity sensor

Οι αισθητήρες DVS όπως έχει αναφερθεί χρησιμοποιούνται για την πλοήγηση του AUV. Τα χαρακτηριστικά που θα πρέπει να έχουν είναι:

- Μικρό μέγεθος
- Ελάχιστο βάρος
- Αντοχή και επικοινωνία σε μεγάλα βάθη

Για το προτεινόμενο σύστημα είναι σημαντικό ο αισθητήρας να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μεγάλα βάθη αφού το underwater mapping το απαιτεί. Τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά καλύπτονται από τον DVL 1000 της εταιρίας Nortek οποίος μπορεί να παρέχει πλοήγηση σε τουλάχιστον 4km με διάμετρο 114mm, ύψος 164mm και βάρος στην θάλασσα 1.7kg. Στην εικόνα 4.14 φαίνεται ο DVL 1000.



Εικόνα 4.15: DVL 1000 [50]

Μία εναλλακτική επιλογή και ίσως η καλύτερη που προτείνεται για το συγκεκριμένο σύστημα είναι αυτή του Teledyne Marine Pathfinder DVL ο οποίος αποτελεί έναν σύγχρονο και συμπαγή DVL αισθητήρα μικρού μεγέθους, συχνότητας 600 KHz. Στα πλαίσια μελέτης της συγκεκριμένης Πτυχιακής Εργασίας, ο αισθητήρας αυτός κρίνεται ως καταλληλότερος καθώς έχει μικρότερο μέγεθος και βάρος στην θάλασσα όπως και αντοχή και επικοινωνία σε μεγαλύτερα βάθη. Στην εικόνα 4.15 φαίνεται ο Teledyne Marine Pathfinder DVL.



Εικόνα 4.16: Teledyne Marine Pathfinder DVL [51]

Ο συγκεκριμένος αισθητήρας διαθέτει το μικρότερο μέγεθος στην αγορά με διάμετρο 101mm και ύψος 071mm. Το βάρος το οποίο έχει στην θάλασσα είναι στα 0.7kg και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές έως και τα 6000m βάθος, γεγονός που το καθιστά κατάλληλο σε ένα ευρύ φάσμα υποβρυχίων αποστολών.

4.6. Κάμερα

Η κάμερα ενός AUV πρέπει να παρέχει σταθερή και καθαρή εικόνα σε συνθήκες κάτω από την θάλασσα. Στην αγορά υπάρχουν πάρα πολλές επιλογές για αυτό το κομμάτι. Παρόλα αυτά οι περισσότερες δεν είναι κατάλληλες για μεγάλα βάθη. Η κάμερα που προτείνεται για το εξεταζόμενο σύστημα είναι η LUXUS compact camera της εταιρίας MacArtney. Η συγκεκριμένη κάμερα μπορεί να φτάσει πάνω από 4km και έχει βάρος στην θάλασσα 190 γραμμάρια. Το μέγεθος της είναι πολύ μικρό και τοποθετείται πάρα πολύ εύκολα πάνω στο AUV. Στην εικόνα 4.16 παρουσιάζεται η LUXUS compact camera.



Εικόνα 4.17: LUXUS compact camera [52]

Μία εναλλακτική επιλογή αποτελεί η camera L3C-HDX που κατασκευάζεται από την Αγγλική εταιρεία Bowtech Products. Η συγκεκριμένη κάμερα έχει ενσωματωμένο ένα φακό HD και μεγάλης γωνίας 67 μοιρών για υποβρύχια εικόνα που είναι εξαιρετικά ανθεκτικός στις γρατζουνιές και 99.8% διαυγής. Έχει δυνατότητα να ενσωματωθεί εύκολα σε οχήματα AUV λόγω του μικρού του μεγέθους, τα οποία εκτελούν αποστολές έως και 6000m βάθος. Στην εικόνα 4.17 παρουσιάζεται η camera L3C-HDX.



Εικόνα 4.18: camera L3C-HDX [53]

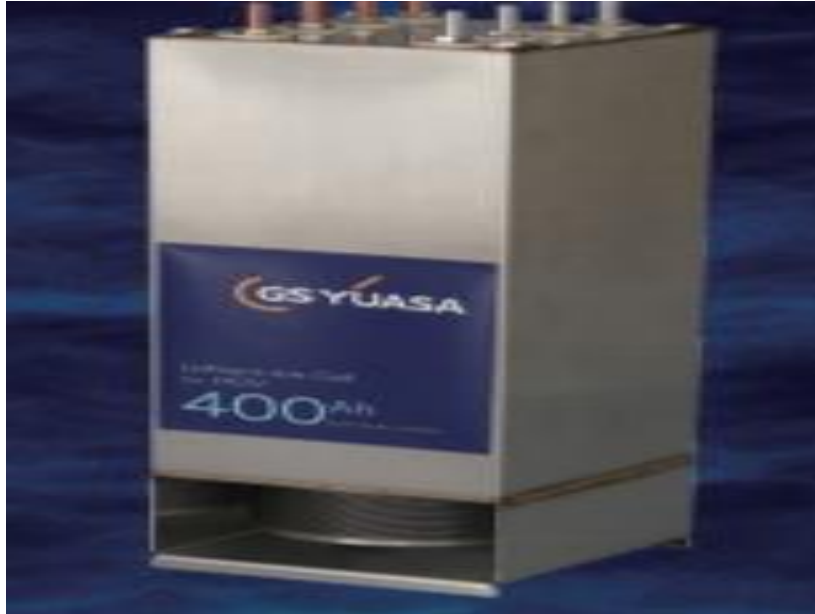
Στα πλαίσια μελέτης της συγκεκριμένης Πτυχιακής Εργασίας, επιλέγεται η camera L3C-HDX καθώς πρόκειται για μια εφαρμογή μεγάλου βάθους και η συγκεκριμένη κάμερα εμφανίζει μεγαλύτερη ανθεκτικότητα και διαύγεια σε σχέση με την LUXUS compact camera.

4.7. Μπαταρίες

Οι μπαταρίες των AUVs πρέπει να έχουν τα εξής χαρακτηριστικά:

- Ανθεκτικότητα στο μεγάλο βάθος
- Μεγάλη αποθηκευτική ενέργεια
- Μικρό βάρος

Τα εξής χαρακτηριστικά τα έχει οι μπαταρίες λιθίου της εταιρίας GS Yuasa οι οποίες αντέχουν σε βάθος έως και 6.5km και αποθηκεύουν έως και 400Ah. Επίσης οι συγκεκριμένες μπαταρίες έχουν πολλούς κύκλους ζωής. Στην εικόνα 4.18 παρουσιάζονται οι συγκεκριμένες μπαταρίες.



Εικόνα 4.19: Μπαταρία λιθίου GS Yuasa [54]

Άλλη επιλογή για μπαταρίες που χρησιμοποιούνται για μεγάλα βάθη είναι της Bluefin Robotics και φαίνεται στην εικόνα 4.19. Το μέγιστο βάθος τους είναι τα 4000 μέτρα και χωρητικότητα τους τα 100Ah σε αντίθεση με την προηγούμενη επιλογή που πέρα από 400Ah πωλείται σε διάφορες άλλες χωρητικότητες. Η καλύτερη επιλογή επομένως είναι της εταιρίας GS Yuasa αφού έχει δυνατότητα να βρίσκεται σε μεγαλύτερο βάθος.



Εικόνα 4.20: Μπαταρία Bluefin Robotics [55]

4.8. Memory card

Όπως θα παρουσιαστεί και στο επόμενο κεφάλαιο η κάρτα μνήμης είναι απαραίτητο εξάρτημα για την συγκεκριμένη εφαρμογή καθώς οι πληροφορίες μετά από κάποιο βάθος είναι αδύνατον να αποσταλούν στην επιφάνεια, επομένως πρέπει να αποθηκευτούν. Για την συγκεκριμένη εφαρμογή χρειάζεται μια κάρτα μνήμης που να είναι συμβατή με τον AGX Xavier. Τέτοιες κάρτες μνήμης είναι οι eMMC της SanDisk. Πιο συγκεκριμένα το μοντέλο των 128 GB eMMC 128GB iNAND 7232 eMMC 5.1 WD/SD αποτελεί μια πολύ καλή επιλογή το οποίο φαίνεται στην εικόνα 4.20.



Εικόνα 4.21: eMMC 128GB iNAND [56]

5. Λογισμικό και εξοπλισμός δικτύωσης

5.1. Πιθανά λειτουργικά συστήματα για AUVs

Πολλοί εμπορικοί οργανισμοί όπως και πολλές αναπτυξιακές κοινότητες έχουν δημιουργήσει λειτουργικά συστήματα που αποσκοπούν στην υποστήριξη συγκεκριμένων δραστηριοτήτων, όπως η διαχείριση δεδομένων πραγματικού χρόνου. Τα συγκεκριμένα συστήματα είναι συχνά γενικής χρήσης καθώς παρέχουν υπολογιστικές δυνατότητες και αλληλεπίδραση με περιφερειακές συσκευές μέσω της ανάπτυξης προγραμμάτων οδήγησης συσκευών. Αυτά τα λειτουργικά συστήματα είναι συχνά ανεπτυγμένα ως βασικοί πυρήνες του λειτουργικού συστήματος που παρέχει της βασική λειτουργία [57].

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα γίνει μια παρουσίαση κάποιων βασικών λειτουργικών συστημάτων που χρησιμοποιούνται στον κλάδο της ρομποτικής καθώς επίσης και η τελική επιλογή του λειτουργικού συστήματος που θα χρησιμοποιηθεί στα πλαίσια της συγκεκριμένης εργασίας [57].

Windows Xp

Τα Windows Xp πρωτοεμφανίστηκαν από την Microsoft το 2001 με στόχο την χρήση τους σε προσωπικούς υπολογιστές. Έκτοτε υπήρξαν αρκετές αναβαθμίσεις και νέες εκδόσεις. Τα Windows δεν αποτελούν λειτουργικό σύστημα πραγματικού χρόνου και αντιμετωπίζουν προβλήματα όταν αξιολογούνται με τέτοιο τρόπο. Υπάρχουν αρκετά λογισμικά προσομοίωσης AUV που τρέχουν με τα Windows XP, σύμφωνα με πρόσφατες κριτικές δεν υπάρχει κάποιο που να χρησιμοποιεί πολλαπλά περιβάλλοντα, να είναι δωρεάν και εύκολο στην χρήση για εφαρμογές φυσικής που διαχειρίζονται ωκεάνια περιβάλλοντα [57].

Mac X

Το λειτουργικό σύστημα Mac της Apple χρησιμοποιείται σε πολλές αναπτυξιακές κοινότητες και βασίζεται στο λογισμικό Berkeley Distribution (BSD). Αποτελεί ένα πολύ ισχυρό λειτουργικό σύστημα με πολλαπλές ευκαιρίες εφαρμογής, παρόλα αυτά δεν προβλέπεται για την χρήση του σε εφαρμογές ρομποτικής AUV. Αυτό οφείλεται διότι τα Mac X δεν υποστηρίζουν κατάλληλα προγράμματα αισθητήρων και προσομοιώσεων [57].

VxWorks

Το VxWorks αποτελεί ένα λειτουργικό σύστημα πραγματικού χρόνου που στοχεύει σε εφαρμογές ενσωματωμένων συστημάτων. Είναι σχεδιασμένο ώστε να επιτρέπει την καταγραφή κώδικα σε έναν υπολογιστή ο οποίος μπορεί να μεταφερθεί και να υλοποιηθεί σε άλλη συσκευή. Το VxWorks έχει χρησιμοποιηθεί σε πολλές βιομηχανίες και σε μεγάλη γκάμα ρομποτικών εφαρμογών για διαστημικές αποστολές όπως και σε εφαρμογές ανάπτυξης AUV [57].

Ubuntu Linux

Το τελευταίο λειτουργικό σύστημα που παρουσιάζεται και που επιλέχθηκε για την εργασία αυτή είναι το Ubuntu Linux. Αποτελεί ένα ελεύθερο στη πρόσβαση λειτουργικό σύστημα βασισμένο εξ' ολοκλήρου στο λειτουργικό Linux. Έχει αναπτυχθεί από μια μεγάλη κοινότητα ανθρώπων και είναι μια διανομή βασισμένη στο Debian, μία από τις πιο αξιόπιστες διανομές Linux. Επιλέχθηκε γιατί το λειτουργικό σύστημα, που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο του ρομποτικού οχήματος, είναι συμβατό μόνο με unix-like λειτουργικά συστήματα και συγκεκριμένα η υποστήριξη που παρέχεται για Ubuntu Linux είναι καλύτερη απ' ό,τι για οποιοδήποτε άλλο λειτουργικό σύστημα σε εφαρμογές ρομποτικής AUVs [57].

Η πλατφόρμα η οποία θα χρησιμοποιηθεί είναι το Jetson της NVIDIA® που αποτελεί μια από τις καλύτερες πλατφόρμες ανάπτυξης τεχνητής νοημοσύνης. Περιλαμβάνει ανοιχτή προγραμματιζόμενη διεπαφή (API) η οποία επιτρέπει την χρήση διάφορων γλωσσών προγραμματισμού (C/ C++, JAVA, .Net) και συστημάτων για την ανάπτυξη ενός προγράμματος ελέγχου [57].

5.2. Σύστημα επικοινωνίας

Τα σήματα υψηλών συχνοτήτων και το ανομοιογενές υποβρύχιο περιβάλλον καθιστούν δύσκολη την εφαρμογή ενός συστήματος επικοινωνίας με τα AUV. Για αυτό τον λόγο η ασύρματη μετάδοση υποβρυχίων σημάτων, ιδίως για αποστάσεις μεγαλύτερες των 100 μέτρων βασίζεται μόνο σε ακουστικά κύματα. Η υποβρύχια ακουστική επικοινωνία που χρησιμοποιεί ακουστικά modems επιτυγχάνεται με τη μετατροπή ψηφιακών σημάτων σε ήχο που μπορεί να μεταδοθεί στο υποβρύχιο περιβάλλον. Η αποδοτικότητα αυτών των συστημάτων αλλάζει δραματικά ανάλογα με την εφαρμογή και το εύρος δραστηριότητας. Οι κύριοι λόγοι για την επιλογή ενός υποβρυχίου ακουστικού modem είναι [58]:

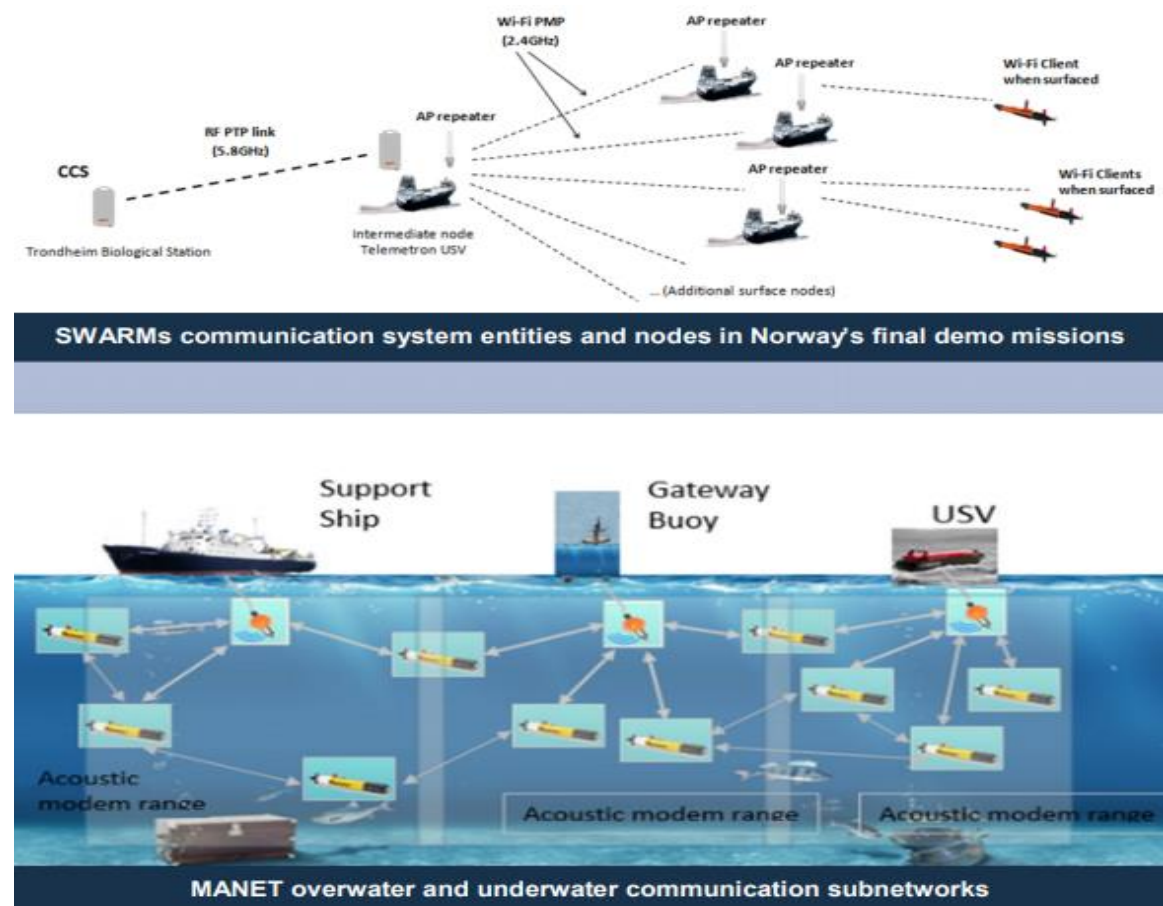
- Η εφαρμογή, σχετικά με τον τύπο και το μέγεθος του μηνύματος και την συχνότητα μετάδοσης
- Το κόστος, σχετικά με την πολυπλοκότητα της εφαρμογής από μερικές εκατοντάδες έως και 50.000€.
- Το μέγεθος, συνήθως κυλινδρικό με πλάτος από 10 έως 50 cm
- Το εύρος ζώνης, τα ακουστικά modems μπορούν να μεταδώσουν την υποβρύχια πληροφορία έως κάποια kb/s
- Την κατανάλωση ενέργειας, σχετικά με το εύρος της διαμόρφωσης, η κατανάλωση ενέργειας είναι μεταξύ 0.1 W και 1 W σε κατάσταση λήψης και μεταξύ 10 W και 100 W σε κατάσταση μετάδοσης

Οι αρχές λειτουργίας των υποβρυχίων επικοινωνιών μπορούν να περιγράψουν: Αρχικά η πληροφορία μετατρέπεται σε ηλεκτρικό σήμα με τη βοήθεια ενός ηλεκτρικού μεταδότη. Δεύτερον, μετά την ψηφιακή διεργασία του κωδικοποιητή, ο μορφοτροπέας (transducer) μετατρέπει το ηλεκτρικό σήμα σε ακουστικό. Τρίτον, το ακουστικό σήμα διαδίδεται μέσω του

νερού και η πληροφορία φτάνει στον μορφοτροπέα. Σε αυτή την περίπτωση, το ακουστικό σήμα μετατρέπεται σε ηλεκτρικό. Τέλος, μετά την αποκρυπτογράφηση του σήματος από τον αποκωδικοποιητή, η πληροφορία μετατρέπεται σε ήχο, κείμενο ή εικόνα από έναν ηλεκτρικό δέκτη [58].

Οι ακουστικές επικοινωνίες αντιμετωπίζουν αρκετά προβλήματα, όπως χαμηλό σήμα, υψηλή αφάνεια και θόρυβο. Αυτά τα προβλήματα μπορούν να καθυστερήσουν τον κύκλο κυκλοφορίας από μερικά δευτερόλεπτα έως και περισσότερο από ένα λεπτό [58].

Μια ευρέως διαδεδομένη εφαρμογή υποβρύχιας χαρτογράφησης με AUV είναι η ευρωπαϊκή εκστρατεία SWARMS. Ο στόχος του συστήματος επικοινωνίας του SWARMS ήταν η δημιουργία ενός αξιόπιστου και ευκόλως αναπτύξιμου δικτύου για την σύνδεση των υποβρυχίων κόμβων με το κέντρο ελέγχου. Το δίκτυο βασίστηκε στη χρήση εμπορικού υλιστικού και στην ανάπτυξη νέων στοιχείων και εφαρμογών για την επέκταση των ήδη υπάρχοντων λειτουργιών [58].



Εικόνα 5.1: Σύστημα επικοινωνίας εφαρμογής SWARMS [59].

Κατά τη διάρκεια του έργου διάφοροι κόμβοι επικοινωνίας αναπτύχθηκαν στο δίκτυο SWARMS [58]:

- Επτά κόμβοι Wi-fi
- Τέσσερις διαφορετικοί τύποι κόμβων επιφάνειας (PLOCAN1, Artica, Capella, MAROB USV)

- Πέντε διαφορετικοί τύποι κόμβων πυλών επιφάνειας (PLOCAN2 floating buoy, Leonardo floating buoy, Leonardo SUSV, Manta gateway, MAROB USV)
- Επτά διαφορετικές υποβρύχιες μηχανές (ECA A9 AUV, DES SAGA ROV, ATN ATN50 ROV, MDH NAIAD AUV, NTNU Fjordtif LAUV, ISR Noptilus LAUV, ISR Nemo LAUV)

Επιπλέον, τέσσερα διαφορετικά modem ελέγχθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν για την υποβρύχια επικοινωνία [58]:

- EvoLogics S2CR 18/34 το πιο συνηθισμένο για την ενσωμάτωση των οχημάτων
- EvoLogics S2CM υψηλής συχνότητας
- Υποβρύχιο modem υψηλής συχνότητας
- TNO modem υψηλής ταχύτητας



Εικόνα 5.2: Ακουστικά modem εφαρμογής SWARMS [59].

Στα πλαίσια της παρούσας Πτυχιακής Εργασίας, για την αποδοτικότερη επικοινωνία και μετάδοση πληροφοριών του συστήματος, προτείνονται τρία εκ των προαναφερθέντων modem-δρομολογητών. Το EvoLogics S2CR 18/34, EvoLogics S2CM υψηλής συχνότητας και το TNO modem υψηλής ταχύτητας [58].

Το σύστημα επικοινωνίας θα αποτελείται από ένα εσωτερικό δίκτυο Ethernet άμεσα συνδεδεμένο με το σύστημα ελέγχου της επιφάνειας. Ενώ κατά τη διάρκεια της λειτουργίας, προτείνεται, η μηχανή AUV να ελέγχεται ακουστικά μέσω WLAN ή radio συνδέσεων [58].

EvoLogics S2CR 18/34

Αποτελεί ένα εργαλείο μετάδοσης υποβρύχιας επικοινωνίας που χρησιμοποιεί ένα οριζόντιο μοτίβο δέσμης μορφομετατροπέα προς όλες τις κατευθύνσεις και προσφέρει μεταφορά δεδομένων έως και 13.9 Kbit/s με εύρος άνω των 3500 m. Προτείνεται για την ενσωμάτωση των οχημάτων [58].

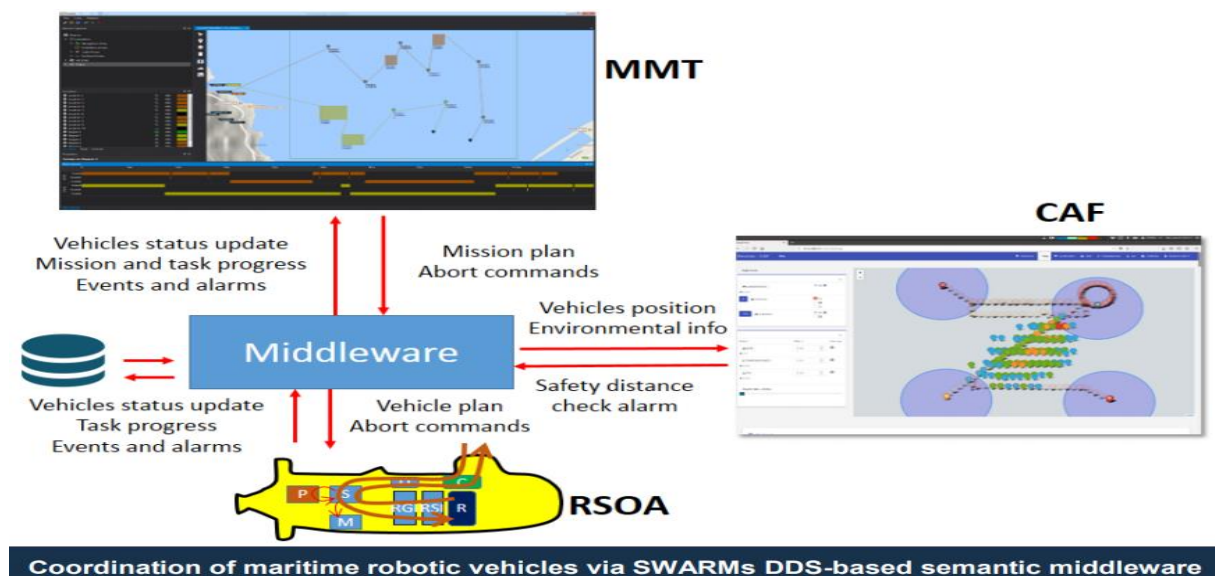
EvoLogics S2CM

Τα συγκεκριμένα modem αποτελούν μια σειρά συσκευών ‘mini’ όπως υποδηλώνεται και από την ονομασία, που χρησιμοποιούνται σε μεγάλη γκάμα εφαρμογών εντοπισμού θέσης για σκοπούς επικοινωνίας και μεταφοράς πληροφορίας. Σε σχέση με τα EvoLogics S2CR έχουν πολύ μικρές διαφορές χαρακτηριστικών οι οποίες σχετίζονται κυρίως με το μέγεθος. Τα συγκεκριμένα modem προτείνονται για χρήση στο σύστημα με τον ρόλο των ‘receivers’, ώστε να επιτυγχάνεται η συνεχής επικοινωνία του AUV με το σκάφος επιφάνειας, ανεξαρτήτου βάθους [58].

TNO modem υψηλής ταχύτητας

Αποτελεί μια συσκευή που προσφέρει λειτουργίες επεξεργασίας με τη βοήθεια οπτικών ανιχνευτών. Έχει την δυνατότητα να δέχεται ροή δεδομένων έως και 10Gbps. Τα οπτικά αυτά modem αποτελούν ιδανική επιλογή για την μετάδοση πληροφορίας σε επιγείους σταθμούς. Προτείνονται για την ενσωμάτωση στα σκάφη επιφάνειας [58].

Το σύστημα επικοινωνίας της εφαρμογής SWARMS όπως και στις περισσότερες υποβρύχιας εφαρμογές είχε το ρόλο του middleware, καθώς δεχόταν τις ενημερώσεις και την πρόοδο των λειτουργιών κάθε οχήματος, και μετέδιδε την πληροφορία στο εργαλείο διαχείρισης του κέντρου ελέγχου που υπήρχε στο όχημα επιφάνειας [58].



Εικόνα 5.3: Αρχιτεκτονική middleware εφαρμογής SWARMS [59].

5.3. Συλλογή πληροφοριών και επεξεργασία

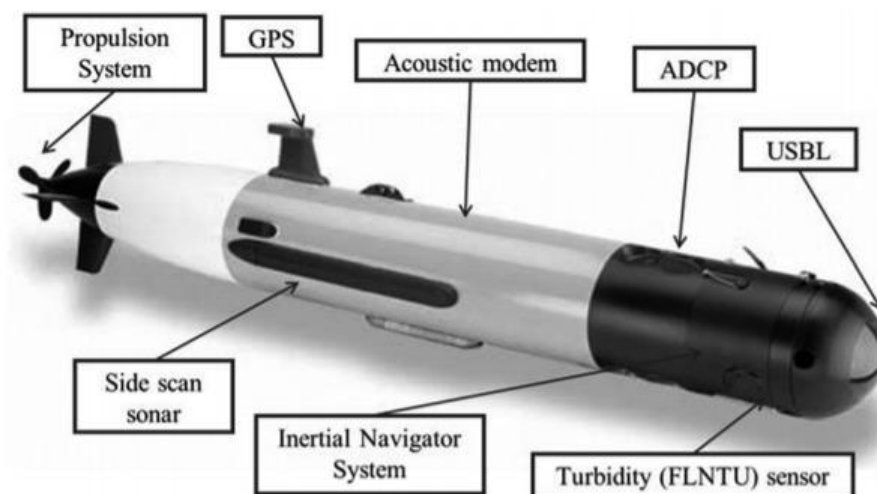
Τα δεδομένα που συλλέγονται από τα AUVs, αποθηκεύονται στην εσωτερική κάρτα μνήμης που έχουν ενσωματωμένη και σε περιπτώσεις εφαρμογών μεγάλου βάθους, δεν είναι διαθέσιμα έως την επιστροφή του οχήματος στην επιφάνεια. Η μεταφορά δεδομένων σε πραγματικό χρόνο για αποστάσεις μεγαλύτερες των 100 μέτρων απαιτούν μεγάλο βεληνεκές μετάδοσης που δεν είναι διαθέσιμο με τις τωρινές τεχνολογίες υποβρύχιας επικοινωνίας [60].

Το διαθέσιμο βεληνεκές επιτρέπει την μεταφορά πληροφορίας σχετικά με την κατάσταση και την θέση του οχήματος και τα αντιληπτά δεδομένα από τους αισθητήρες (π.χ. διαδικασία εντοπισμού). Παρόλα αυτά δεν επιτρέπει την μεταφορά δεδομένων εικόνας (π.χ. εικόνες χαρτογράφησης βυθού) σε πραγματικό χρόνο [60].

Ακόμα και να υπήρχε διαθέσιμο το απαραίτητο βεληνεκές, οι καθυστερήσεις στην μεταφορά δεδομένων καθιστούν αδύνατο τον απομακρυσμένο έλεγχο ενός AUV, με αντίστοιχη δυσκολία με αυτή που απαιτεί το να ελεγχθεί ένα μη επανδρωμένο όχημα στον Άρη [60].

5.4. Τεχνική αυτοματοποιημένης επαναφοράς του οχήματος

Τις τελευταίες δεκαετίες η διαδικασία αυτοματοποιημένης επαναφοράς των AUVs έχει συμπεριληφθεί και εξετασθεί από αρκετές έρευνες. Ο τρόπος λειτουργίας της διαδικασίας βασίζεται στην σύνδεση του AUV με κάποιο σκάφος επιφάνειας. Για την επιτυχημένη αυτή σύνδεση, είναι σύνηθες να εφαρμόζεται η μέθοδος DUSBL (digital ultrashort baseline navigation) που επιτρέπει στο όχημα να καθοδηγείται με ακρίβεια σε ένα συγκεκριμένο στόχο που στην περίπτωση αυτή είναι η συσκευή επαναφοράς που βρίσκεται στο σκάφος επιφάνειας. Ένα ολοκληρωμένο σύστημα DUSBL αποτελείται από έναν πομποδέκτη που είναι ενσωματωμένος στο όχημα επιφάνειας και έναν αναμεταδότη στο AUV [61].



Εικόνα 5.4: AUV με αναμεταδότη συστήματος USBL [61].

Γενικά η διαδικασία επαναφοράς του οχήματος είναι μια δύσκολη διαδικασία καθώς απαιτεί λεπτομερή συνεργασία μεταξύ των οχημάτων και σωστή εφαρμογή της ακουστικής μεθόδου επικοινωνίας. Σε περιπτώσεις όπου τα οχήματα λειτουργούν σωστά, οι απαιτήσεις για την επαναφορά του οχήματος είναι οι παρακάτω [61]:

1. Η διαδικασία είναι καταλληλότερο να ξεκινήσει όταν τα δύο οχήματα είναι ευθυγραμμισμένα και οδεύουν προς την ίδια κατεύθυνση
2. Να γίνει ορθολογικός υπολογισμός των φυσικών περιορισμών (σφάλμα διασταύρωσης, ποσοστό ακρίβειας) της μεθόδου USBL στο όχημα επιφάνειας
3. Να επιτρέπεται η φυσική σύνδεση μεταξύ των οχημάτων
4. Δυνατότητα να διαχωρίζεται μια επιτυχημένη επαναφορά και μια αποτυχημένη ώστε να επιτυγχάνεται μεγαλύτερο επίπεδο ελέγχου στο σύστημα

6. Προτεινόμενη αρχιτεκτονική συστήματος

6.1. Εισαγωγή

Στα πλαίσια της παρούσας Πτυχιακής Εργασίας αναπτύσσεται ένα λειτουργικό σύστημα που αποτελείται από τα παρακάτω μέρη (Εικόνα 6.1.):

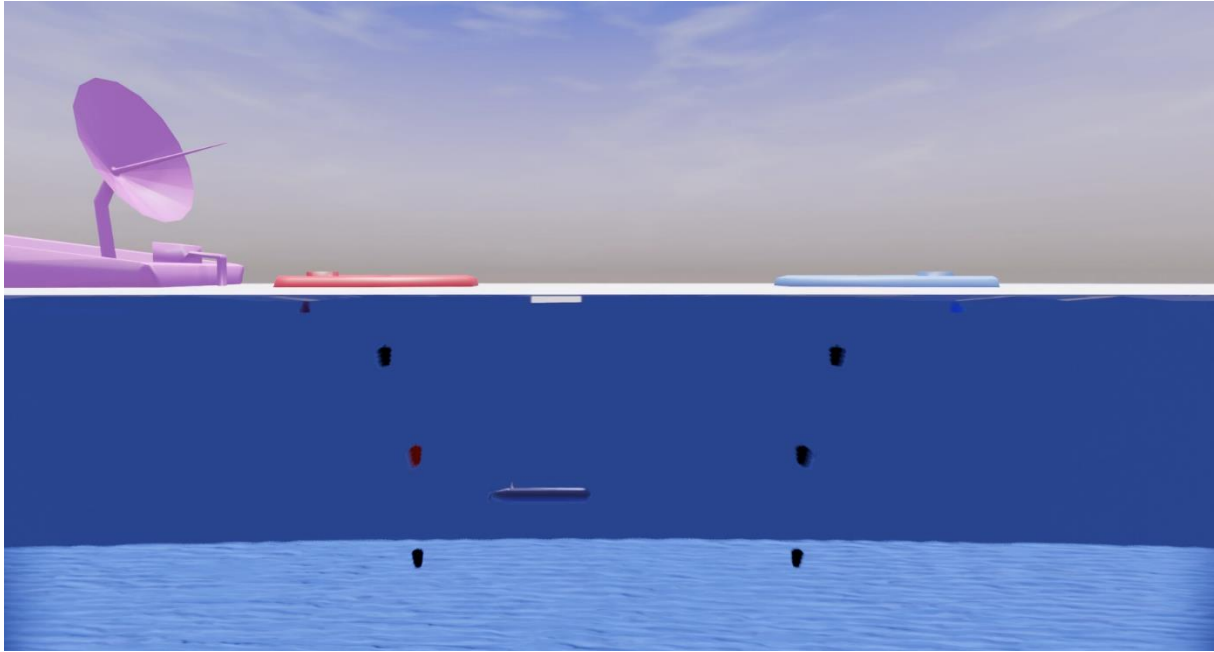
- Unmanned Underwater Vehicle (UUV)
- Σκάφος επιφάνειας
- Σκάφος ελέγχου
- Αισθητήρες, κεραίες, δρομολογητές, αναμεταδότες, πομποδέκτες

Όπως περιγράφεται και στο κεφάλαιο 4 τα δομικά μέρη του AUV είναι:

- Jetson AGX Xavier
- Κινητήρας Castle 3800
- Lidar SL3
- M3Sonar
- Teledyne Marine Pathfinder DVL
- L3C-HDX camera
- GS Yuasa batteries
- eMMC SanDisk memory card

Η πλατφόρμα Jetson AGX Xavier όπως και η κάρτα μνήμης eMMC είναι απόλυτα συμβατές λειτουργικό σύστημα των Linux. Επίσης σκάφος επιφάνειας για την συγκεκριμένη εφαρμογή μπορεί να είναι της εταιρείας της SBG Systems. Τα modem που θα χρησιμοποιηθούν είναι:

- EvoLogics S2CR 18/34
- EvoLogics S2CM
- TNO modem



Εικόνα 6.1: Λειτουργικό σύστημα υποβρύχιας χαρτογράφησης

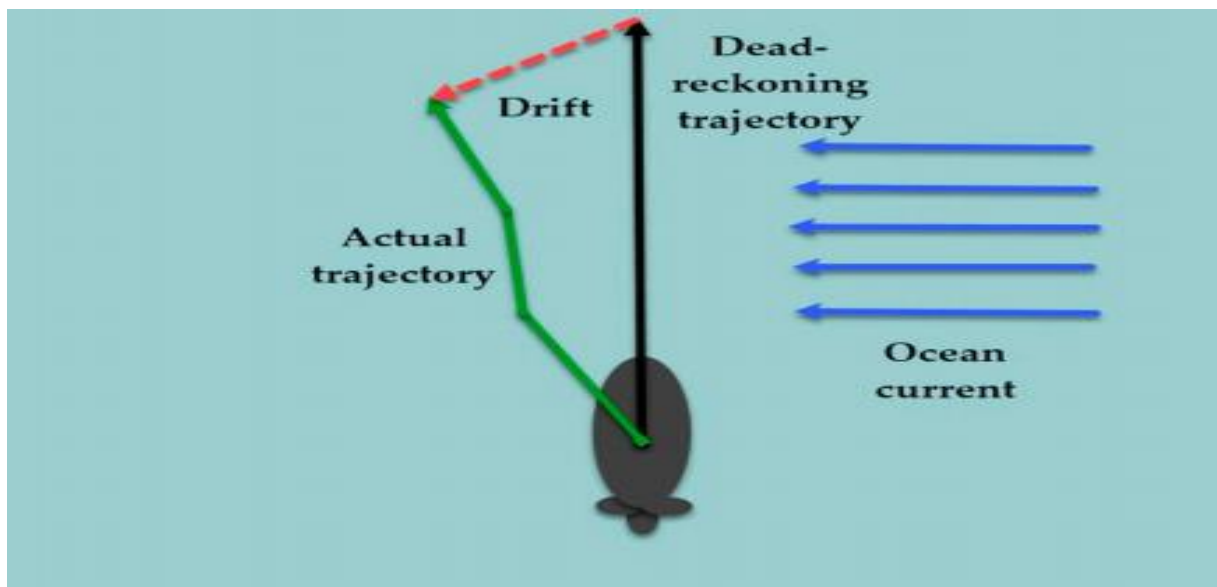
Για την ομαλή λειτουργία και μετάδοση πληροφορίας μεταξύ των διάφορων σταθμών του συστήματος είναι απαραίτητη η χρήση των εξής επιμέρους υποσυστημάτων. Αρχικά είναι απαραίτητο ένα σύστημα εντοπισμού της θέσης (navigation system), ένα σύστημα χαρτογράφησης του βυθού (mapping) και αποφυγής εμποδίων (obstacle avoidance) και ένα σύστημα μετάδοσης της πληροφορίας (communication) που ουσιαστικά αποτελεί και το middleware του συστήματος. Στα επιμέρους κεφάλαια θα γίνει μια εκτενής ανάλυση του κάθε υποσυστήματος.

6.2. Σύστημα εντοπισμού θέσης

Για τις απαιτήσεις της πλοήγησης και του προσδιορισμού της θέσης υποβρύχιων οχημάτων, αντικειμένων ή δυτών προσδιορίστηκαν από τις αρχές του 1960 συστήματα υποβρύχιας ακουστικής, αρχικά κυρίως για στρατιωτικούς σκοπούς, μέσω λήψεων ακουστικών συχνοτήτων για τη μέτρηση αποστάσεων και διευθύνσεων. Για τον υπολογισμό της οριζοντιογραφικής θέσης, χρησιμοποιούνται πομποδέκτες, των οποίων η λειτουργία βασίζεται στις φυσικές μεθόδους διάδοσης του ήχου στο νερό, τοποθετούνται στο πλοίο ή όχημα επιφανείας, όπου λαμβάνονται παράλληλα παρατηρήσεις με GPS, ενώ παράλληλα αισθητήρες βάθους, πορείας, περιστροφής τοποθετημένοι στο υποβρύχιο όχημα χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή βαθυμετρικής εν προκειμένω πληροφορίας. Η γεωγραφική θέση ενός υποθαλάσσιου οχήματος υπολογίζεται από τον διανυσματικό συσχετισμό των δύο παραπάνω θέσεων της γεωγραφικής θέσης του οχήματος επιφανείας και της σχετικής θέσης στο υποβρύχιο περιβάλλον, όπως αυτή προκύπτει από την πληροφορία των αναμεταδοτών. Οι πιο συνηθισμένες

τεχνικές εντοπισμού υποβρύχιων οχημάτων είναι η Long-baseline (LBL), η Shortbaseline (SBL), η Ultra-short-baseline (USBL) και η GPS Intelligent Buoys (GIB), κατά τις οποίες ακουστικοί αναμεταδότες ενσωματώνονται, στα σκάφη υποστήριξης και στην ευρύτερη περιοχή μελέτης και παρακολουθούν το υποβρύχιο όχημα ή αντικείμενο, εντοπίζοντας τη θέση του σε σχέση με τους πομποδέκτες [62].

Ο εντοπισμός της θέσης υποβρύχιων οχημάτων, σε περιοχές με μεγάλα βάθη ή αποστάσεις από τους αναμεταδότες, ύπαρξης εμποδίων ή απότομων διαφοροποιήσεων και ανομοιογενειών των συνθηκών του νερού, πολλές φορές μπορεί να θεωρηθεί από ανακριβής έως και αδύνατος. Έτσι, οι τεχνικές υποθαλάσσιας ακουστικής πλοήγησης με ταυτόχρονες δορυφορικές παρατηρήσεις, βελτιώνονται με τη χρήση αδρανειακών συστημάτων πλοήγησης γνωστές και ως τεχνικές dead reckoning. Οι τεχνικές αυτές απαιτούν την γνώση της ταχύτητας και της διεύθυνσης του οχήματος. Για την υλοποίηση των τεχνικών dead reckoning χρησιμοποιούνται αισθητήρες καταγραφής της ταχύτητας του ήχου (γνωστή και ως ταχύτητα Doppler), οι οποίοι σε συνδυασμό με μαγνητόμετρα και γυροσκόπια, παρέχουν επιπλέον διορθώσεις στον υπολογισμό της απόστασης υποβρυχίως. Το μεγαλύτερο πρόβλημα των συγκεκριμένων τεχνικών σχετίζεται με την ύπαρξη των ρευμάτων των ωκεανών, καθώς αυτά προσθέτουν ταχύτητα στο όχημα η οποία δεν μπορεί να καταγραφεί από τον αισθητήρα (Snyder, 2010). Ακολούθως, παρουσιάζονται οι τέσσερις βασικότερες κατηγορίες ακουστικών συστημάτων εντοπισμού θέσης [62].

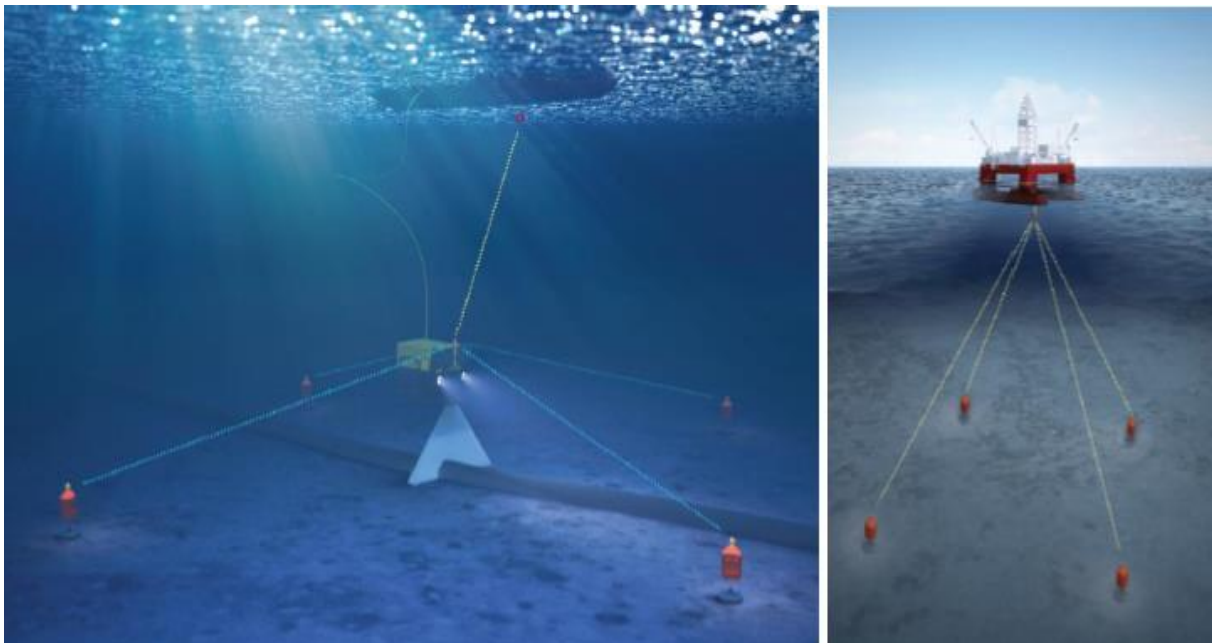


Εικόνα 6.2: Το πρόβλημα των dead-reckoning τεχνικών λόγω ρευμάτων [63].

Τεχνικές Long Baseline

Στη συγκεκριμένη τεχνική υλοποιείται στην περιοχή μελέτης ένα δίκτυο υποβρύχιων αναμεταδοτών σε γνωστές σταθερές θέσεις και δέχεται ακουστικά σήματα από έναν πομπό ενσωματωμένο είτε σε

κάποιο υποβρύχιο τηλεκατευθυνόμενο όχημα είτε σε οποιοδήποτε άλλο υποβρύχιο αντικείμενο του οποίου απαιτείται να προσδιοριστεί η θέση. Ο πομποδέκτης συνδέεται συνήθως ενσύρματα με ένα σκάφος υποστήριξης, όπου μεταφέρονται και επεξεργάζονται όλες οι πληροφορίες των σημάτων που μεταδίδονται. Το ακουστικό σήμα που στέλνει ο πομπός φιλτράρεται από τους δέκτες αναμεταδότες, οι οποίοι στέλνουν το σήμα αυτό πίσω στον στόχο. Με γνωστή την ταχύτητα του ήχου στο νερό για την συγκεκριμένη περιοχή και το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, γίνεται εφικτός ο υπολογισμός των αποστάσεων που διανύουν τα ακουστικά σήματα. Αυτή η διαδικασία μεταφοράς σημάτων και υπολογισμού αποστάσεων γίνεται σε όλους τους αναμεταδότες του βυθού στην περιοχή μελέτης, έτσι με γνωστές τις θέσεις τους στο χώρο, επιλύονται εξισώσεις τριπλευρισμού για τον τελικό προσδιορισμό της ακριβούς θέσης του οχήματος. Για την λύση του τριπλευρισμού απαιτούνται τουλάχιστον τρεις αναμεταδότες, με γνωστές συντεταγμένες x_i, y_i, z_i . Βάσει αυτών επιλύεται ένα σύστημα τριών εξισώσεων της μορφής $d_i = (x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2$ και προκύπτει τελικά η θέση του σημείου στο χώρο. Η ονομασία Long Baseline αναφέρεται στις αποστάσεις μεταξύ των αναμεταδοτών του πυθμένα, που σε σχέση με τις τεχνικές Short Baseline και Ultra-Short Baseline, στις οποίες οι πομποδέκτες είναι τοποθετημένοι πάνω σε κάποιο σκάφος υποστήριξης σε μικρές μεταξύ τους αποστάσεις, μετατρέποντας έτσι τη γεωμετρία του συστήματος σταθερών σημείων αρκετά ισχυρότερη και τις ακρίβειες προσδιορισμού υποβρύχιας θέσης πολύ μεγαλύτερες. Επίσης, αυτό που καθιστά αρκετά αξιόπιστη την Long Baseline ως μέθοδο είναι η σταθερή θέση των αναμεταδοτών του πυθμένα, σε σύγκριση με τις μεθόδους Short Baseline BL και Ultra-Short Baseline, όπου προκύπτει σφάλμα από την κίνηση των σκαφών στα οποία τοποθετούνται οι αναμεταδότες [36].



Εικόνα 6.3: Τεχνικές Long Baseline [36].

Τεχνικές Short Baseline

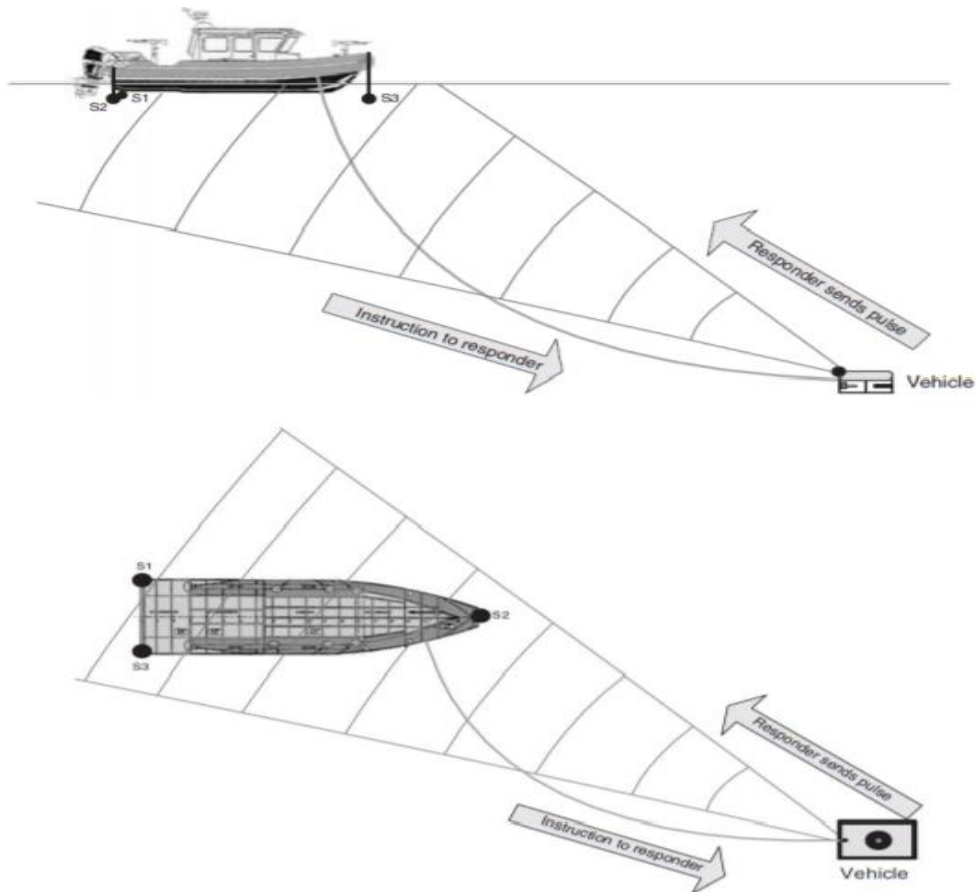
Οι τεχνικές πλοήγησης και εντοπισμού υποβρύχιας θέσης Short Baseline πρωτοεμφανίστηκαν το 1963 με στόχο τον εντοπισμό του αμερικάνικου υποβρυχίου USS Thresher, το οποίο χάθηκε σε βάθος 2560 m. Ένα σύστημα εντοπισμού Short Baseline ενσωματώθηκε στο σκάφος USNS Mizar, το οποίο έπρεπε να καθοδηγήσει το βαθυσκάφος Trieste 1 πάνω από το ναυάγιο του Thresher. Λόγω των χαμηλών ακριβειών της μεθόδου, το ναυάγιο εντοπίστηκε μόνο σε μία από τις δέκα απόπειρες που έγιναν. Από τη δεκαετία του 70 και μετά, η εφαρμογή τεχνικών υποβρύχιας πλοήγησης, και ιδιαίτερα Short Baseline, διαδόθηκε πολύ και πέραν των στρατιωτικών εφαρμογών, εξυπηρετώντας μεγάλο εύρος έργων στη βιομηχανία πετρελαίου και φυσικού αερίου, όπως και λιμενικά έργα και ωκεανογραφικές έρευνες. Το ωκεανογραφικό ινστιτούτο Woods Hole για παράδειγμα, εφαρμόζει τεχνικές Short Baseline για την παρακολούθηση και τον προσδιορισμό ακριβούς θέσης του τηλεκατευθυνόμενου ρομπότ βαθειών επιχειρήσεων Jason, με αφετηρία το σκάφος Medea, πετυχαίνοντας αποκλίσεις του ύψους των 9 cm. Άλλη μια εφαρμογή Short Baseline εφαρμόζεται στην Ανταρκτική, όπου το τμήμα ωκεανογραφικών ερευνών Moss Landing Marine Laboratory χρησιμοποιεί τεχνικές Short Baseline στο σύστημα πλοίο-υποβρύχιο τηλεκατευθυνόμενο όχημα, για την χαρτογράφηση πληθυσμών βενθικών οργανισμών κάτω από τους πάγους, μία εφαρμογή που απαιτεί υψηλές ακρίβειες πλοήγησης και προσδιορισμού θέσης. Έτσι, διαπερνώντας τρύπες στον πάγο διαμέτρου 20 cm καταγράφει με ακολουθίες βίντεο πορείες ενδιαφέροντος στον πυθμένα, των οποίων η θέση προσδιορίζεται μέσω της τεχνολογίας Short Baseline με ακρίβεια μικρότερη των 50 cm [36].



Εικόνα 6.4: Χαρτογράφηση πληθυσμού βενθικών οργανισμών με Short Baseline τεχνικές [64].

Οι τεχνικές Long Baseline είναι παρόμοιες με τις Short Baseline σε ότι αφορά τη μεταφορά ακουστικών σημάτων για τον προσδιορισμό υποβρύχιων θέσεων, η διαφορά εντοπίζεται στο γεγονός ότι οι τελευταίες, διαθέτουν τουλάχιστον τρία υδρόφωνα-αναμεταδότες τα οποία είναι βυθισμένα σε τρίγωνο ή περιμετρικά του οχήματος. Οι αποστάσεις μεταξύ των ενσωματωμένων αναμεταδοτών

εξαρτώνται από τις διαστάσεις του σκάφους και η θέση τους έχει ακρίβεια cm, είτε από τις πληροφορίες του κατασκευαστή για το σκάφος, είτε από μετρήσεις GPS με χρήση δεκτών που προσαρμόζονται πάνω στους αναμεταδότες. Η τελευταία τεχνική (GPS Intelligent Buoys systems - GIB) αποτελεί την πιο εξελιγμένη μεθοδολογία τεχνικών Long Baseline και Short Baseline, όπου η γεωαναφορά του συστήματος γίνεται με δέκτες GPS, ενσωματωμένους πάνω στα υδρόφωνα.



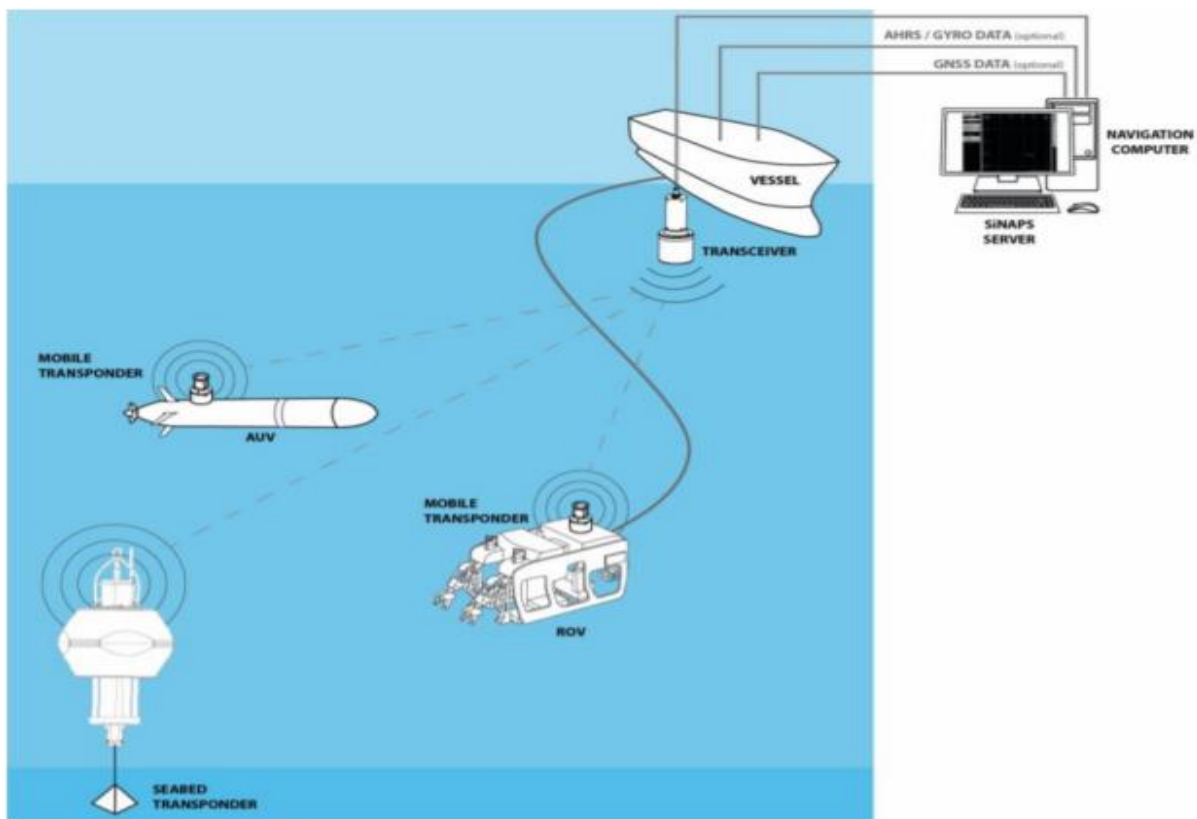
Εικόνα 6.5: Εφαρμογή Short Baseline τεχνικών [36].

Στις τεχνικές αυτές, οι αναμεταδότες που βρίσκονται σε σταθερές μεταξύ τους αποστάσεις μεταφέρουν ένα ακουστικό κύμα που δέχεται και επιστρέφει το αντικείμενο του οποίου η θέση ζητείται να εκτιμηθεί. Και εδώ οι χρόνοι μετάδοσης των σημάτων προς τους αναμεταδότες υπολογίζονται και με γνωστή την ταχύτητα του ήχου στο νερό, επιπλέον υπολογίζονται και οι αποστάσεις από τον στόχο από τους αναμεταδότες που βρίσκονται στο σκάφος. Τέλος, με επίλυση εξισώσεων τριπλευρισμού υπολογίζεται η ζητούμενη υποβρύχια θέση. Αν και η αρχή λειτουργίας των μεθόδων Short Baseline μοιάζει αρκετά με εκείνα των τεχνικών Long Baseline, τα επίπεδα ακρίβειας των πρώτων είναι χαμηλότερα.

Τεχνικές Ultra-Short Baseline

Οι τεχνικές Ultra-Short Baseline όπως και οι Short Baseline τεχνικές, διαθέτουν διάταξη αναμεταδοτών τοποθετημένων σε σκάφος υποστήριξης που μεταδίδουν ακουστικά σήματα τα οποία

φτάνουν σε ένα υποβρύχιο αντικείμενο με τελικό αποδέκτη τους αναμεταδότες, καταγράφοντας έτσι μετρήσεις αποστάσεων και γωνιών. Αντίθετα, στις τεχνικές Long Baseline οι αναμεταδότες είναι τοποθετημένοι στον πυθμένα σε συγκεκριμένες θέσεις και μεγάλες μεταξύ τους αποστάσεις. Σχετικά με την κατηγορία των μικρών αποστάσεων, μια βασική διαφορά μεταξύ Ultra-Short Baseline και Short Baseline μεθόδων είναι ότι στην πρώτη κατηγορία οι αναμεταδότες που βρίσκονται στο σκάφος δεν είναι αυτόνομοι και τοποθετημένοι με κάποια διασπορά. Παρόλα αυτά είναι κομμάτια μιας συνδεσμολογίας, που συνήθως έχει τη μορφή στύλου σχετικά μικρής διατομής στον οποίο βρίσκονται οι αναμεταδότες. Σε έναν τέτοιο στύλο μπορούν να υπάρχουν τρεις και πλέον αναμεταδότες που σχηματίζουν τουλάχιστον ένα επίπεδο [65].



Εικόνα 6.6: Σύστημα Ultra-Short Baseline τεχνικών [36].

Η επόμενη διαφορά, των τεχνικών αυτών όχι μόνο σε σχέση με τις τεχνικές Short Baseline αλλά γενικότερα με όλες τις υπόλοιπες κατηγορίες, είναι ότι η θέση ενός σημείου στον τρισδιάστατο χώρο δεν υπολογίζεται από λύση τριπλευρισμών με γνωστές μόνο τις αποστάσεις μεταξύ των πομποδεκτών, αλλά με μετρήσεις τόσο αποστάσεων όσο και γωνιών με τη μέθοδο της διαφοράς φάσης των ημιτονοειδών σημάτων που επιστρέφουν στους αναμεταδότες του σκάφους υποστήριξης. Οι αποστάσεις από το αντικείμενο προς τους αναμεταδότες του σκάφους υπολογίζονται με καταγραφή των χρόνων μεταφοράς των σημάτων μεταξύ των πομποδεκτών και με γνωστή την ταχύτητα του ήχου στη συγκεκριμένη περιοχή τη χρονική στιγμή των μετρήσεων. Αντιθέτως, ο υπολογισμός των γωνιών

προκύπτει από τη διαφορά στο χρόνο λήψης ενός ακουστικού σήματος από τους δέκτες που διαμορφώνουν ένα ή περισσότερα επίπεδα στη συνδεσμολογία [36].

Τεχνικές GPS Intelligent Buoys

Η μέθοδος πλοήγησης και υποβρύχιου προσδιορισμού θέσης GPS Intelligent Buoys εφαρμόστηκε στις αρχές του 20^{ου} αιώνα για στρατιωτικούς σκοπούς και συγκεκριμένα για τον ακριβή εντοπισμό της θέσης υποβρύχιων και οπλικών συστημάτων. Αποτελεί κομμάτι των τεχνικών Long Baseline, με την διαφορά ότι τα υδρόφωνα είναι εφαρμοσμένα σε πλωτήρες με ενσωματωμένους δέκτες GPS. Ένα σύστημα GPS Intelligent Buoys διαμορφώνεται από τέσσερις και πλέον πλωτήρες. Η θέση των πλωτών δεκτών, προσδιορίζεται και διορθώνεται από έναν δέκτη GPS, που τοποθετείται πάνω σε σκάφος υποστήριξης στην περιοχή μελέτης.



Εικόνα 6.7: Σύστημα GPS Intelligent Buoys μεθόδων [65].

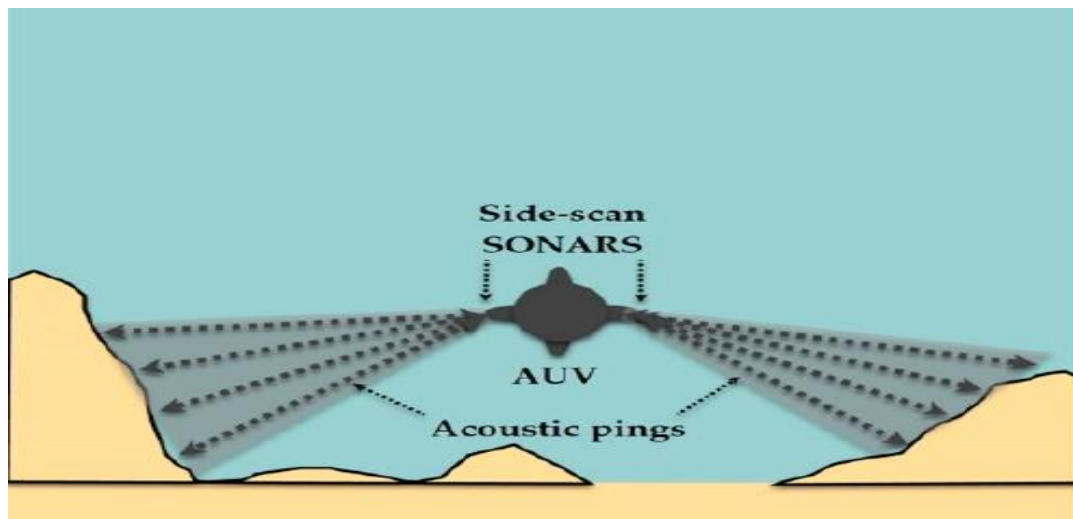
Όλα τα υδρόφωνα δέχονται τα ακουστικά σήματα που εκπέμπονται σταδιακά από το υποθαλάσσιο αντικείμενο, του οποίου η θέση είναι η ζητούμενη, και αναγράφει τους χρόνους άφιξης. Το αντικείμενο μπορεί να είναι είτε τηλεκατευθυνόμενο όχημα, είτε αυτόνομο υποβρύχιο όχημα ή οποιαδήποτε άλλη υποβρύχια συσκευή στην οποία έχει ενσωματωθεί ταυτόχρονο σύστημα σταδιακής μετάδοσης ακουστικών σημάτων. Σε κάθε περίοδο μεταδίδονται δύο σήματα, των οποίων η διαφορά χρόνου εκπομπής είναι ίδια με το βάθος του αντικειμένου. Οι χρόνοι άφιξης καταγράφονται ως αποστάσεις μεταξύ των πλωτών υδροφώνων και του στόχου, με γνωστή την ταχύτητα του ήχου στο νερό τη δεδομένη στιγμή στην περιοχή των μετρήσεων. Για την αύξηση της ακρίβειας της μεθόδου GIB προτείνεται ο συγχρονισμός περισσότερων των τεσσάρων δεκτών με ικανοποιητική γεωμετρία και διασπορά στο χώρο εργασιών, για τη λήψη περισσότερων παρατηρήσεων, καθώς και η

ακριβέστερη προσέγγιση της τιμής της ταχύτητας του ήχου στο νερό που απλοποιεί σημαντικά την επεξεργασία των εκπεμπόμενων σημάτων [65].

6.3. Σύστημα χαρτογράφησης βυθού – αποφυγής εμποδίων

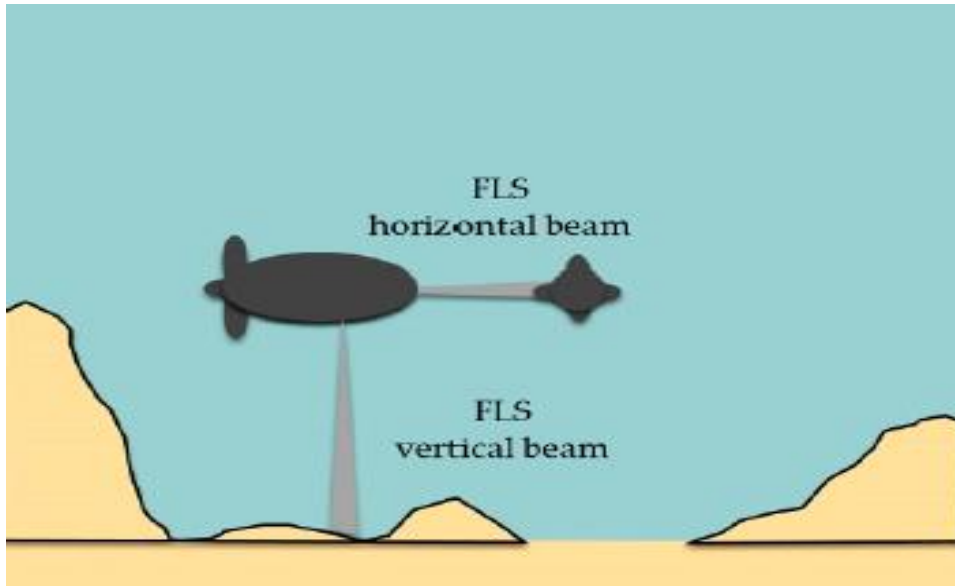
Παρόλο που υπάρχουν πολλές μέθοδοι εφαρμογής Sonar σε ένα AUV, οι δύο βασικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την αποφυγή εμποδίων είναι η Side-Scan Sonar και η Forward-Looking Sonar. Τα αντικείμενα που μπορεί να αποφύγει ένα υποβρύχιο όχημα είναι πέτρες, θαλάσσια είδη, αλλαγές στο βυθό ή και άλλα οχήματα. Όταν ένα όχημα είναι σε αποστολή, πρέπει να μπορεί να αποφύγει τις συγκρούσεις με τέτοιου είδους εμπόδια για να διατηρεί τη τροχιά της πλοήγησής του.

Στην περίπτωση της Side-Scan Sonar μεθόδου, ο μορφομετατροπέας σαρώνει πλευρικά όπως είναι ενσωματωμένο στο όχημα. Μια σειρά από ακουστικά κύματα εκπέμπονται και μετά γυρνάν πίσω, ο χρόνος της επιστροφής και η ταχύτητα του ήχου στο νερό χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό αντικειμένων που βρίσκονται κάθετα στην διεύθυνση της κίνησης.



Εικόνα 6.8: Όχημα που εφαρμόζει Side-Scan Sonar μέθοδο [63].

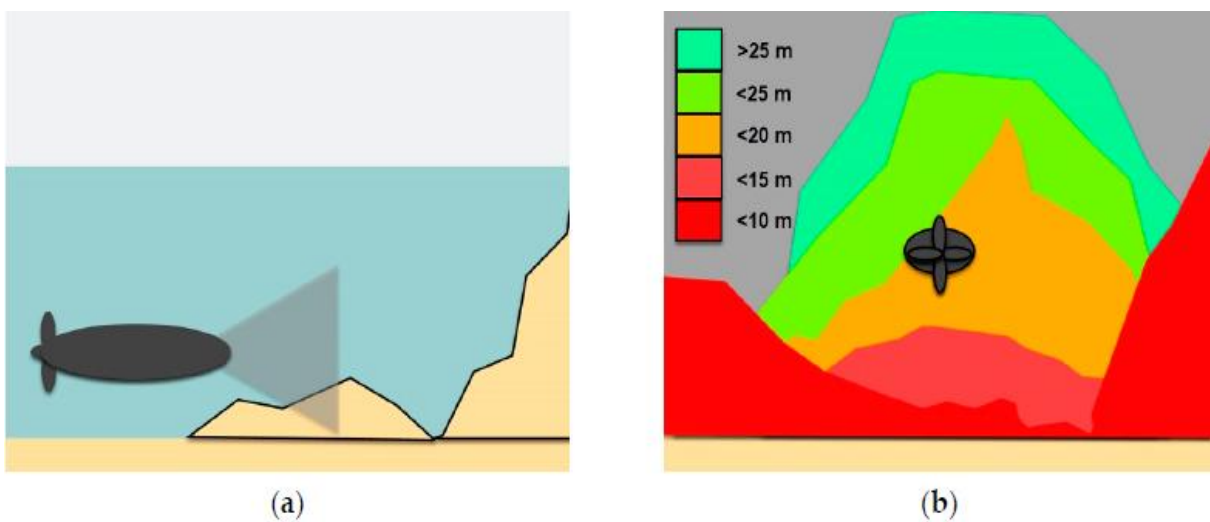
Στην περίπτωση της Forward-Looking Sonar μεθόδου, χρησιμοποιείται ένας προβολέας που καθοδηγεί την ακτίνα sonar η οποία σαρώνει στο μπροστά μέρος του όχημα και καταγράφει συνεχώς ήχους. Οι προβολείς που χρησιμοποιεί η Forward-Looking Sonar μέθοδος μπορούν να τοποθετηθούν σε διάφορα μέρη του οχήματος έτσι ώστε να μπορούν να εντοπιστούν εμπόδια διαφορετικών διευθύνσεων.



Εικόνα 6.9: Όχημα που εφαρμόζει Forward-Looking Sonar μέθοδο [63].

Με τις συγκεκριμένες μεθόδους προκύπτουν εικόνες δύο διαστάσεων με τις οποίες καταγράφεται ο βυθός του ωκεανού και τα χαρακτηριστικά του. Αυτές οι εικόνες παρόλο που καταγράφουν ότι υπάρχει στο πυθμένα των ωκεανών, δεν συμπεριλαμβάνουν πληροφορίες εντοπισμού [63].

Ο ταυτόχρονος προσδιορισμός της θέσης ενός κινούμενου αντικείμενου και η χαρτογράφηση του περιβάλλοντος στο οποίο κινείται το αντικείμενο, ή αλλιώς SLAM είναι μια τεχνική στην οποία ένα όχημα, συνήθως AUV, τοποθετείται σε μία άγνωστη περιοχή με άγνωστο περιβάλλον, δημιουργεί ένα χάρτη του περιβάλλοντος και προσδιορίζει την θέση του μέσα σε αυτό το χάρτη. Στην **(Εικόνα 6.10)** απεικονίζεται μια περίπτωση SLAM εφαρμογής όπου ένα όχημα διαθέτει ένα δέκτη με τον οποίο καταγράφει το περιβάλλον και δημιουργεί μια ψηφιακή απεικόνισή του. Συνήθως χρησιμοποιούνται κωδικοί χρωμάτων για απεικόνιση πληροφορίας όπως η απόσταση μεταξύ του οχήματος και των εμποδίων [63].



Εικόνα 6.10: Εφαρμογή SLAM ενός AUV [63].

Υπάρχουν διάφορες οπτικές της μεθόδου SLAM που χρησιμοποιούνται για την χαρτογράφηση της περιοχής ενδιαφέροντος. Η κάθε μια από αυτές έχει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά της. Η επιλογή της καταλληλότερης μεθόδου εξαρτάται από το είδος της εφαρμογής (επιθεώρηση, πλοήγηση, αλληλεπίδραση). Στον (Πίνακα 6.1) παρουσιάζονται οι κυριότερες οπτικές της μεθόδου SLAM.

Πίνακας 6.1: Οπτικές μεθόδου SLAM [63].

Μέθοδος	Τύπος	Περιγραφή	Εφαρμογή
Χάρτες ορόσημων	2D/3D	Μοντελοποιεί το περιβάλλον σαν ένα σύνολο ορόσημων που προκύπτουν σημεία, γραμμές και γωνίες	Εντοπισμός και χαρτογράφηση
Χάρτες πλέγματος πληρότητας	2D	Διακρίνει το περιβάλλον σε κελιά και υπολογίζει την πιθανότητα εμφάνισης του κάθε κελιού	Εξερεύνηση και χαρτογράφηση
Εφαρμογές καθαρής πυκνότητας	3D	Περιγράφει την 3D γεωμετρία μέσω ενός συνόλου σημείων ή πολυγώνων	Αποφυγή εμποδίων
Εφαρμογές οριακού και χωρικού διαχωρισμού πυκνότητας	3D	Δημιουργεί απεικονίσεις ορίων, επιφανειών και θορύβων	Αποφυγή εμποδίων και διαχείριση

Οι υποβρύχιες μέθοδοι SLAM μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε ακουστικές και οπτικές. Η περίπτωση των οπτικών συσκευών περιορίζεται από χαμηλή ορατότητα και θόρυβο που προκύπτει από τις ακτίνες του ηλίου σε μικρά βάθη. Επιπλέον, εκπέμπουν υψηλές συχνότητες και υψηλή ανάλυση σε χαμηλότερο κόστος από μια ακουστική συσκευή. Αντιθέτως μία Forward-Looking Sonar υψηλής ανάλυσης μπορεί να αποτελέσει μια ικανοποιητική εναλλακτική για τις δύσκολες υποβρύχιες συνθήκες [63].

Το 2016 ο Hernández και οι συνεργάτες του παρουσίασαν μια έρευνα όπου χρησιμοποίησαν ένα AUV για την εξερεύνηση άγνωστων περιοχών και την δημιουργία 3D χαρτών με ακουστικές μεθόδους. Η έρευνα περιελάμβανε δύο κυρίες πτυχές. Η πρώτη παρείχε στο όχημα την δυνατότητα δημιουργίας ακουστικών χαρτών σε συνδυασμό με την εύρεση διαδρομών χωρίς εμπόδια. Η δεύτερη, δημιουργεί μοντέλο 3D φωτογραφιών με τη χρήση των εικονικών δεδομένων. Η έρευνα αυτή δοκιμάστηκε σε μια

γκάμα θαλάσσιων εφαρμογών, όπου τα αποτελέσματα επιβεβαίωσαν τις δυνατότητες του μοντέλου. Μια άλλη έρευνα χρησιμοποίησε ένα πολυακτινικό ηχητικό σύστημα για την δημιουργία υποβρυχίων χαρτών. Έκτοτε, δεν υπήρξε κάποια γενική μέθοδος δημιουργίας υποβρυχίων χαρτών [63].

Το 2019 ο Gomez-Ojeda και οι συνεργάτες του εφάρμοσαν έναν αλγόριθμο οπτικών SLAM μεθόδων. Έγινε σύγκριση μεταξύ ενός SLAM σημείου-γραμμής (PL-SLAM) με ένα SLAM γρήγορης περιστρεφόμενης κατεύθυνσης (ORB-SLAM). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το PL-SLAM ήταν πολύ πιο αποτελεσματικό από το ORB-SLAM σε ότι αφορά την ακρίβεια και την ευρωστία, για όλους τους συνδυασμούς των δεδομένων. Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ήταν μικρότερο για το PL-SLAM στο 55% των συνδυασμών και το μέσο σφάλμα περιστροφής στο 73% των συνδυασμών [63].

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] ΑΡΣΕΝΗΣ Σ. Δ., Σχεδιασμός και Υλοποίηση Δικτύων, Κλειδάριθμος, 2005.
- [2] ΜΑΡΓΑΡΙΤΗ Σ. & ΣΤΕΡΓΙΟΥ Ε., Τοπικά & Αστικά Δίκτυα (LAN-MAN), Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών, 2006.
- [3] ΔΡΑΓΩΝΑΣ Γ., ΠΑΝΑΓΙΩΤΟΠΟΥΛΟΣ Π. & ΣΚΟΥΡΛΑΣ Χ., Τηλεπληροφορική και Δίκτυα Υπολογιστών, Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών, 2000.
- [4] ΓΚΑΤΣΟΥ Ε., Carrier Ethernet-Metro Ethernet και εφαρμογές, 2019.
- [5] ΜΠΑΡΔΗΣ Γ., Μελέτες-Εφαρμογές & Υλοποίηση Δικτύων Η/Υ. Υ, 2007.
- [6] ΛΑΚΑΦΩΣΗΣ Β., Σχεδιασμός Και Ανάπτυξη Ασύρματων Δικτύων, 2006.
- [7] BOTTO F., Encyclopedia of wireless telecommunications, McGraw Hill Professional, 2002.
- [8] CHLAMTAC I., GUMASTE A. & SZABO C., Broadband services: Business models and technologies for community networks, John Wiley & Sons, 2005.
- [9] CARDELL-OLIVER R., et al., A reactive soil moisture sensor network: Design and field evaluation, International journal of distributed sensor networks, 2005, 1.2: 149-162.
- [10] POMPILI D., Akyildiz I., Overview of networking protocols for underwater wireless communications, IEEE Communications magazine, 2009, 47.1: 97-102.
- [11] OTNES R., et al., Underwater acoustic networking techniques, Springer Science & Business Media, 2012.
- [12] ΚΑΛΟΝΙΚΗΣ Γ., Μελέτη για την εγκατάσταση ασύρματου δικτύου στην περιοχή Διάσελλο Άρτας, 2019.
- [13] AKYILDIZ I., POMPILI D. & MELODIA T., Underwater acoustic sensor networks: research challenges, Ad hoc networks, 2005, 3.3: 257-279.
- [14] EROL M., et al., AUV-aided localization for underwater sensor networks, In: International Conference on Wireless Algorithms, Systems and Applications (WASA 2007). IEEE, 2007. p. 44-54.
- [15]. MOHSENI, Kamran. Pulsatile vortex generators for low-speed maneuvering of small underwater vehicles. Ocean Engineering, 2006, 33.16: 2209-2223.
- [16]. ΓΙΑΝΝΑΚΙΔΗΣ Α, Σχεδίαση και μοντελοποίηση μιας βενθικής ακάτου (benthic ladder) για τη μελέτη του φαινομένου της επαναϊώρησης και μεταφοράς ιζημάτων στον πυθμένα της θάλασσας. Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα ΗΜ&ΜΥ, 2004, 2-4.
- [17]. ΠΑΠΑΘΑΝΑΣΟΠΟΥΛΟΣ Γ, Η υποβρύχια αρχαιολογία και η σημασία της. Εφορία Ενάλιων Αρχαιοτήτων, 20.
- [18]. TADESSE, Yonas, et al. Hydrogen-fuel-powered bell segments of biomimetic jellyfish. Smart Materials and Structures, 2012, 21.4: 045013.

- [19]. ΨΥΧΑ Α. Γ., ΜΗΝΟΓΙΑΝΝΗ Μ.Π., *Ναυτική Μετεωρολογία*, Ίδρυμα Ευγενίδου, 2011, 164-168.
- [20]. BANFI. Military application: enabling new operational scenarios in the mine warfare, *Rov & diver tracker*, 1-3
- [21] KIMBALL, Peter, et al. The WHOI Jetyak: An autonomous surface vehicle for oceanographic research in shallow or dangerous waters. In: 2014 IEEE/OES Autonomous Underwater Vehicles (AUV). IEEE, 2014. p. 1-7.
- [22]. MANLEY, Justin E. Unmanned surface vehicles, 15 years of development. In: OCEANS 2008. IEEE, 2008. p. 1-4.
- [23]. NORNES, Stein M. Guidance and control of marine robotics for ocean mapping and monitoring. 2018.
- [24]. BERTRAM, Volker. Unmanned surface vehicles-a survey. *Skibsteknisk Selskab*, Copenhagen, Denmark, 2008, 1: 1-14.
- [25]. CARLSON, Daniel F., et al. An affordable and portable autonomous surface vehicle with obstacle avoidance for coastal ocean monitoring. *HardwareX*, 2019, 5: e00059.
- [26]. DA SILVA, Daniel Carneiro (ed.). *Special Applications of Photogrammetry*. BoD–Books on Demand, 2012.
- [27]. CAMILLI, R., et al. Real-time in-situ chemical and localization sensors integration in human occupied submersible for studying hydrothermal vents. 2016.
- [28]. BLIDBERG, D. Richard. The development of autonomous underwater vehicles (AUV); a brief summary. In: *IEEE Icara*. 2001. p. 1.
- [29]. ΚΑΝΑΚΑΚΗΣ, Ευάγγελος. Ανάπτυξη υβριδικής αρχιτεκτονικής πλοήγησης αυτόνομων υποβρύχιων οχημάτων με ασαφή λογική και γενετικούς αλγόριθμους. 2007. PhD Thesis. Πολυτεχνείο Κρήτης. Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης. Τομέας Συστημάτων Παραγωγής.
- [30]. LINKE, Peter; LACKSCHEWITZ, Klas. Autonomous Underwater Vehicle „ABYSS “. *Journal of large-scale research facilities JLSRF*, 2016, 2: 79.
- [31]. FOLEY, Brendan P., et al. The 2005 Chios ancient shipwreck survey: New methods for underwater archaeology. *Hesperia*, 2009, 269-305.
- [32]. CHRIST, Robert D.; WERNLI SR, Robert L. *The ROV manual: a user guide for remotely operated vehicles*. Butterworth-Heinemann, 2013.
- [33]. DRAP, Pierre, et al. Underwater photogrammetry and object modeling: a case study of Xlendi Wreck in Malta. *Sensors*, 2015, 15.12: 30351-30384.
- [34]. JONES, Daniel OB, et al. Autonomous marine environmental monitoring: Application in decommissioned oil fields. *Science of the total environment*, 2019, 668: 835-853.
- [35]. AGDESTAIN, Einar Nonås. *Visual Estimation of Motion for ROVs-Increasing Accuracy for ROV Navigation*. 2018. Master's Thesis. NTNU.
- [36]. CHRIST, Robert D.; WERNLI SR, Robert L. *The ROV manual: a user guide for remotely operated vehicles*. Butterworth-Heinemann, 2013.

- [37]. MALLIOS, Angelos, et al. Toward autonomous exploration in confined underwater environments. *Journal of Field Robotics*, 2016, 33.7: 994-1012.
- [38]. ΣΚΟΥΡΑΣ, Ηλίας. Τεχνολογίες εντοπισμού θέσης σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους με απουσία GNSS και εφαρμογές τους. 2018.
- [39]. DRAP, Pierre, et al. The ROV 3D Project: Deep-sea underwater survey using photogrammetry: Applications for underwater archaeology. *Journal on Computing and Cultural Heritage (JOCCH)*, 2015, 8.4: 1-24.
- [40]. JEBELLI, Ali; YAGOUB, Mustapha CE; DHILLON, Balbir S. Using a High-Speed Mini-PC to Control an Autonomous Underwater Vehicle. *American Journal of Mechanical Engineering*, 2019, 7.3: 116-128.
- [41]. Geo Week News Staff. International Lidar Mapping Forum Showcases Bathymetric content. 2014, https://www.geoweeknews.com/news/2014-international-lidar-mapping-forum-showcasesbathymetriccontent?fbclid=IwAR3kk5SGz7HDcijiC4YJUvIIMMnQDgh6Y_3bi2wMJHrUb2aPpQ0RNdbP3Bk.
- [42]. developer.nvidia.com.
- [43]. intel.com.
- [44]. traxxas.com
- [45]. castlecreations.com
- [46]. 3datdepth.com
- [47]. newtonlabs.com
- [48]. sonardyne.com
- [49]. kongsberg.com
- [50]. nortekgroup.com
- [51]. geo-matching.com
- [52]. macartney.com
- [53]. nauticexpo.com
- [54]. gdmissionsystems.com
- [55]. gsyuasa-lp.com
- [56]. gr.mouser.com
- [57]. MADDEN, C. An Evaluation of Potential Operating Systems for Autonomous Underwater Vehicles. DEFENSE SCIENCE AND TECHNOLOGY ORGANIZATION VICTORIA (AUSTRALIA) MARITIME PLATFORMS DIV, 2013.
- [58]. ARCE, Daniel A. Real, et al. Smart and networking underwater robots in cooperation meshes: the swarms ECSEL: H2020 project. *Instrumentation ViewPoint*, 2016, 19: 3.

- [59]. REAL-ARCE, Daniel A., et al. Smart and networking underwater robots in cooperation meshes: the swarms ECSEL: H2020 project. In: Instrumentation viewpoint. SARTI, 2016. p. 19-19.
- [60]. GIODINI, Stefania; VAN DER SPEK, Ernest; DOL, Henry. Underwater communications and the level of autonomy of AUVs. Retrieved on December, 2015, 16: 2016.
- [61]. SARDA, Edoardo I.; DHANAK, Manhar R. A USV-Based automated launch and recovery system for AUVs. IEEE journal of oceanic engineering, 2016, 42.1: 37-55.
- [62]. Μάλλιος Α., 2006, Σχεδιασμός και υλοποίηση συστήματος ναυσιπλοΐας για την υποστήριξη υποβρύχιων οχημάτων. Πρακτικά 8ου Πανελληνίου Συμποσίου Ωκεανογραφίας & Αλιείας, σσ.575 - 578.
- [63]. GONZÁLEZ-GARCÍA, Josué, et al. Autonomous underwater vehicles: localization, navigation, and communication for collaborative missions. Applied sciences, 2020, 10.4: 1256.
- [64]. SURVEYOR, Daniele-Mining; GIOVANNI-SURVEYOR, Mr Liggieri Sebastiano; SPADARO, Mr. Underwater Acoustic Positioning System. available at: www.hydro-international.com/download/whitepaper_uploadfile_9.pdf (accessed December 12, 2012), 2013.
- [65]. Szlachetko, B. and Lower, M., 2016. Smart Underwater Positioning System and Simultaneous Communication. In: International Conference on Computational Collective Intelligence, Springer, pp. 158-167.
- [66]. ALCOCER, Alex; OLIVEIRA, Paulo; PASCOAL, Antonio. Underwater acoustic positioning systems based on buoys with GPS. In: Proceedings of the Eighth European Conference on Underwater Acoustics. 2006. p. 1-8.