

ΠΕΛΑΓΙΚΑ ΣΜΗΝΗ ΚΑΙ ΤΑ ΑΚΟΥΣΤΙΚΑ ΕΙΔΩΛΑ ΤΟΥΣ

Ποσοτικές εκτιμήσεις των χαρακτηριστικών τους
με τη βοήθεια προσομοιωτικών μοντέλων σε πολυκωνικά SONAR

ΖΑΧΑΡΙΑΣ ΚΑΠΕΛΩΝΗΣ

Πτυχιακή Εργασία

Επιβλέπων Καθηγητής: Στράτης Γεωργακαράκος

Μυτιλήνη, Σεπτέμβριος 2008

Ευχαριστίες

Στο σημείο αυτό ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους κούρασε η πτυχιακή αυτή, με τον ένα ή τον άλλο τρόπο. Ένα ευχαριστώ ακόμη πάει στο Στράτη Γεωργακαράκο και τον Βασίλη Τρυγόνη, των οποίων η καθοδήγηση, η υπομονή και η συνεργασία από την αρχή μέχρι το τέλος σε επίπεδο ομάδας, έδωσαν άλλο χρώμα στην εργασία αυτή.

Περίληψη

Η εργασία αυτή εστιάζει στη μεθοδολογία που διεθνώς αναπτύσσεται με σκοπό τη βαθμονόμηση των δεδομένων που προέρχονται από πολυκωνικά SONAR. Η πρόσφατη εισαγωγή των SONAR σε αλιευτικές έρευνες έχει σαν αποτέλεσμα την απουσία μεθοδολογίας για τη διασταύρωση, αποτίμηση και βαθμονόμηση των ηχογραμμάτων από τα πολυκωνικά SONAR. Λόγω σημαντικών διαφορών ανάμεσα στα SONAR και τα κατακόρυφα ηχοβολιστικά, οι αντίστοιχες μέθοδοι για τα τελευταία δεν είναι ευθέως αξιοποιήσιμες. Η μέθοδος βαθμονόμησης που προτείνεται εδώ, βασίζεται σε προσομοίωση και κατόπιν σύγκριση των χαρακτηριστικών, από τη μια μεριά των προσομοιωμένων αντικειμένων (σμηνών ψαριών) με τα αντίστοιχα που μετρώνται στα ηχογράμματά τους (απόσταση σμήνους από μεταλλάκτη, συνολικό εμβαδόν σμήνους, μέση ένταση ανάκλασης όγκου κ.α.). Η προσομοίωση καλύπτει ένα ευρύ φάσμα συνθηκών ηχοβολισμού, διαστάσεων και πυκνότητας σμηνών, ώστε στο τέλος μια πολυμεταβλητή ανάλυση να επιτρέπει την ανάπτυξη στατιστικών μοντέλων πρόβλεψης της μεροληψίας που προκαλείται από τους ακουστικούς κώνους του SONAR. Με σκοπό την αυτοματοποίηση της μεθόδου, αναπτύχθηκε εξειδικευμένο λογισμικό βαθμονόμησης, που ενσωματώνει ειδικούς αλγορίθμους βασισμένους στα στατιστικά μοντέλα που προέκυψαν και επιτρέπει την οπτικοποίηση τόσο των παρατηρούμενων ιχνών σμηνών, όσο και των βαθμονομημένων, μαζί με διάφορες σχετικές παραμέτρους πριν και μετά την εφαρμογή της μεθόδου.

Abstract

This essay focuses on the nationally growing methodology for the calibration of multibeam SONAR data. The recent introduction of such equipment results in the absence of similar work in order to verify, assess and calibrate SONAR echograms. Due to substantial differences between SONARs and vertical echosounders, similar techniques used for the latter are not directly applicable. The experimental calibration method proposed here, is based on simulating theinsonification procedure and the comparison of simulated echogram with simulated target (fish-schools) characteristics, such as distance from transducer, total school area, mean volume backscattering strength and so on. The simulation covers a wide range of sampling conditions, school sizes and densities, and a multivariate analysis allows the development of statistical models to estimate the bias introduced by the acoustic beam geometry. In order to automate the whole procedure, specialized calibration software has been developed, integrating algorithms based on the multivariate statistical models and allowing visualization of both original and calibrated data, along with various properties before and after applying the method.

Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή.....	1
1.1	Αρχές λειτουργίας ηχοβολιστικών και ακουστική μέτρηση στόχων	1
1.1.1	Γενική αρχιτεκτονική	1
1.1.2	Η ευαισθησία - ενεργειακό κατώφλι αποκοπής.....	3
1.1.3	Η ακουστική μέτρηση.....	3
1.2	Τα κατακόρυφα ηχοβολιστικά	6
1.2.1	Γενικά χαρακτηριστικά.....	6
1.2.2	Στόχοι και εκτίμηση βιομάζας.....	7
1.2.3	Παρατηρήσεις.....	7
1.3	Τα SONAR.....	7
1.3.1	Γενικά χαρακτηριστικά.....	8
1.3.2	Παρατηρήσεις.....	8
1.4	Το πρόβλημα	9
1.4.1	Μηχανισμός παραμόρφωσης ακουστικών μετρήσεων	9
1.4.2	Ενεργειακά και γεωμετρικά σφάλματα.....	12
1.5	Ο σκοπός.....	12
2	Υλικά και μέθοδοι	13
2.1	Το SONAR SIMRAD SP90	13
2.1.1	Ο μεταλλάκτης	13
2.1.2	Ο ακουστικός παλμός, εκπομπή και λήψη.....	13
2.1.3	Ενισχυτές και επεξεργασία σήματος	14
2.1.4	Η οπτικοποίηση των δεδομένων στο SP90.....	16
2.2	Τα ακουστικά δεδομένα	19
2.2.1	Το πρόγραμμα FADIO	19
2.2.2	Τα δεδομένα από το SP90	19
2.2.3	Χαρακτηριστικές δομές στα δεδομένα	19
2.3	Προετοιμασία και επιλογή δεδομένων εργασίας	24
2.3.1	Ημερολόγιο έρευνας και κατηγοριοποίηση δεδομένων.....	24
2.3.2	Εντοπισμός και εξαγωγή ακουστικών δεδομένων από επιλεγμένους στόχους.....	26
2.4	Λογισμικό ανάπτυξης και εφαρμογής της μεθόδου.....	28
2.4.1	Εργαλεία ανάλυσης και επεξεργασίας.....	28
2.4.2	Ο προσομοιωτής σιμνών SIMULA _{3D}	30
2.5	Προκαταρκτική ανάλυση.....	32
2.5.1	Εντοπισμός βασικών παραμέτρων των στόχων.....	33
2.5.2	Ποιοτική στατιστική ανάλυση δεδομένων εργασίας	34
2.6	Αναλυτική προσομοίωση	38
3	Αποτελέσματα.....	41
3.1	Αποτελέσματα προσομοίωσης.....	41
3.1.1	Νομογράμματα εκτίμησης ενέργειας.....	41
3.1.2	Νομόγραμμα διόρθωσης επιφάνειας	43
3.2	Γενικευμένος αλγόριθμος βαθμονόμησης.....	45
3.2.1	Εκτίμηση βιομάζας.....	45
3.2.2	Η περίπτωση των «προβληματικών» δεδομένων	46
3.3	Το εξειδικευμένο λογισμικό διόρθωσης auto_sv	47
3.3.1	Αυτόματη διόρθωση	48
3.3.2	Αναλυτική προσέγγιση	49

3.4	Εφαρμογή της μεθόδου σε πραγματικά δεδομένα	51
4	Συζήτηση.....	53
4.1	Η σημασία της μεθόδου που αναπτύχθηκε.....	53
4.1.1	Παραδοχές	53
4.1.2	Αποτελεσματικότητα	54
4.2	Η σημασία της προσομοίωσης	55
4.2.1	Εισαγόμενα σμήνη – Ορισμός διαδρομής	56
4.2.2	Αλγόριθμος ηχοβολισμού.....	56
4.3	Δεδομένα και πρωτόκολλο δειγματοληψίας.....	56
4.4	Μετά τι	57
4.4.1	Από τις δύο στις τρεις διαστάσεις.....	57
4.4.2	Ανακατασκευή αρχιτεκτονικής σμήνους σε επίπεδο ατόμου	58
5	Βιβλιογραφία	1

1 Εισαγωγή

Η υδροακουστική, είναι ο κλάδος της ακουστικής, που ασχολείται με τον τρόπο διάδοσης του ήχου στο νερό, και την ανάπτυξη τεχνολογίας η οποία βασίζεται στις φυσικές αρχές του συστήματος (Urick, 1983). Κατά κανόνα, η τηλεπισκόπηση στον υποθαλάσσιο χώρο επιτυγχάνεται με τη χρήση υδροακουστικής τεχνολογίας, λόγω της αποτελεσματικότερης διείσδυσης του ήχου στην υδάτινη μάζα σε σχέση με το φως. Το μεγάλο εύρος των υδροακουστικών εφαρμογών στον θαλάσσιο χώρο, έχει οδηγήσει σε αντιστοίχως μεγάλη ποικιλότητα σε τεχνολογικό επίπεδο. Ενδεικτικά αναφέρονται τα υδρόφωνα, οι ακουστικοί ρευματογράφοι, τα ηχοβολιστικά πλευρικής σάρωσης, οι ακουστικοί τομογράφοι πυθμένα και τα υδροακουστικά modem, ως εξαιρετικά διαφορετικά όργανα, που όμως βασίζονται στην ίδια αρχή. Από τα συνήθη σήματα που στέλνει ο άνθρωπος, τα ηχητικά είναι αυτά που ταξιδεύουν με την μικρότερη εξασθένιση στο νερό, και σε συνδυασμό με μερικές ακόμα χρήσιμες ιδιότητες τους επέτρεψαν την ανάπτυξη της υδροακουστικής τεχνολογίας.

Στην αλιευτική έρευνα, η υδροακουστική τεχνολογία χρησιμοποιείται κυρίως για την εκτίμηση του αποθέματος ιχθυοπληθυσμών και ηθολογικές μελέτες (MacLennan & Simmonds, 1992). Τα όργανα που χρησιμοποιούνται για τον σκοπό αυτό ονομάζονται ηχοβολιστικά και παρόλο που παρουσιάζουν αρκετές διαφοροποιήσεις μεταξύ τους, είναι δυνατόν να περιγραφούν ως διατάξεις που εκπέμπουν παλμούς και λαμβάνουν τις ανακλάσεις τους.

Η παρούσα εργασία ασχολείται με ένα τέτοιο τύπο οργάνου, τα SONAR – Sound Navigation And Ranging, και συγκεκριμένα με τα πολυκωνικά SONARS. Αρχικά γίνεται μία συνοπτική αναφορά στις αρχές λειτουργίας των ηχοβολιστικών, στις πρακτικές εφαρμογές τους στην αλιευτική έρευνα και τελικά στον τρόπο ακουστικής δειγματοληψίας των SONAR.

1.1 Αρχές λειτουργίας ηχοβολιστικών και ακουστική μέτρηση στόχων

Όπως και στις περισσότερες εφαρμογές που σχετίζονται με δεδομένα, έτσι και στα ακουστικά, για να κατανοήσει κάποιος πλήρως την ουσία ενός προβλήματος πρέπει πρώτα να εξοικειωθεί με το όργανο και τον τρόπο λειτουργίας του. Στο κεφάλαιο που ακολουθεί, περιγράφεται σύντομα η λειτουργία των ηχοβολιστικών και ειδικά των SONAR, ώστε να σχηματιστεί μια γενική εικόνα.

1.1.1 Γενική αρχιτεκτονική

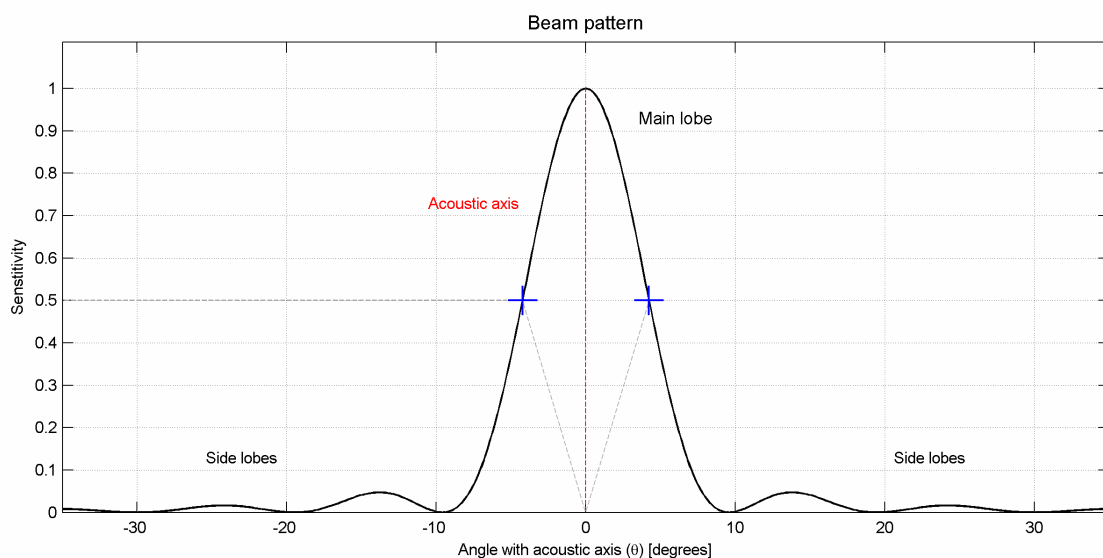
Η βασική αρχή λειτουργίας των ηχοβολιστικών είναι εξαιρετικά απλή. Ο πομπός, εκπέμπει παλμό συγκεκριμένων χαρακτηριστικών, ο οποίος ανακλάται σε επιφάνειες ασυνέχειας με το υδάτινο μέσο (ψάρια, πυθμένας κτλ). Στη συνέχεια, ο δέκτης λαμβάνει αυτή την «ηχώ», και αφού οι χρόνοι εκπομπής και λήψης του παλμού και η ταχύτητα του ήχου στο νερό είναι γνωστά, το σύστημα υπολογίζει την απόσταση από το αντικείμενο. Επίσης, από την διαφορά έντασης μεταξύ των σημάτων εκπομπής και άφιξης, το όργανο υπολογίζει το βαθμό ασυνέχειας του νερού με τον ανακλαστήρα.

Ο μεταλλάκτης

Η καρδιά σε ένα ηχοβολιστικό σύστημα είναι ο μεταλλάκτης, και πρόκειται για το όργανο που λειτουργεί ως πομπός και δέκτης των ακουστικών σημάτων. Οι σύγχρονοι

μεταλλάκτες αποτελούνται από συστοιχίες κεραμικών στοιχείων, η λειτουργία των οποίων βασίζεται στο πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο.

Κατά την εκπομπή, κάθε κεραμικό στοιχείο του μεταλλάκτη, μπορεί καταχρηστικά να θεωρηθεί ως σημειακή πηγή από την οποία ο ήχος διαδίδεται σφαιρικά. Έτσι, καθώς τα στοιχεία δέχονται ηλεκτρική τάση και πάλλονται ομοφασικά, φαινόμενα συμβολής των ακουστικών κυμάτων που παράγονται, έχουν σαν αποτέλεσμα, η ένταση του ήχου να αυξάνεται σε περιοχές που η διαφορά φάσης είναι κοντά στις 0° , και αντίστοιχα να μειώνεται γύρω από τις 180° . Έτσι, προκύπτουν οι ακουστικοί λοβοί, με τον κύριο λοβό να εμφανίζεται στην μεσοκάθετο ανάμεσα στα παλλόμενα στοιχεία (ακουστικός άξονας), όπου η ενίσχυση είναι μέγιστη. Από τα φαινόμενα συμβολής παράγεται ουσιαστικά η ευαισθησία του κώνου εκπομπής (transmission beam pattern) που μαθηματικά περιγράφεται από τη συνάρτηση $b^2(\theta)$ (θ : γωνία σημείου του χώρου με τον ακουστικό άξονα) που λέγεται συνάρτηση ευαισθησίας του ακουστικού κώνου (Εικόνα 1-1).



Εικόνα 1-1: Η συνάρτηση $b^2(\theta)$ που περιγράφει την ευαισθησία ενός υποθετικού κώνου. Διακρίνεται ο κύριος λοβός (Main Lobe) καθώς και οι δευτερεύοντες (Side Lobes). Οι μπλε δείκτες ορίζουν τον κώνο που αντιστοιχεί στη μισή ευαισθησία (Half-power beam).

Τα φαινόμενα κατά τη λήψη της ανάκλασης συμβαίνουν εντελώς αντίστροφα. Το ανακλώμενο σήμα επιστρέφει στον μεταλλάκτη και θέτει τα στοιχεία του σε ταλάντωση όμοιου πλάτους και συχνότητας με αυτά του παλμού. Το κάθε στοιχείο έτσι, εμφανίζει εναλλασσόμενη ηλεκτρική τάση. Ανάλογα με τη γωνία άφιξης της ανάκλασης από τον ακουστικό άξονα, το κάθε στοιχείο ταλαντώνεται με διαφορετική φάση, προκαλώντας ανάλογη συμβολή ηλεκτρικών φάσεων στα ηλεκτρονικά κυκλώματα του συστήματος. Φαίνεται έτσι ο τρόπος που η συνάρτηση ευαισθησίας ισχύει και κατά την λήψη της ανάκλασης.

Η αρχιτεκτονική του μεταλλάκτη καθορίζει ουσιαστικά τη μορφή του ακουστικού κώνου και άρα τα χαρακτηριστικά του ηχοβολιστικού. Γενικά, τα κεραμικά στοιχεία μπορούν να είναι από ελάχιστα στα πολύ απλά συστήματα, έως πολλές εκατοντάδες στα περισσότερο σύνθετα. Ο τρόπος επίδρασης του αριθμού των στοιχείων και της διάταξής τους είναι σύνθετο πρόβλημα (Simmonds, 1984) που δεν απασχολεί εδώ. Συχνά πάντως, τα στοιχεία γεφυρώνονται με διαφορετικό τρόπο στις δύο φάσεις λειτουργίας (εκπομπή και λήψη), με αποτέλεσμα την διαφοροποίηση μεταξύ της συνάρτησης ευαισθησίας (beam pattern) εκπομπής και λήψης. Αναφέρεται τέλος, ότι για επιστημονική χρήση, ο μεταλλάκτης είναι επιθυμητό να εμφανίζει μεγάλη

κατευθυντικότητα, δηλαδή να μεγιστοποιείται η ενέργεια στον κύριο λοβό και να ελαχιστοποιείται στους δευτερεύοντες.

Η ενίσχυση του ακουστικού σήματος

Κατά την ακουστική διάδοση, ο παλμός υφίσταται ενεργειακές απώλειες λόγω φαινομένων απόσβεσης και γεωμετρικής εξασθένησης. Η ένταση δηλαδή του παλμού μειώνεται με την απόσταση από τον μεταλλάκτη, οπότε δύο όμοιοι στόχοι να καταγράφονται διαφορετικά όταν δε βρίσκονται στην ίδια απόσταση. Για την εξισορρόπηση των απωλειών αυτών, χρησιμοποιείται η χρονικά μεταβαλλόμενη ενίσχυση (TVG – Time Varied Gain). Ο ενισχυτής TVG υπολογίζει την ενεργειακή απώλεια από τις εξισώσεις απόσβεσης και γεωμετρικής εξασθένησης και ενισχύει το σήμα κατάλληλα, συναρτήσει του χρόνου άφιξης (δηλαδή έμμεσα της απόστασης). Θεωρητικά, η συνάρτηση που περιγράφει την απόσβεση είναι:

$$\chi \log R + 2\alpha R$$

R: Η απόσταση από τον μεταλλάκτη [m]

α : Ο συντελεστής απορρόφησης ήχου στο νερό [dB/m]

χ : Μία σταθερά που εξαρτάται από το μοντέλο διάδοσης του ακουστικού κύματος (MacLennan, 1986). Η θεωρητικά σωστή τιμή είναι [20] για την παρατήρηση πολλαπλών στόχων (πχ. εκτίμηση βιομάζας) και [40] την παρατήρηση απομονωμένων στόχων (πχ. κατά τη βαθμονόμηση του οργάνου) (MacLennan & Simmonds, 1992).

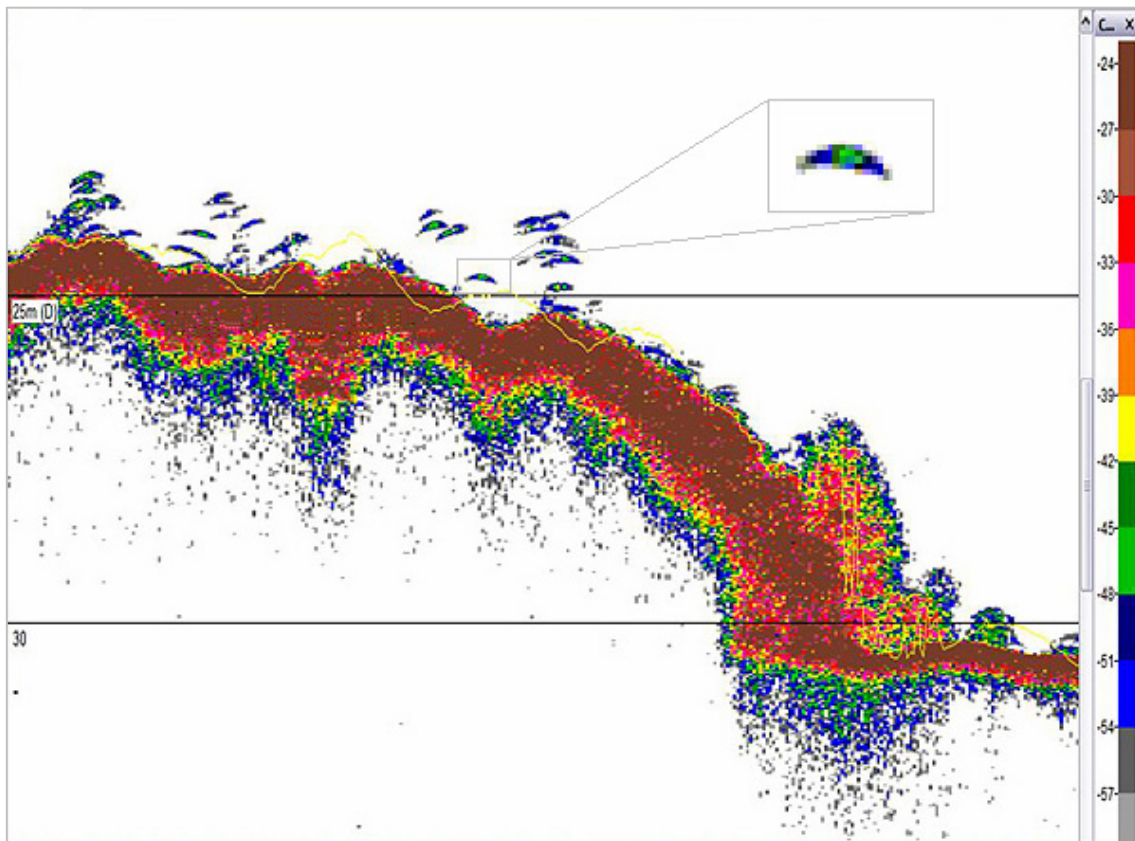
Πέρα από το TVG, στη διάταξη ενίσχυσης εντοπίζεται και ο κεντρικός ενισχυτής του σήματος (Gain), που ενισχύει το σήμα ομοιόμορφα σε όλο του το μήκος. Η ενίσχυση αυτή, μαζί με τη σχέση θορύβου προς σήμα (signal to noise ratio), καθορίζει στην πράξη το κατώτερο όριο εντοπισμού, δηλαδή την πιο αδύναμη ανάκλαση που το όργανο μπορεί να εντοπίσει.

1.1.2 Η ευαισθησία - ενεργειακό κατώφλι αποκοπής

Το ακουστικό σήμα, κατά την μετατροπή του σε ηλεκτρικό, αποκτά και ηλεκτρονικό θόρυβο χαμηλής ενέργειας, που οφείλεται κυρίως στους ενισχυτές, αλλά και στα ηλεκτρονικά συστήματα του σκάφους. Ο θόρυβος αυτός, εισάγει ουσιαστικά μία αδύναμη μέτρηση καθ' όλη τη διάρκεια του σήματος ανάκλασης, η οποία ενισχύεται επίσης από το TVG. Για την αντιμετώπιση του φαινομένου, χρησιμοποιείται ένα ενεργειακό κατώφλι (threshold) κάτω από το οποίο όλες οι ενεργειακές τιμές αποκόπτονται. Σημειώνεται τέλος, ότι η επιλογή του κατωφλίου έντασης που διακρίνει τι είναι θόρυβος και τι χρήσιμο σήμα είναι ένα εξαιρετικά ενδιαφέρον πρόβλημα και δραστήριο πεδίο έρευνας (Ona, 1987; Reynisson, 1996).

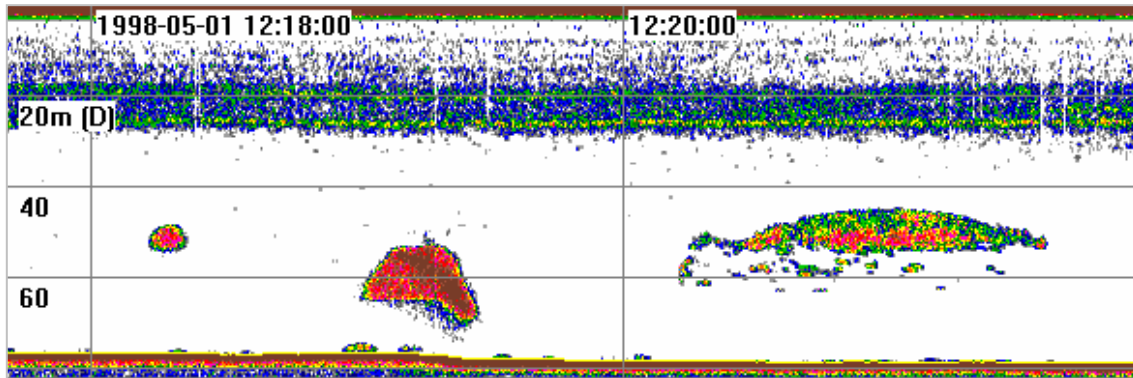
1.1.3 Η ακουστική μέτρηση

Διακριτική ικανότητα ενός ηχοβολιστικού, είναι η ελάχιστη απόσταση για την οποία δύο στόχοι διακρίνονται στην ακουστική ανάκλαση, και είναι αντιστρόφως ανάλογη με τη διάρκεια του παλμού. Έτσι, όταν οι στόχοι είναι σχετικά μεμονωμένοι - και η ηχώ τους ξεπερνά το ενεργειακό κατώφλι- ο καθένας αντιστοιχεί σε διακριτές ανακλάσεις του παλμού, και επομένως διακριτές ταλαντώσεις, στο ακουστικό σήμα. Τότε, η ένταση της ενέργειας του κάθε στόχου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή του ηχογράμματος που απεικονίζει διακριτούς στόχους (π.χ μεμονωμένα ψάρια) και να χρησιμοποιηθεί για ποσοτικούς υπολογισμούς (μήκος, βάρος) και άλλους δείκτες που αφορούν τους οργανισμούς (Εικόνα 1-2).



Εικόνα 1-2: Ηχογράμμα από κατακόρυφο ηχοβολιστικό επιστημονικών εφαρμογών (SIMRAD EK60). Ο άξονας y αντιστοιχεί στο βάθος και ο x στη πορεία του σκάφους. Η έντονη ανάκλαση προέρχεται από τον πυθμένα. Στο μεγεθυμένο χωρίο διακρίνεται ο τρόπος που απεικονίζονται τα εντοπιζόμενα άτομα.

Όταν η απόσταση μεταξύ των στόχων είναι μικρότερη από τη διακριτική ικανότητα του οργάνου, όπως συμβαίνει με τα πυκνά κοπάδια, πολλές ανακλάσεις αθροίζονται και προκαλούν μία συνολική διατάραξη στο σήμα. Τα ηχογράμματα στη περίπτωση αυτή απεικονίζουν σμήνη (Εικόνα 1-3), όπου η ανάλυση δεν είναι εφικτή σε επίπεδο ατόμου. Στο σημείο αυτό παρεμβαίνει η θεωρία ολοκλήρωσης του ακουστικού σήματος, η οποία επιτρέπει τη μετατροπή της ακουστικής μέτρησης σε μέση ενέργεια ανάκλασης ανά επιφάνεια ή όγκο (MacLennan, 1990). Τα ηχογράμματα μπορούν έτσι να εξυπηρετήσουν άλλες εφαρμογές της αλιευτικής έρευνας όπως η εκτίμηση βιομάζας και η εξαγωγή άλλων βιολογικών δεικτών που αφορούν σμήνη (διαστάσεις, διεύθυνση κίνησης κα).



Εικόνα 1-3: Ηχόγραμμα από κατακόρυφο ηχοβολιστικό επιστημονικών εφαρμογών. Οι μικρές αποστάσεις μεταξύ των ατόμων έχουν σαν αποτέλεσμα, οι συναθροίσεις να απεικονίζονται ως συμπαγείς δομές στο ηχόγραμμα.

Η ολοκλήρωση του ακουστικού σήματος

Συνοπτικά, το λαμβανόμενο ακουστικό σήμα δειγματοληπτείται με χρονικό βήμα που συνήθως αντιστοιχεί στο μήκος του ακουστικού παλμού που χρησιμοποιήθηκε (διακριτική ικανότητα). Το βήμα αυτό επηρεάζει και τον αριθμό των δειγμάτων που θα προκύψουν κατά μήκος του ακουστικού κώνου. Το σήμα υφίσταται επεξεργασία, ώστε αντί να αντιστοιχεί σε ένταση ηλεκτρικού ρεύματος, να αντιστοιχεί σε ακουστική ένταση στόχου (Target Strength - TS), και ολοκληρώνεται στο ορισμένο βήμα. Προκύπτει έτσι μία ενεργειακή τιμή για τον αντίστοιχο όγκο νερού (δηλαδή για το κάθε ακουστικό δείγμα). Η τιμή αυτή από μόνη της δεν έχει μεγάλη αξία καθώς εξαρτάται από το αρχικό σήμα και άλλες παραμέτρους του ηχοβολιστικού που δεν έχουν αναφερθεί. Έτσι η ενεργειακή τιμή που υπολογίστηκε από την ολοκλήρωση, μετασχηματίζεται με έναν τύπο που λαμβάνει υπόψη τις παραπάνω παραμέτρους, στον αντίστοιχο συντελεστή ανάκλασης όγκου (sv), το οποίο μπορεί καταχρηστικά να θεωρηθεί ως «ακουστική πυκνότητα» όγκου, δηλ ανάλογο της πυκνότητας αριθμού ψαριών στη μονάδα του όγκου.

Εξαιτίας της συνάρτησης ευαισθησίας του ακουστικού κώνου οι στόχοι συνεισφέρουν με διαφορετική βαρύτητα στην ακουστική μέτρηση, ανάλογα με τη γωνία που σχηματίζουν σε σχέση με τον ακουστικό άξονα του κώνου. Εισάγεται έτσι μία νέα γωνία κώνου Ψ , η οποία ορίζει έναν θεωρητικό κώνο όπου η ευαισθησία θεωρείται σταθερή και ίση με ένα, με αποτέλεσμα οι ενέργειες των στόχων να αθροίζονται ισοδύναμα. Η Ψ λέγεται ισοδύναμη γωνία κώνου (equivalent beam angle) και χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του sv. Στη συνέχεια το sv λογαριθμείται και προκύπτει η ένταση ανάκλασης όγκου (Sv) για το αντίστοιχο ακουστικό δείγμα. Το Sv εκφράζεται σε dB και είναι μέγεθος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της πυκνότητας του στόχου σε κάθε ακουστικό δείγμα (απαιτείται να είναι γνωστή η ένταση στόχου - TS).

Η αρχή της τυχαίας κατανομής

Βασική προϋπόθεση για την εγκυρότητα του Sv, είναι η αρχή της τυχαίας κατανομής (linearity principle) (Foote, 1983; MacLennan & Simmonds, 1992). Πρόκειται για την βασική παραδοχή πίσω από τη θεωρία ολοκλήρωσης του ακουστικού σήματος, ότι ουσιαστικά οι στόχοι είναι κατανεμημένοι με τυχαίο τρόπο μέσα στον όγκο δειγματοληψίας. Όταν η αρχή παραβιάζεται, η μετατροπή σε Sv δεν είναι δυνατή

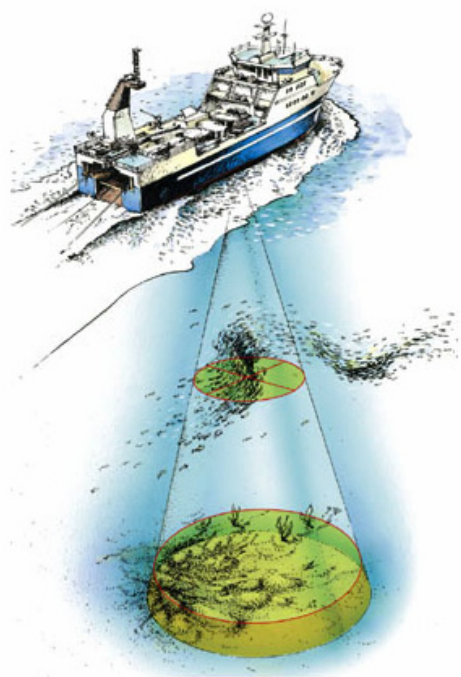
καθώς εισάγονται θετικά ή αρνητικά συστηματικά σφάλματα, ανάλογα με τον τρόπο παραβίασης.

Συγκεκριμένα, όταν τα άτομα γεμίζουν πλήρως τον όγκο δειγματοληψίας αλλά με πολύ κανονικές δομές (πχ παράλληλη στοίχιση), τότε η πυκνότητα ψαριών υπερεκτιμάται. Αντίθετα, όταν τα άτομα γεμίζουν -έστω και με τυχαίο τρόπο- ένα μόνο τμήμα του ακουστικού δείγματος, η αρχή παραβιάζεται και η πυκνότητα ψαριών υποεκτιμάται. Στην ακραία περίπτωση που τα άτομα σχηματίζουν εξαιρετικά πυκνές στρώσεις, ο ήχος αναλώνεται σε ανακλάσεις στο εσωτερικό του σμήνους και εμφανίζεται και πάλι υποτίμηση της πυκνότητας.

1.2 Τα κατακόρυφα ηχοβολιστικά

Τα κατακόρυφα ηχοβολιστικά χρησιμοποιούνται με μεγάλη επιτυχία -και κατά πλειοψηφία- σε μεγάλο εύρος εφαρμογών της αλιευτικής έρευνας, όπως εκτίμηση ιχθυαφθονίας (MacLennan & Simmonds, 1992), αναγνώριση ειδών (Haralabous & Georgakarakos, 1996) ή ηθολογικές μελέτες (Fréon *et al.*, 1992). Η αποτελεσματικότητά τους, έγκειται κυρίως στην αρχιτεκτονική τους, αλλά και στην εκτεταμένη έρευνα που έγινε προς τον σκοπό αυτό, τόσο σε επίπεδο τεχνολογίας όσο και στην ανάπτυξη λογισμικού και μεθόδων ανάλυσης. Υπάρχουν διάφορες παραλλαγές του υλικού από τη γενική δομή και εδώ παρουσιάζονται στη μορφή που είναι περισσότερο διαδεδομένη σε επιστημονικές εφαρμογές.

1.2.1 Γενικά χαρακτηριστικά

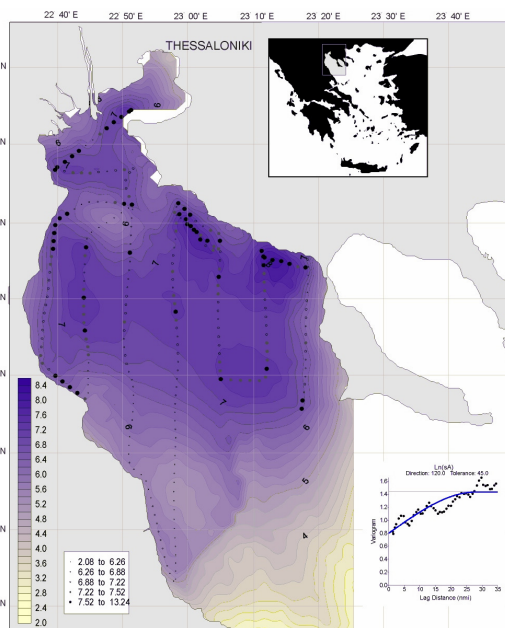


Εικόνα 1-4: Ακουστική δειγματοληψία με χρήση κατακόρυφου ηχοβολιστικού.

Τα κατακόρυφα ηχοβολιστικά αποτελούνται από έναν ακουστικό κώνο (μονοκωνικά συστήματα) που έχει σταθερό κατακόρυφο προσανατολισμό. Εντοπίζουν έτσι τους στόχους καθώς αυτοί διασχίζουν τη στήλη του νερού κάτω από το σκάφος (Εικόνα 1-4). Το ηχόγραμμα που προκύπτει από τα όργανα αυτά είναι ουσιαστικά μία σάρωση της στήλης του νερού κατά μήκος της πορείας του σκάφους όπου απεικονίζονται οι εντοπιζόμενοι στόχοι. Τα κατακόρυφα ηχοβολιστικά διαθέτουν κώνους μικρής στερεάς γωνίας και χρησιμοποιούν σύντομους παλμούς (~ 1 ms) με αποτέλεσμα να έχουν εξαιρετικά υψηλή διακριτική ικανότητα και να παρέχουν δεδομένα σε επίπεδο ατόμου (Εικόνα 1-2). Ακόμη και όταν γίνεται ηχοβολισμός ιδιαίτερα πυκνών σμηνών (όπου πλέον τα άτομα δεν διακρίνονται), το ηχόγραμμα του σμήνους είναι εξαιρετικά υψηλής ανάλυσης (Εικόνα 1-3). Τέλος, έχουν αναπτυχθεί αξιόλογες μέθοδοι και λογισμικά, για τη βαθμονόμηση, ανάλυση και διαχείριση των δεδομένων αυτών (Foote *et al.*, 1991; Georgakarakos & Paterakis, 1993; Weill *et al.*, 1993; Coetzee, 2000).

1.2.2 Στόχοι και εκτίμηση βιομάζας

Κατά τις αλιευτικές έρευνες εκτίμησης αποθέματος με κατακόρυφα ηχοβολιστικά, κατασκευάζεται αρχικά ένα σχέδιο χάραξης όπου περικλείεται το υπό μελέτη απόθεμα (Shotton & Bazigos, 1984). Στη συνέχεια, το σκάφος ακολουθεί το σχέδιο δειγματοληψίας, σαρώνοντας ακουστικά την στήλη του νερού. Ταυτόχρονα, συλλέγονται δείγματα (με αλιευτικά εργαλεία), ώστε να είναι γνωστή η σύσταση των ειδών, αλλά και οι ανά είδος κατανομές μήκους ατόμων που επηρεάζουν τις ακουστικές μετρήσεις (στρωματοποίηση των δεδομένων). Αφού γίνουν οι απαραίτητες αναγωγές, υπολογίζεται η πυκνότητα ατόμων ανά επιφάνεια για κάθε ναυτικό μίλι κατά την πορεία του σκάφους και τέλος μετατρέπεται σε βάρος με χρήση στατιστικών σχέσεων. Έπειτα με παρεμβολή (Kriging) υπολογίζονται οι τιμές και για τις περιοχές όπου δεν υπάρχουν μετρήσεις και κατασκευάζεται ο χωροπληθικός χάρτης (Εικόνα 1-5).



Εικόνα 1-5: Χωροπληθικός χάρτης ιχθυαφθονίας σαρδέλας από την περιοχή του Θεσσαλικού. Το χρώμα αντιστοιχεί σε πυκνότητα ιχθυομάζας.

Πέρα από την εκτίμηση βιομάζας, τα δεδομένα αυτά, αξιοποιούνται και σε περαιτέρω μελέτες που σχετίζονται με την αλιευτική βιολογία και την υδροακουστική τεχνολογία.

1.2.3 Παρατηρήσεις

Βασική προϋπόθεση για τον σχεδιασμό ενός ακριβούς χωροπληθικού χάρτη, είναι η πληροφορία σχετικά με τον χώρο δράσης και τα όρια του υπό μελέτη αποθέματος. Τότε, βασικός παράγοντας που καθορίζει την ποιότητα των μετρήσεων, είναι η πυκνότητα του πλέγματος δειγματοληψίας (sampling grid). Κάποιες διορθώσεις είναι αναγκαίες, που αφορούν σφάλματα στις μετρήσεις, ή τάσεις αποφυγής του σκάφους που εμφανίζουν ορισμένα είδη (Soria *et al.*, 2003; Gerlotto *et al.*, 2004). Τα φαινόμενα αποφυγής αντιμετωπίζονται με μοντέλα που βασίζονται σε ηθολογικές μελέτες.

Αντίθετα, όταν το υπό μελέτη είδος κινείται με μεγάλη ταχύτητα, όπως για παράδειγμα τα μεγάλα πελαγικά είδη, η αποτελεσματικότητα των κατακόρυφων ηχοβολιστικών είναι περιορισμένη. Το ίδιο συμβαίνει και όταν το υπό μελέτη είδος σχηματίζει συναθροίσεις κοντά στην επιφάνεια (ή σε πολύ ρηγά νερά) με αποτέλεσμα ο ηχοβολισμός με κατακόρυφο κώνο να μην είναι εφικτός.

1.3 Τα SONAR

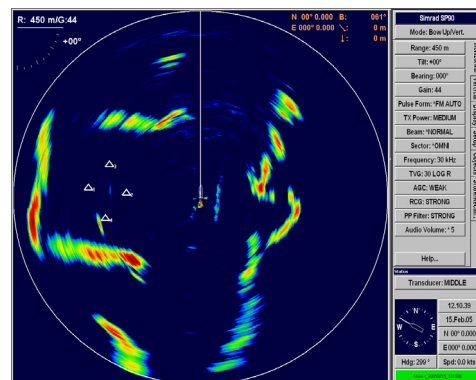
Λόγω των περιορισμών που αναφέρθηκαν για τα κατακόρυφα ηχοβολιστικά, οι επιστήμονες δείχνουν τα τελευταία χρόνια ενδιαφέρον για τη χρήση διαφορετικών

οργάνων στις περιπτώσεις όπου τα πρώτα δεν είναι αποτελεσματικά. Συγκεκριμένα, το ενδιαφέρον στρέφεται προς τα SONAR ή οριζόντια ηχοβολιστικά, καθώς δίνουν λύση στη πλειοψηφία των προβλημάτων αυτών (Gerlotta *et al.*, 2000).

Γενικότερα, τα SONAR χρησιμοποιούνται κυρίως στην βιομηχανικής κλίμακας αλιεία, ως εργαλεία εντοπισμού πελαγικών σμηνών (fish finders), και την παρακολούθηση τους καθώς αλιεύονται με κυκλικά δίχτυα. Η αρχική τους χρήση σε επιστημονικές εφαρμογές, ήταν ο εντοπισμός σμηνών τα οποία στη συνέχεια προσεγγίζονταν και ηχοβολούνταν με τα υψηλής ανάλυσης κατακόρυφα ηχοβολιστικά. Πρόσφατα, άρχισαν να χρησιμοποιούνται πειραματικά, σε αλιευτικές έρευνες εκτίμησης αποθέματος σε τροπικές κυρίως περιοχές (Brehmer *et al.*, 2007), όπου οι συναθροίσεις βρίσκονται συνήθως κοντά στην επιφάνεια. Σε ερευνητικό επίπεδο, έχουν προτερήματα όσον αφορά τον σχεδιασμό των αποστολών, καθώς, λόγω του προσανατολισμού και του μήκους των κώνων σαρώνουν ταυτόχρονα πολύ μεγάλες περιοχές, με αποτέλεσμα η χάραξη πορείας να είναι πιο αραιή και μεγάλες περιοχές να καλύπτονται σε σχετικά σύντομο χρόνο.

1.3.1 Γενικά χαρακτηριστικά

Στα SONAR ή οριζόντια ηχοβολιστικά, ο ακουστικός κώνος έχει οριζόντιο κύριο προσανατολισμό με δυνατότητα ρύθμισης της κλίσης του σε γωνία με την επιφάνεια της θάλασσας. Ο κώνος έχει και δυνατότητα περιστροφής 360° σε σχέση με την κατακόρυφο, ενώ τα πιο εξελιγμένα μοντέλα είναι πολυκωνικά, δηλαδή διαθέτουν μεγάλο πλήθος κώνων που συχνά καλύπτουν ταυτόχρονα την περιοχή γύρω από το σκάφος (πολυκατευθυντική εκπομπή) (Εικόνα 1-6). Από το σημείο αυτό, με τον όρο SONAR θα εννοούνται τα πολυκωνικά πολυκατευθυντικά συστήματα καθώς αυτά έχουν μεγαλύτερο επιστημονικό ενδιαφέρον.



Εικόνα 1-6: Ηχόγραμμα από SONAR. Το σκάφος βρίσκεται στο κέντρο και έχει πάντα πορεία προς τα πάνω. Το ηχόγραμμα περιστρέφεται αναλόγως με τον προσανατολισμό.

1.3.2 Παρατηρήσεις

Μία εγγενής ιδιομορφία των SONAR είναι η διάθλαση των ακουστικών κώνων, καθώς η ταχύτητα του ήχου στον νερό εμφανίζει στρωμάτωση. Έτσι, εφόσον στα SONAR το σήμα διαδίδεται σε γωνία με την κατακόρυφο, η ταχύτητα του παλμού μεταβάλλεται στην εγκάρσια διάστασή του με αποτέλεσμα να εμφανίζονται φαινόμενα διάθλασης. Καθώς η θερμοκρασία είναι εδώ η κυρίαρχη παράμετρος, το θερμοκλινές καθορίζει ουσιαστικά και τον τύπο της διάθλασης. Κατά το χειμερινό θερμοκλινές, ο ακουστικός κώνος κυρτώνεται προς την επιφάνεια και ανακλώντας σε αυτή στρέφεται προς το βυθό, έως ότου αρχίσει πάλι να κάμπτεται προς τα πάνω. Αντίθετα, κατά το θερινό θερμοκλινές ο κώνος στρέφεται προς μεγαλύτερα βάθη. Το φαινόμενο της διάθλασης επιδρά επομένως στη μέγιστη απόσταση εντοπισμού του SONAR. Επίσης, το σχήμα των κώνων παραμορφώνεται και η θέση τους στον χώρο διαφοροποιείται από την θεωρητική, με αποτέλεσμα να εισάγεται μεροληψία στην ακριβή θέση (απόσταση και βάθος) των μετρούμενων στόχων. Η έρευνα γύρω από τη κυματική διάδοση έχει αποδώσει μαθηματικά μοντέλα, τα οποία μπορούν να διορθώσουν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των δεδομένων, χρησιμοποιώντας μετρήσεις από CTD στην περιοχή

ηχοβολισμού. Ειδικά δε για τα λίγα χιλιόμετρα εντοπισμού των SONAR και τις υψηλές σχετικά συχνότητες, τα μοντέλα αυτά είναι εξαιρετικά αποτελεσματικά (Lurton, 2002).

Μία άλλη ιδιομορφία των SONAR σχετίζεται με την πρόσφατη εισαγωγή τους σε επιστημονικές ποσοτικές εφαρμογές. Λόγω της αρχιτεκτονικής του εργαλείου (περισσότεροι κώνοι, διαφορετικός προσανατολισμός, υψηλότερη χωρική ανάλυση) και των χαρακτηριστικών των στόχων, το δειγματοληπτικό αποτέλεσμα των ακουστικών μετρήσεων είναι διαφορετικού τύπου από αυτό των κατακόρυφων ηχοβολιστικών. Συνακόλουθα, οι προϋπάρχουσες τεχνικές και τα λογισμικά επεξεργασίας (Diner, 2001; Georgakarakos, 2005) δεν είναι ευθέως αξιοποιήσιμα. Σε αντιδιαστολή, η ανάγκη για τέτοιου τύπου εργαλεία και μεθοδολογίες είναι μεγάλη, καθώς τα SONAR είναι σε ορισμένες περιπτώσεις τα πλέον κατάλληλα εργαλεία που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ακουστικές μετρήσεις.

Τα σφάλματα που περιέχονται στις ακουστικές μετρήσεις στόχων, η διερεύνησή των παραγόντων που επιδρούν σε αυτά και η βαθμονόμηση των πολυκωνικών ακουστικών δεδομένων, είναι κεντρικοί στόχοι της εργασίας αυτής.

1.4 Το πρόβλημα

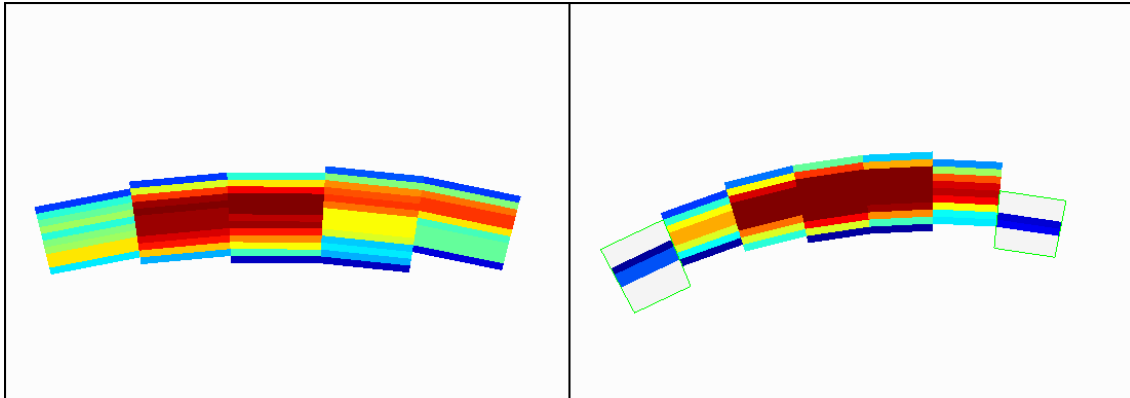
1.4.1 Μηχανισμός παραμόρφωσης ακουστικών μετρήσεων

Για να εξετασθούν όλες οι πιθανές πηγές εισαγωγής σφαλμάτων, το σύστημα πρέπει να μελετηθεί ξεκινώντας από τα στοιχειώδη. Έστω ένα σμήνος σε περιοχή που καλύπτεται -τουλάχιστον μερικώς- από τον όγκο δειγματοληψίας του SONAR. Κατά τη φάση ηχοβολισμού κάποια άτομα του σμήνους είναι κατανεμημένα με τυχαίο τρόπο στην περιοχή όπου σύμφωνα με τη συνάρτηση ευαισθησίας κάποιων ακουστικών κώνων, το σήμα που προκύπτει είναι πάνω από το κατώφλιο του συστήματος. Οι κώνοι αυτοί, ολοκληρώνοντας το σήμα επιστροφής ανά ακουστικό δείγμα, θα μετρήσουν σωστά την ακουστική πυκνότητα του σμήνους στη περιοχή αυτή (Εικόνα 1-7).

Όπως ειπώθηκε, τα υπό συζήτηση άτομα, βρίσκονται τυχαία μέσα σε κάποιους κώνους. Έστω τώρα ότι κάποια άτομα βρίσκονται οριακά στη περιοχή δράσης κάποιου κώνου, δεν θα είναι επομένως τυχαία πληρωμένα (παραβίαση αρχής τυχαίας κατανομής) και έτσι η ολοκλήρωση του σήματος θα οδηγήσει σε υποεκτίμηση της πραγματικής πυκνότητας. Εάν τα άτομα είναι λίγα ή έχουν μικρή ένταση στόχου, η μέτρηση θα έχει χαμηλότερη ενέργεια από την ευαισθησία του SONAR και έτσι δε θα γίνει αντιληπτή. Στην περίπτωση όμως, που οι ενέργειες που μετρώνται είναι πάνω από το κατώφλι αποκοπής (threshold), τότε το αντίστοιχο δείγμα στο ηχόγραμμα θα πάρει τιμή. Η μέτρηση θα απεικονιστεί στο ηχόγραμμα στη περιοχή που αντιστοιχεί στον γειτονικό κώνο¹ (Εικόνα 1-7).

Ο παραπάνω μηχανισμός, κάτω από αυτές τις συγκεκριμένες περιπτώσεις, παραποιεί το ηχόγραμμα, επηρεαζόμενος από μια σειρά παραγόντων. Για το λόγο αυτό, θα εξεταστούν εν συντομία οι κύριες παράμετροι που επιδρούν στα σφάλματα των ακουστικών μετρήσεων SONAR.

¹ Το πρόβλημα είναι στη πραγματικότητα περισσότερο σύνθετο καθώς οι ακουστικοί κώνοι εμφανίζουν συνήθως ισχυρή αλληλοεπικάλυψη, σε αντίθεση με το ηχόγραμμα όπου φαίνεται να εφάπτονται.



Εικόνα 1-7: Αριστερά, η ακουστική πυκνότητα έχει μετρηθεί σωστά και στους πέντε κώνους. Δεξιά, οι ακραίοι κώνοι (ο πρώτος και ο έβδομος) δεν ήταν τυχαία πληρωμένοι με άτομα και εμφανίζονται υποτιμημένες μετρήσεις (στα πράσινα χωρία).

Χωρική ανάλυση ως συνάρτηση της απόστασης

Η χωρική ανάλυση κατά μήκος του ακουστικού κώνου είναι σταθερή σε κάθε ηχόγραμμα και καθορίζεται από το ίδιο το SONAR σε 256 βήματα, ανεξάρτητα από την εμβέλεια που επιλέγει ο χρήστης στο ηχοβολιστικό. (Παράγραφος 1.1.3). Η ανάλυση εγκάρσια προς τη δέσμη ωστόσο, εξαρτάται άμεσα από την απόσταση από τον μεταλλάκτη. Συγκεκριμένα, λόγω των μεγάλων αποστάσεων εντοπισμού των SONAR, ακόμα και οι ακουστικοί κώνοι με υψηλή κατευθυντικότητα (μικρή στερεά γωνία), αποκτούν μεγάλο εύρος (σε μεγάλη απόσταση). Για παράδειγμα, ένας κώνος μόλις 5° , έχει τόξο μήκους $\sim 4.4\text{m}$ σε απόσταση 50m από τον μεταλλάκτη, το οποίο γίνεται $\sim 52\text{m}$ στα 600m απόστασης και $\sim 79\text{m}$ στα 900m . Όπως αναφέρθηκε, ο κώνος αυτός τεμαχίζεται με σταθερό βήμα κατά το μήκος του, και με τον τρόπο αυτό προκύπτουν τα ακουστικά δείγματα. Έτσι, η χωρική ανάλυση του SONAR, είναι μία φθίνουσα συνάρτηση της απόστασης (και μάλιστα ιδιαίτερα φθίνουσα). Η μικρότερη ανάλυση στις απομακρυσμένες περιοχές έχει σαν αποτέλεσμα χαμηλότερης ποιότητας μετρήσεις σε σχέση με τις πλησιέστερες. Θίγεται τόσο η γεωμετρία των στόχων, όσο και η ενεργειακή τους διακύμανση, όπως ακριβώς συμβαίνει σε μία χαμηλής ανάλυσης φωτογραφία.

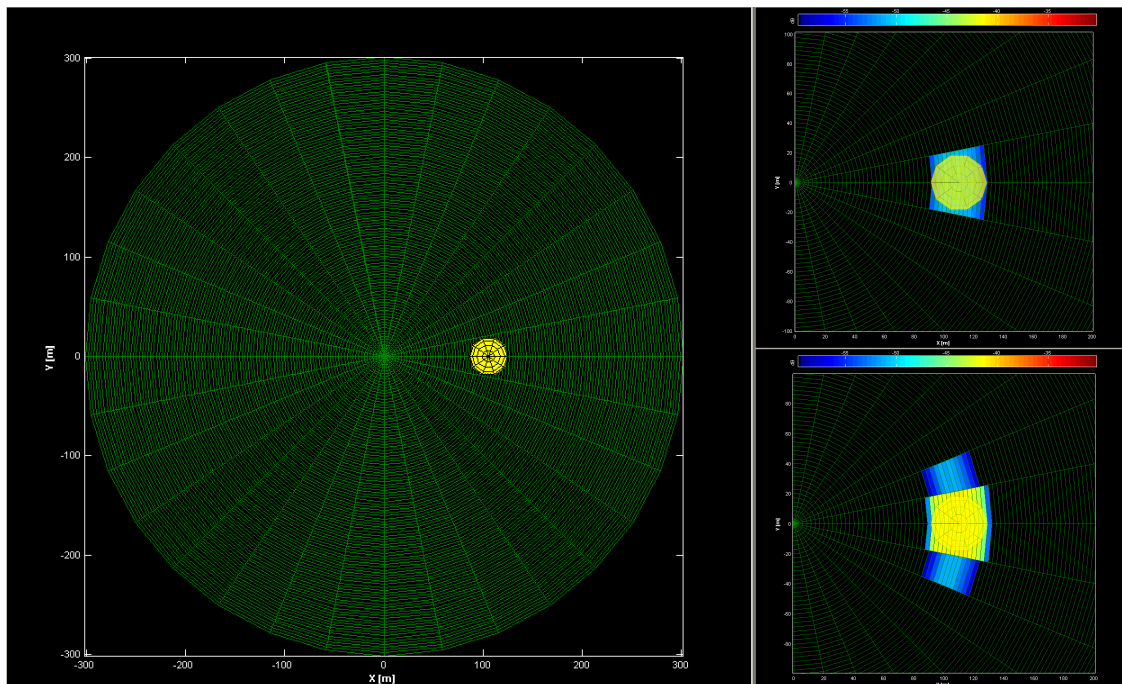
Παραβίαση αρχής τυχαίας κατανομής

Ειπώθηκε νωρίτερα, ότι προϋπόθεση για την αμερόληπτη ολοκλήρωση του ακουστικού σήματος, είναι η τυχαία κατανομή των στόχων μέσα στον ακουστικό κώνο. Στο περιθώριο των σιγνών και κυρίως σε μεγάλες αποστάσεις, η αρχή αυτή παραβιάζεται και αυτό επιτείνεται από τη σχετικά χαμηλή ανάλυση του όγκου δειγματοληψίας που θίχτηκε προηγουμένως. Είναι αναμενόμενο ότι για δεδομένο σμήνος, η αύξηση του όγκου δειγματοληψίας προκαλεί συχνότερη παραβίαση της αρχής, καθώς είναι πιο πιθανό να συμβεί μερική πλήρωση του όγκου. Το αποτέλεσμα είναι να εισάγονται επιπλέον σφάλματα στις ενεργειακές μετρήσεις, πέρα από τη μειωμένη ενεργειακή διακύμανση που αναφέρθηκε. Συγκεκριμένα, λόγω του τρόπου παραβίασης (δηλαδή της ανεπαρκούς πλήρωσης του όγκου δειγματοληψίας), οι μετρήσεις υποτιμούν την πυκνότητα των στόχων.

Δειγματοληπτικός χώρος και ηχόγραμμα

Ένα παραπλανητικό πρόβλημα που εύκολα παραβλέπεται είναι η ασυμφωνία μεταξύ δειγματοληπτικού χώρου και ηχογράμματος. Όλα ξεκινούν από την συνάρτηση ευαισθησίας του ακουστικού κώνου, η οποία ορίζει ένα σύνθετο γεωμετρικό σχήμα που δεν θυμίζει ιδιαίτερα κώνο. Με την παραδοχή ότι οι δευτερεύοντες λοβοί (side lobes) περιέχουν συνήθως λιγότερο από 1% της εκπεμπόμενης ενέργειας (Simmonds, 1984), το σχήμα της συνάρτησης προσεγγίζεται από το κωνικό σε ικανοποιητικό βαθμό.

Οι ακουστικοί κώνοι σε ένα πολυκωνικό SONAR τοποθετούνται με τέτοιο τρόπο, ώστε ο καθένας τους να συνορεύει με το διπλανό του περίπου σε μια γωνία που η ένταση εκπομπής έχει πέσει στο 50% της ευαισθησίας του ή έχει πέσει στο 25% της συνολικής του ευαισθησίας (εκπομπής και πρόσληψης). Το υπόλοιπο 25% που έχει απομείνει επικαλύπτεται από τους γειτονικούς κώνους. Το φαινόμενο αυτό στο εσωτερικό ενός σμήνους δεν δημιουργεί πρόβλημα στο ηχόγραμμα, όχι όμως αν συμβεί στο περιθώριο του σμήνους. Ο ακραίος κώνος μπορεί να προσλαμβάνει ακουστική ανάκλαση από γωνία που αντιστοιχεί στο 0.1% της ευαισθησίας του, ή 25-30⁰ πέρα από τον ακουστικό του άξονα. . Οι ακραίοι αυτοί κώνοι συμβάλουν με μικρότερη ευαισθησία, όπως προαναφέρθηκε, αλλά σε περίπτωση πυκνών στόχων, αυτό το 0.1 % που προσλαμβάνεται μπορεί να υπερβαίνει το threshold και να απεικονίζεται τελικά στο ηχόγραμμα σε «παραπλανητική» θέση (Εικόνα 1-8). Με τον τρόπο αυτό, σε ακραίες περιπτώσεις απεικονίζονται ίχνη ανάκλασης σε περιοχή που στη πραγματικότητα δεν υπάρχει σμήνος. Ενώ οι μετρήσεις αυτές είναι υποτιμημένες, το σφάλμα μετασχηματίζεται σε θετικό λόγω της λαθεμένης προβολής.



Εικόνα 1-8: Αριστερά, σμήνος βρίσκεται στη περιοχή δύο κύριων ακουστικών κώνων. Πάνω δεξιά, ο συνδυασμός πυκνότητας σμήνους και ευαισθησίας του SONAR έχει σαν αποτέλεσμα οι μετρήσεις να συμφωνούν με τη πραγματική θέση του σμήνους. Δεξιά κάτω, η μεγαλύτερη πυκνότητα του σμήνους έχει σαν αποτέλεσμα οι γειτονικοί κώνοι να λαμβάνουν περισσότερη ενέργεια η οποία προβάλλεται τελικά στο ηχόγραμμα.

Οι στόχοι

Τέλος, τα χαρακτηριστικά των στόχων επίσης επηρεάζουν έμμεσα τα σφάλματα στο ηχογράμμα. Ουσιαστικά, το μέγεθος και η δομή των στόχων καθορίζουν το βαθμό επίδρασης των παραγόντων που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Κύριο ρόλο όπως θα φανεί αργότερα, παίζει το μέγεθος καθώς επίσης και η πυκνότητα του σμήνους.

1.4.2 Ενεργειακά και γεωμετρικά σφάλματα

Τα υπό συζήτηση σφάλματα μπορούν, σε επίπεδο ηχογράμματος, να κατηγοριοποιηθούν σε γεωμετρικού και ενεργειακού τύπου σφάλματα. Η διάκριση αυτή φαίνεται να έχει και κάποια θεωρητική υπόσταση ως προς το μηχανισμό γένεσης σφαλμάτων, κάτι που εξετάζεται αργότερα.

Τα γεωμετρικά σφάλματα, οφείλονται γενικά στη χωρική ανάλυση του SONAR και έτσι αυξάνονται όταν ο στόχος βρίσκεται σε μεγαλύτερη απόσταση (όπου η ανάλυση είναι χαμηλότερη). Πρόκειται για αποκλίσεις σε σχέση με τη πραγματική επιφάνεια του στόχου, όσον αφορά στο σχήμα και στο συνολικό εμβαδόν. Τα γεωμετρικά σφάλματα επηρεάζουν επομένως τον υπολογισμό των γεωμετρικών δεικτών του σμήνους, όπως το γεωμετρικό κέντρο, το μήκος, το πλάτος, κα. Οι δείκτες αυτοί με τη σειρά τους, εισάγουν σφάλματα κατά τον προσδιορισμό της θέσης του σμήνους στο χώρο και άρα και της ταχύτητάς του (Trygonis & Georgakarakos, 2007b).

Τα ενεργειακά σφάλματα οφείλονται στη χωρική ανάλυση του SONAR, τη συνάρτηση ευαισθησίας του κώνου και τη δομή του στόχου που ηχοβολείται. Συγκεκριμένα, γεννώνται όταν ο συνδυασμός των τριών παραγόντων οδηγεί στη παραβίαση της αρχής τυχαίας κατανομής. Επιδρούν στην ακουστική μέτρηση της έντασης του στόχου στο ακουστικό δείγμα, ενώ λόγω της χαμηλής ανάλυσης των SONAR, τα σφάλματα είναι κατά κανόνα αρνητικά. Ακόμα και σε κοντινές σχετικά αποστάσεις το φαινόμενο μπορεί να γίνει ιδιαίτερα έντονο, με αποτέλεσμα να απαιτείται διόρθωση των ακουστικών μετρήσεων για την εκτίμηση της βιομάζας. Επίσης, η ενεργειακή αλλοίωση των σμηνών δυσχεραίνει την εξαγωγή ενεργειακών δεικτών για τα σμήνη και την εσωτερική δομή τους. Τέλος, τα σφάλματα αυτά επιδρούν έμμεσα και στη γεωμετρία, καθώς δείκτες όπως το κέντρο μάζας ενός σμήνους επηρεάζονται από τις τιμές των επιμέρους δειγμάτων του.

Τα γεωμετρικά και τα ενεργειακά σφάλματα έχουν παρουσία στη πλειοψηφία των δεδομένων προερχόμενων από SONAR. Παρόλη την βαρύτητά τους, η βιβλιογραφία είναι φτωχή όσον αφορά αναλυτικές μεθόδους για τον υπολογισμό τους και τη βαθμονόμηση τελικά των δεδομένων.

1.5 Ο σκοπός

Συνοπτικά, σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να γίνει μία απόπειρα προσέγγισης του προβλήματος βαθμονόμησης των πολυκωνικών ακουστικών δεδομένων. Όπως αναφέρθηκε, πρόκειται για ένα χώρο όπου η σχετική βιβλιογραφία είναι φτωχή και έτσι υπάρχει παράλληλο ερευνητικό ενδιαφέρον.

Κρίσιμο στάδιο στη προσέγγιση, είναι ο εντοπισμός και η κατανόηση των μηχανισμών που παράγουν τα σφάλματα. Για την ποσοτικοποίηση των σφαλμάτων αυτών θα εφαρμοστούν τεχνικές προσομοίωσης. Η προσομοίωση βέβαια δεν αποτελεί αυτοσκοπό της εργασίας και το κύριο βάρος θα δοθεί στην ανάλυση των δεδομένων και στην ανάπτυξη στατιστικών μοντέλων για την εκτίμηση των παραμέτρων των σμηνών.

2 Υλικά και μέθοδοι

2.1 Το SONAR SIMRAD SP90

Το SIMRAD SP90 είναι ένα πολυκατευθυντικό, πολυκωνικό SONAR μέσης συχνότητας και μεγάλου βεληνεκούς, σχεδιασμένο κυρίως για αλιευτικές εφαρμογές σε μεσαία και μεγάλα σκάφη (Simrad, 2002). Το συγκεκριμένο εργαλείο χρησιμοποιείται εκτεταμένα στην εμπορική αλιεία των μεγάλων πελαγικών λόγω των πλεονεκτημάτων του σε σχέση με τα κατακόρυφα ηχοβολιστικά και άλλα υποδεέστερα SONAR. Το SP90 διαθέτει επίσης και χαρακτηριστικά που το καθιστούν κατάλληλο για επιστημονικές εφαρμογές σε θέματα αλιευτικής διαχείρισης, με αποτέλεσμα να προσελκύει και το ενδιαφέρον των ερευνητών.

Στη συνέχεια αυτού του κεφαλαίου θα παρουσιαστούν τα τεχνικά χαρακτηριστικά του SP90 καθώς επίσης και οι συγκεκριμένες δυνατότητες που έχουν επιστημονικό ενδιαφέρον. Μεγάλο μέρος όσων αναφέρονται, ισχύουν όχι μόνο για το συγκεκριμένο αλλά και για τα περισσότερα SONAR και ορισμένα κατακόρυφα ηχοβολιστικά. Η εξειδικευμένη παρουσίαση του SP90 γίνεται για την εξοικείωση με το όργανο και τα πρωτογενή δεδομένα που θα διερευνηθούν παρακάτω.

2.1.1 Ο μεταλλάκτης

Το SP90 είναι εξοπλισμένο με ένα κυλινδρικό μεταλλάκτη 256 στοιχείων ο οποίος μπορεί να λειτουργήσει πολυκατευθυντικά, και να χρησιμοποιηθεί οριζόντια ή πλευρικά-κατακόρυφα ή σε εναλλαγή μεταξύ των δύο αυτών τύπων ανά ηχοβολισμό (Εικόνα 2-1). Σε πολυκατευθυντική λειτουργία, η κλίση των ακουστικών δεσμών ρυθμίζεται ηλεκτρονικά σε γωνίες από $+10^\circ$ έως -60° σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο, ενώ η βασική συχνότητα του παλμού είναι 26kHz και η μέγιστη απόσταση εντοπισμού 8000m. Η βάση έδρασης του μεταλλάκτη έχει δυνατότητα βύθισης από 1.2 έως 1.6 m.



Εικόνα 2-1: Ο μεταλλάκτης του SIMRAD SP90 στην καρίνα του ερευνητικού σκάφους.

Επιπλέον δυνατότητες είναι διαθέσιμες και ενεργοποιούνται στη περίπτωση που ο ιδιοκτήτης προμηθευτεί τα αντίστοιχα firmware. Συγκεκριμένα, διατίθεται η επιλογή συστήματος τριών συχνοτήτων (24kHz, 26kHz και 28kHz), πολλαπλών συχνοτήτων (20kHz – 30kHz με βήμα 1kHz) και τέλος σύστημα ηλεκτρονικής σταθεροποίησης για απόσβεση των κλυδωνισμών του σκάφους, εύρους 40° ($\pm 20^\circ$). Η δυνατότητα πολλαπλών συχνοτήτων έχει στόχο, σύμφωνα με τον κατασκευαστή, την αποφυγή παρεμβολών από άλλα ηχοβολιστικά που βρίσκονται στο ίδιο σκάφος.

2.1.2 Ο ακουστικός παλμός, εκπομπή και λήψη

Κατά την εκπομπή του παλμού σχηματίζονται 32 ακουστικές δέσμες που καλύπτουν 360° και αποτελούν το πολυκωνικό σήμα εκπομπής. Κατά τη λήψη της ανάκλασης λειτουργούν 64 ακουστικοί κώνοι καλύπτοντας επίσης 360° .

Η ισχύς του παλμού μπορεί να ρυθμιστεί μέσω της τάσης σε 100, 50 ή 25 Volt, ενώ ο χρήστης μπορεί να απενεργοποιήσει τον παλμό, οπότε το SONAR ενεργεί μόνο ως δέκτης, σε παθητική δηλαδή λειτουργία.

Το SP90 υποστηρίζει δύο τύπους λειτουργίας για τον παλμό, μιας συχνότητας σε συνεχές κύμα (Continuous Wave – CW), και διαμόρφωση συχνότητας (Frequency Modulation – FM). Σε λειτουργία μίας συχνότητας, ο μεταλλάκτης εκπέμπει τη συχνότητα που έχει επιλέξει ο χρήστης για όλη τη διάρκεια του παλμού. Σε λειτουργία φάσματος συχνότητας ο μεταλλάκτης εκπέμπει ένα πλήθος συχνοτήτων, γύρω από τη βασική συχνότητα που έχει επιλέξει ο χρήστης. Κατά τον κατασκευαστή, η λειτουργία αυτή επιτρέπει την καλύτερη απεικόνιση, καθώς οι διαμορφωμένες συχνότητες χρησιμοποιούνται ως κωδικός ταυτοποίησης των λαμβανόμενων ανακλάσεων.

2.1.3 Ενισχυτές και επεξεργασία σήματος

Η παράγραφος περιγράφει συνοπτικά τον τρόπο με τον οποίο το SP90 συμπεριφέρεται στο σήμα ως δέκτης και επεξεργαστής. Εξετάζεται η ενεργητική και πολυκατευθυντική λειτουργία, καθώς αυτή είναι που χαρακτηρίζει τη πλειοψηφία των διαθέσιμων δεδομένων.

Κατά τη λήψη των ακουστικών ανακλάσεων ανά ηχοβολισμό, ο μεταλλάκτης του SP90 μετατρέπει τις μεταβολές ακουστικής έντασης σε αντίστοιχες μεταβολές στη τάση του ηλεκτρικού σήματος. Ολοκληρωμένα κυκλώματα ενισχύουν το σήμα, το ψηφιοποιούν μέχρι την εμβέλεια που επέλεξε ο χρήστης και κατόπιν διαιρούν τη χρονοσειρά του ακουστικού σήματος σε 256 διαδοχικά τμήματα (ακουστικά δείγματα). Για κάθε ακουστικό δείγμα υπολογίζεται η τιμή ολοκλήρωσης του ακουστικού σήματος στον αντίστοιχο όγκο του ακουστικού κώνου. Τελικά, η ακουστική πληροφορία που προσφέρεται από το SP90 στο χρήστη αποτελείται από 64 δέσμες με 256 τιμές ανά δέσμη (συνιστώντας πρακτικά έναν αλγεβρικό πίνακα διαστάσεων 256×64).

Οι ολοκληρωμένες τιμές μετατρέπονται σε μία χρωματική λογαριθμική κλίμακα 64 τιμών (S_{V_c}) σταθερού εύρους 30dB και απεικονίζονται στην οθόνη του SP90. Ο αριθμός των χρωμάτων μπορεί να μειωθεί από τον χρήστη με αντίστοιχες επιπτώσεις στην απεικόνιση καθώς σε μεγάλες αποστάσεις οι ανακλάσεις είναι συνήθως αδύναμες και θα αποκόβονται. Λόγω του υλικού, το εύρος εντοπισμού περιορίζεται στα 30dB και ουσιαστικά ορίζει το ενεργειακό «παραθύρο» δειγματοληψίας. Όπως θα φανεί στην συνέχεια, η θέση του «παραθύρου» αυτού στο ενεργειακό φάσμα καθορίζεται από τις επιλογές ενίσχυσης που έχει κάνει ο χρήστης.

Το σήμα ενισχύεται σε διάφορα βήματα επεξεργασίας. Ο ενισχυτής του SP90 μπορεί να διαχωριστεί σε τέσσερα λογικά υποσυστήματα:

- Η χρονικά μεταβαλλόμενη ενίσχυση (Time Varied Gain – TVG)
- Ο βασικός ενισχυτής (Gain)
- Ο ενισχυτής απεικόνισης (Display Gain)
- Η αυτόματη ρύθμιση ενισχυτή (Auto Gain Control – AGC)

TVG

Πρόκειται για μία από τις σημαντικότερες διατάξεις της ενίσχυσης και συναντάται σε κάθε τύπο ενεργού ηχοβολιστικού. Το TVG ενισχύει την κάθε ανάκλαση σε σχέση με την καθυστέρησή της από την εκπομπή του παλμού (ουσιαστικά την απόσταση από τον μεταλλάκτη) με σκοπό την εξισορρόπηση των απωλειών που υφίσταται λόγω των φαινομένων απορρόφησης και γεωμετρικής εξασθένισης κατά την

διάδοση του ήχου (κεφάλαιο 1.1.1). Το TVG εξασφαλίζει λοιπόν ότι ο ίδιος στόχος θα εμφανίζει προσεγγιστικά την ίδια εικόνα ανεξαρτήτως της απόστασής του από τον μεταλλάκτη. Όσον αφορά το SP90, το TVG ρυθμίζεται από τον χρήστη σε στάθμη $[0,10,15,20,25,30] \cdot \log R + 2\alpha R$, πχ:

$$\text{TVG} = 20 \text{ Log } R + 2 \alpha R$$

R: η απόσταση από τον μεταλλάκτη [m]

α: ο συντελεστής απορρόφησης του ήχου στο νερό [dB/m] που εισάγεται από τον χρήστη αναλόγως με τη περιοχή λειτουργίας του SONAR (ενδεικτικά, ~ 0.0022 dB/m).

Η επιλογή $[20 \log R + 2\alpha R]$ χρησιμοποιείται όταν το σμήνος είναι αρκετά μεγάλο, ώστε να καλύπτει πολλούς ακουστικούς κώνους, ενώ για μικρά σμήνη, που μπορούν να θεωρηθούν ως σημειακοί στόχοι μέσα στον ακουστικό κώνο, χρησιμοποιείται η $[40 \text{ Log } R + 2\alpha R]$ επιλογή.

Gain και Display Gain

Το Gain είναι ουσιαστικά ο κεντρικός ενισχυτής. Ρυθμίζεται από τον χρήστη σε τιμές $[0-50]$ dB με βήμα 1dB και καθορίζει (μαζί με το Display Gain) την ελάχιστη ενεργειακή τιμή που θα μετράται. Έτσι όταν απαιτείται εντοπισμός αδύναμων ανακλάσεων, το Gain πρέπει να είναι ισχυρό και αντίθετα όταν εξετάζονται ισχυρές ανακλάσεις.

Το Display Gain θα περίμενε κανείς να λειτουργεί ανεξάρτητα, πάνω στα ολοκληρωμένα δεδομένα (τελικό ηχόγραμμα). Σύμφωνα όμως με τον κατασκευαστή, λαμβάνεται επίσης υπόψη κατά τη μετατροπή των χρωματικών τιμών σε dB, γεγονός που σημαίνει ότι και αυτό δρα σε χαμηλό επίπεδο, συμπληρωματικά ως προς το Gain, καθορίζοντας την ευαισθησία του SONAR. Το Display Gain ρυθμίζεται από τον χρήστη σε τιμές $[0-9] \times 3$ dB.

Η SIMRAD παρέχει τον τύπο μετατροπής των χρωματικών τιμών σε ένταση ανάκλασης όγκου – S_v .

$$S_v = (30/64)S_{v_c} - (Gain) - 3 * (Display_Gain)$$

S_{v_c} : Χρωματική τιμή δείγματος στην παλέτα χρωμάτων του SP90

Gain: Η ρύθμιση του Gain [dB]

Display_Gain: Η ρύθμιση του Display Gain [dB]

AGC

Το AGC αναφέρεται από τη SIMRAD ως φίλτρο και είναι ουσιαστικά ένα σύστημα αυτόματης ρύθμισης του Gain. Στη πράξη, το AGC είναι ένας αλγόριθμος ο οποίος λαμβάνει σήματα από πέντε διευθύνσεις, με τις μεγαλύτερες ανακλάσεις και ανάλογα με την ένταση αυτών παρακάμπτει τη χειροκίνητη ρύθμιση του Gain αυτοματοποιώντας την ενίσχυση του σήματος, αλλά με τρόπο που αποτελεί βιομηχανικό μυστικό και δεν δημοσιοποιείται. Το AGC έχει τέσσερις στάθμες λειτουργίας του φίλτρου, ισχυρό (strong), μέτριο (medium), αδύναμο (weak) και ανενεργό (off) φίλτρο. Μόνον όταν επιλέγεται το τελευταίο φίλτρο είναι δυνατή η απόλυτη εκτίμηση της έντασης του στόχου. Στα υπόλοιπα φίλτρα μόνο σχετική εκτίμηση είναι δυνατή.

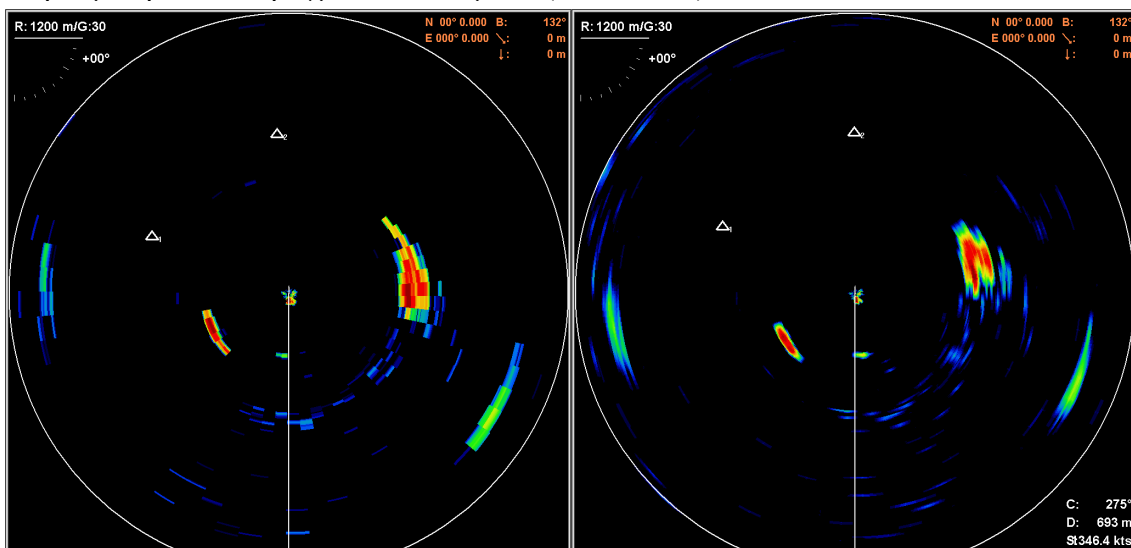
Το AGC είναι πολύ ισχυρό εργαλείο σε πλήθος εφαρμογών επεξεργασίας σήματος (signal processing) και στην προκειμένη περίπτωση η βελτίωση της

απεικόνισης του ηχογράμματος (έναντι ασθενών κυρίως στόχων) φαίνεται εξαιρετικά αποτελεσματική. Ωστόσο, η αυτόματη ρύθμιση δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί όταν απαιτούνται ποσοτικές εκτιμήσεις, όπως στην περίπτωση εκτίμησης της βιομάζας, για την οποία χρησιμοποιούνται μοντέλα μετατροπής του Sv σε kg/m^3 ή άτομα/ m^3 .

2.1.4 Η οπτικοποίηση των δεδομένων στο SP90

Όταν όλες οι φάσεις επεξεργασίας ολοκληρωθούν, τα ακουστικά δεδομένα είναι έτοιμα για οπτικοποίηση. Το ηχόγραμμα προβάλλεται σε οθόνη υγρών κρυστάλλων που είναι συνδεδεμένη με την κεντρική μονάδα του SP90. Το γραφικό περιβάλλον είναι μερικώς παραμετροποιήσιμο και πέρα από πληροφορίες σχετικά με τη λειτουργία του SP90, χρησιμοποιείται για τον χειρισμό του οργάνου.

Όπως αναφέρθηκε, το τελικό ηχόγραμμα είναι ουσιαστικά ένας πίνακας 64 στηλών, μία για κάθε δέσμη, και 256 γραμμών, όσα και τα ακουστικά δείγματα κατά μήκος του κάθε κώνου. Το ηχόγραμμα στην οθόνη του μηχανήματος απεικονίζεται με πολική ανάπτυξη των στοιχείων του πίνακα. Όμως, η μεταβαλλόμενη και σχετικά χαμηλή χωρική ανάλυση του πίνακα αυτού, έχει σαν αποτέλεσμα μία «αδρή» εικόνα για το μέσο μάτι. Έτσι, κατά την απεικόνιση, εφαρμόζονται αυθαίρετα φίλτρα εξομάλυνσης, ώστε οι στόχοι να αποκτήσουν πιο ομαλό σχήμα και ενεργειακή διαβάθμιση από τα πραγματικά δεδομένα (Εικόνα 2-2)



Εικόνα 2-2: Αριστερά, ηχόγραμμα του SP90 όπως προκύπτει από τις πραγματικές ακουστικές μετρήσεις. Δεξιά, το αντίστοιχο ηχόγραμμα όπως εμφανίζεται στην οθόνη του SP90.

Πέρα από την απεικόνιση σε πραγματικό χρόνο, το SP90 διαθέτει δυνατότητα εξαγωγής δεδομένων σε μορφή εικόνων κωδικοποιημένων σε bitmap (.bmp), καθώς επίσης και την (πειραματική) επιστημονική έξοδο πρωτογενών δεδομένων (raw data) μέσω πρωτοκόλλου Ethernet σε εξωτερικό αποθηκευτικό μέσο. Οι δύο λειτουργίες μπορούν να εκτελούνται ταυτόχρονα και έτσι να αποθηκεύεται ένα ζεύγος αρχείων ανά ηχοβολισμό.

Τα αρχεία εικόνων

Τα αρχεία εικόνων είναι ουσιαστικά η κωδικοποίηση του buffer της οθόνης σε BMP format με ανάλυση 1280×1024 και χρώμα 24bit. Για κάθε ηχοβολισμό, ένα αντίγραφο του περιεχομένου της οθόνης του SP90 αποθηκεύεται στον δίσκο.

Τα αρχεία εικόνων χρησιμοποιούνται για λόγους αρχειοθέτησης, ποιοτικές παρατηρήσεις, καθώς επίσης και για επιστημονικές εφαρμογές που χρησιμοποιούν

μεθόδους επεξεργασίας εικόνας. Η μακροχρόνια ανάπτυξη τεχνικών επεξεργασίας εικόνας έχει προσφέρει πολλά εργαλεία για την εκμετάλλευση των αρχείων αυτών ενώ έχουν αναπτυχθεί και εξειδικευμένες εφαρμογές (Brehmer *et al.*, 1999; Hamitouche-Djabou *et al.*, 1999).

Παρά τα χρήσιμα αποτελέσματα που προκύπτουν, τα αρχεία εικόνας έχουν ιδιομορφίες και περιορισμούς που τα καθιστούν υποδεέστερα των ψηφιακών ακατέργαστων δεδομένων (digital raw data) για επιστημονικές εφαρμογές. Οι επιλογές απεικόνισης του χρήστη επηρεάζουν το εκάστοτε αρχείο, καθώς αποθηκεύονται τα μενού και τα υπόλοιπα γραφικά παράθυρα που χρησιμοποιούνται. Επίσης, σημαντικές λειτουργικές ρυθμίσεις του SONAR (απαραίτητες στην μετέπειτα επεξεργασία) δεν περιέχονται στις εικόνες. Επιπλέον, το ηχόγραμμα έχει ήδη υποστεί μη αναστρέψιμη επεξεργασία για λόγους οπτικοποίησης (εξομάλυνση). Τέλος, το μέγεθος των bitmap αρχείων (3.75MB) είναι εξαιρετικά μεγάλο σε σχέση με αυτό των raw data (~18kB). Έτσι, απαιτείται πλήθος αποθηκευτικών και ενεργειακών πόρων για τη διαχείριση και την επεξεργασία τους. Αυτό μπορεί να είναι αδιάφορο σε συνθήκες εργαστηρίου, είναι όμως ζωτικό για ενσωματωμένες διατάξεις (embedded systems), όπως ένας αυτόνομος πλωτός σταθμός, όπου οι πόροι είναι περιορισμένοι και η αποστολή δεδομένων στα εργαστήρια γίνεται με αργές και ενεργοβόρες διαδικασίες (δορυφορικές συνδέσεις, δίκτυα GSM).

Η επιστημονική έξοδος

Από την επιστημονική έξοδο, εξέρχονται τα πρωτογενή, ψηφιακά ακατέργαστα δεδομένα. Τα ακατέργαστα δεδομένα περιέχουν πέρα από την μήτρα [64 X 256] των ανακλάσεων, όλες τις ρυθμίσεις του SP90 καθώς επίσης και πληροφορίες από υποσυστήματα του σκάφους όπως η γυροσκοπική πυξίδα, το ταχύμετρο και το GPS. Κάθε ηχοβολισμός (μαζί με τα metadata) αποθηκεύεται σε ένα αρχείο μεγέθους ~18kB.

Με βάση την τεκμηρίωση της μορφοποίησης (data format) των δυαδικών αρχείων, αυτά μπορούν διαβαστούν και να μετασχηματιστούν με τη βοήθεια μιας γλώσσας προγραμματισμού σε ένα πίνακα που αντιπροσωπεύει το ηχόγραμμα και σε ένα κατάλογο με τις ρυθμίσεις του SP90 και τα ναυτιλιακά δεδομένα του σκάφους. Το μικρό μέγεθος και η δυνατότητα διαχείρισης και επεξεργασίας με κώδικα σε χαμηλό επίπεδο, καθιστά τα δυαδικά αρχεία βέλτιστη επιλογή για χρήση τόσο σε σταθμούς εργασίας, όσο και σε αυτόνομους πλωτούς σταθμούς.

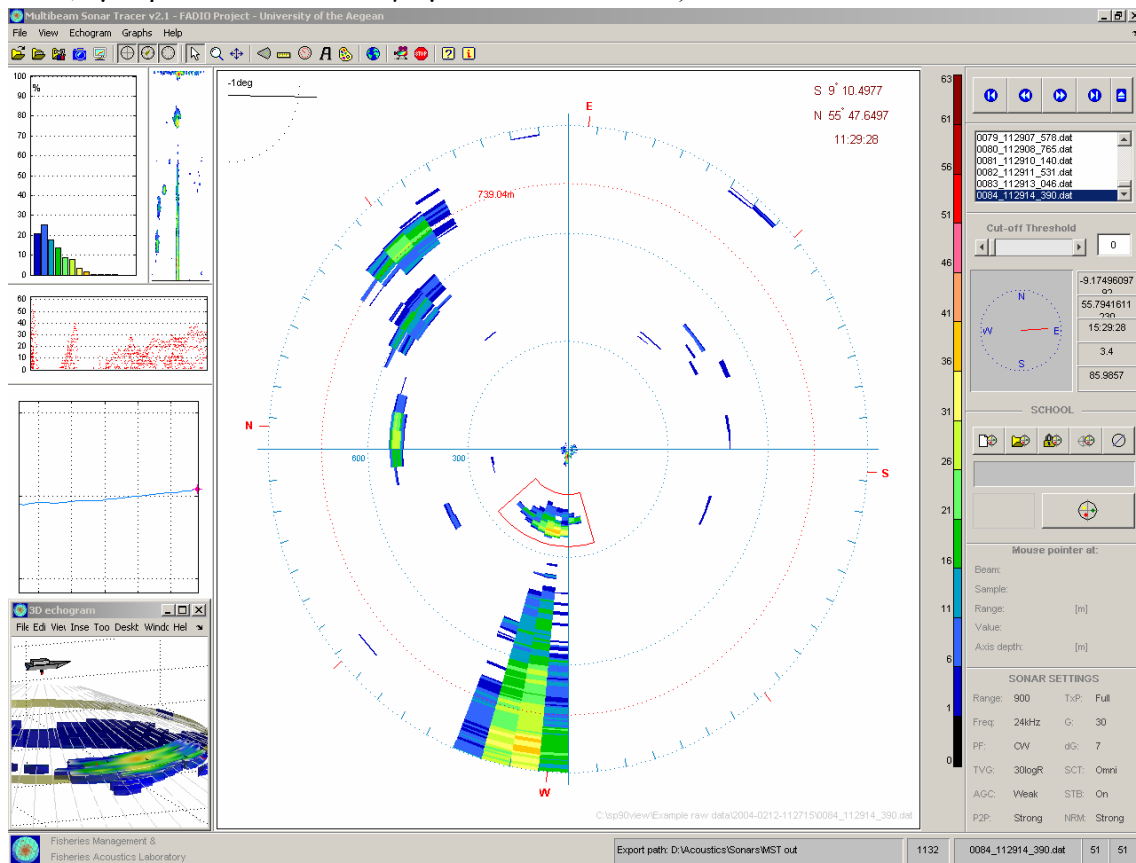
Το σύστημα αρχείων του SP90

Το ελεγχόμενο από το SP90 σύστημα αρχείων (file system) αποτελείται από δύο επίπεδα. Στο ανώτερο επίπεδο, εντοπίζεται το directory της αποστολής που ορίζει ο χρήστης (πχ. "Day1") και μέσα σε αυτό υπάρχουν φάκελοι που δημιουργούνται αυτόματα, και ομαδοποιούν τα αρχεία ηχοβολισμού σε δίλεπτα δειγματοληψίας. Το όνομα των φακέλων και των αρχείων έχει χρονικό χαρακτήρα. Έτσι, τα τέσσερα πρώτα στοιχεία του κάθε φακέλου είναι το έτος, μετά ακολουθεί ο μήνας, η μέρα και τέλος η ώρα, τα λεπτά και τα δευτερόλεπτα. Για παράδειγμα, ο φάκελος με όνομα "2005-0324-225801" δημιουργήθηκε κατά τη δειγματοληψία που έγινε στις 24 Μαρτίου του έτους 2005 και ώρα 22:58:01. Αντίστοιχα, τα δυαδικά αρχεία των ηχοβολισμών ξεκινούν με ένα τετραψήφιο αριθμό που εκφράζει την θέση του αρχείου στο directory και ακολουθεί η ώρα με ακρίβεια ms. Δηλαδή το αρχείο "0034_225855_937.dat" θα μπορούσε να είναι ο 34^{ος} ηχοβολισμός (ping) του παραπάνω καταλόγου, και η ώρα του ηχοβολισμού ήταν 22:58:55.937.

Το πρόγραμμα MST

Για την πραγματοποίηση της παρούσας μελέτης χρειάστηκε να γίνει επισκόπηση του συνόλου των δεδομένων και τελικά εστίαση σε κοπάδια τόνων που συναντώνται σε αυτά. Για τους σκοπούς αυτούς χρησιμοποιήθηκε το Multibeam Sonar Tracer – MST που αναπτύχθηκε στο SonarLab του Τμήματος Επιστήμης της Θάλασσας (Trygonis & Georgakarakos, 2007a).

Το MST είναι λογισμικό προσανατολισμένο σε υδροακουστικές μελέτες κυρίως σε επίπεδο σμηνών, με μεγάλο πλήθος υποπρογραμμάτων και λειτουργιών (Εικόνα 2-3). Συνοπτικά, πρόκειται για μία εφαρμογή ανάκτησης, οπτικοποίησης, και πλήρους ποσοτικής επεξεργασίας πρωτογενών δεδομένων από πολυκωνικά ηχοβολιστικά όπως το SP90. Έχει δυνατότητες εντοπισμού και ιχνηλάτησης στόχων, παραγωγής δεικτών των παρατηρούμενων σμηνών μέσω εξειδικευμένων αλγόριθμων, ενώ παρέχει και πλήθος στατιστικών πληροφοριών τόσο για τα ηχογράμματα όσο και για επιλεγμένους στόχους ή περιοχές. Τέλος, το σύνολο των πληροφοριών αυτών καθώς επίσης και τα παρατηρούμενα σμήνη, μπορούν να εξαχθούν από το MST σε διάφορα format (*.csv, *.xls, εμπορικό ακουστικό λογισμικό EchoView κα.).



Εικόνα 2-3: Το γραφικό περιβάλλον του MST. Στο κεντρικό παράθυρο οπτικοποιείται το ηχογράμμα για το φορτωμένο αρχείο ενώ παρέχονται και άλλα βοηθητικά γραφήματα. Το σκάφος βρίσκεται πάντα στο κέντρο του ηχογράμματος και με πορεία πλεύσης προς τα πάνω, ενώ ο προσανατολισμός προσδιορίζεται από την πυξίδα που βρίσκεται στον εξωτερικό δακτύλιο.

Σημειώνεται εδώ ότι οι δυνατότητες της συγκεκριμένης εφαρμογής ξεπερνούν κατά πολύ τον τρόπο που χρησιμοποιήθηκε. Ο εξειδικευμένος χαρακτήρας της παρούσας ανάλυσης, δημιούργησε την ανάγκη ανάπτυξης ειδικών υποσυστημάτων (sub-modules) για εργασία σε χαμηλότερο επίπεδο, τα οποία παρουσιάζονται σε επόμενο κεφάλαιο.

2.2 Τα ακουστικά δεδομένα

Αν και η παρούσα εργασία είναι μεθοδολογική και η δυσκολία της εντοπίζεται σε θεωρητικό κυρίως επίπεδο, τα πραγματικά δεδομένα πεδίου είναι απαραίτητα τόσο για την ανάπτυξη, όσο και για τον έλεγχο της αποτελεσματικότητάς της. Συγκεκριμένα, απαιτούνται δεδομένα από πολυκωνικά ηχοβολιστικά όπου απεικονίζονται μεγάλα πελαγικά είδη. Τα πρωτογενή δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τον σκοπό αυτό, προέρχονται από το ερευνητικό πρόγραμμα FADIO (Dagorn *et al.*, 2006). Η εργασία αυτή εντάσσεται στο γενικότερο πλαίσιο συμμετοχής του Πανεπιστημίου Αιγαίου στο συγκεκριμένο πρόγραμμα.

2.2.1 Το πρόγραμμα FADIO

Ένα ενδιαφέρον χαρακτηριστικό ορισμένων πελαγικών ειδών, είναι η τάση τους να συγκεντρώνονται γύρω από ελεύθερα παρασυρόμενα αντικείμενα (FAD – Fish Aggregating Devices) (Fréon & Dagorn, 2000; Dempster & Taquet, 2004). Όταν ένα πλωτό αντικείμενο βρεθεί στον ωκεανό, λειτουργεί αρχικά σαν πυρήνας συγκέντρωσης πλαγκτονικών οργανισμών και μικρών ψαριών τα οποία πιθανόν το χρησιμοποιούν για ανεύρεση τροφής και για προφύλαξη από θηρευτές. Τελευταία καταφθάνουν τα μεγάλα πελαγικά είδη (κυρίως τοννοειδή) και η βιοκοινότητα ολοκληρώνεται. Το φαινόμενο της συσχέτισής των μεγάλων πελαγικών με τα FAD έγινε αντιληπτό στον άνθρωπο εδώ και αιώνες (Kakuma, 2000) και χρησιμοποιείται από τότε και για αλιευτικούς σκοπούς.

Στο πλαίσιο διερεύνησης του παραπάνω φαινομένου, σχεδιάστηκε το ευρωπαϊκό πρόγραμμα FADIO και υλοποιήθηκε από το 2001 έως το 2004 στον Ινδικό ωκεανό, στην ευρύτερη περιοχή των νησιών Seychelles. Πέρα από την οικολογική μελέτη των FAD, το πρόγραμμα είχε στόχο την ανάπτυξη τεχνογνωσίας για την κατασκευή πρωτότυπων ηλεκτρονικών υλικών σήμανσης ψαριών (tags) αλλά και ενός αυτόνομου σταθμού παρακολούθησης του χώρου γύρω από τα FAD.

Στη διάρκεια των πέντε αποστολών του προγράμματος FADIO εφαρμόστηκαν πλήθος τεχνικών για την παρατήρηση συναθροίσεων τόνων και άλλων ψαριών γύρω από τα FAD. Χρησιμοποιήθηκε το SONAR SIMRAD SP90 για εντοπισμό σμηνών στην ευρύτερη περιοχή (Brehmer *et al.*, 2007), τρία κατακόρυφα ηχοβολιστικά SIMRAD EK60 (38,70 και 120kHz) για παρατήρηση συναθροίσεων κάτω από το σκάφος (Moreno *et al.*, 2007), ενώ έγιναν και οπτικές υποβρύχιες παρατηρήσεις με λήψη εικόνων και video (Taquet *et al.*, 2007).

2.2.2 Τα δεδομένα από το SP90

Από τα δεδομένα του προγράμματος FADIO, το ενδιαφέρον επικεντρώνεται στα πολυκωνικά δεδομένα που προέρχονται από το SONAR SP90. Κατά τις τέσσερις πρώτες αποστολές συλλέχθηκαν δεδομένα εικόνων μαζί με τα αντίστοιχα δυαδικά raw data, ενώ στην πέμπτη αποστολή, καταγράφηκαν μόνο δεδομένα σε εικόνες. Συνολικά τα πρωτογενή δεδομένα αποτελούνται από 138609 αρχεία ηχοβολισμών (*.dat) τα οποία είναι ομαδοποιημένα κατά το σύστημα αρχειοθέτησης της επιστημονικής εξόδου (scientific output) του SP90 που περιγράφηκε ανωτέρω και σε διαφορετικό directory για κάθε FAD που διερευνήθηκε.

2.2.3 Χαρακτηριστικές δομές στα δεδομένα

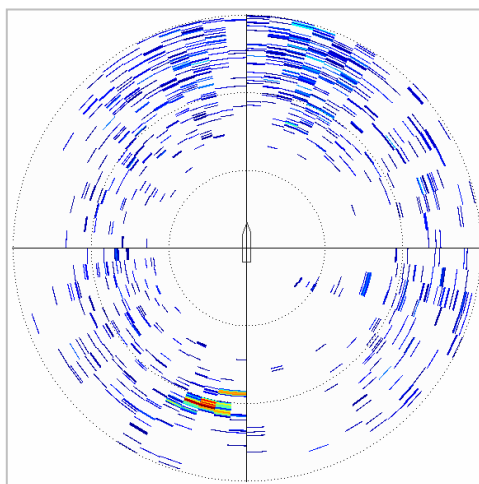
Ένα από τα περισσότερο συναρπαστικά χαρακτηριστικά των ηχοβολιστικών, είναι ο τρόπος που ακουστική πληροφορία κωδικοποιείται οπτικά στο γράφημα που ονομάζεται ηχογράμμα. Ο χρήστης που έρχεται σε επαφή με υδροακουστικά δεδομένα,

πρέπει να εξοικειωθεί με εικόνες που έχουν ακουστική υπόσταση, και τελικά να διακρίνει σε αυτές υλικές δομές του πραγματικού κόσμου αλλά και φαινόμενα όπως ο θόρυβος. Υπό το πρίσμα αυτό, παρουσιάζονται οι δομές που κυριαρχούν στα δεδομένα του SP90 από το πρόγραμμα FADIO, ταυτόχρονα με την φυσική τους ερμηνεία.

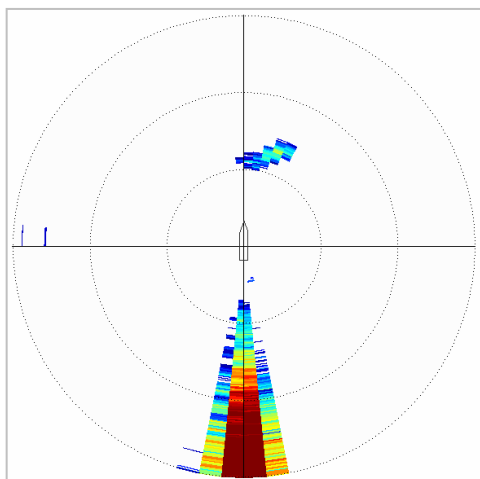
Θόρυβος

Ως θόρυβος στη παρούσα εργασία, αναφέρεται κάθε ακουστική μέτρηση που δεν έχει υλική υπόσταση, που δηλαδή δεν έχει προκύψει από ανάκλαση του παλμού πάνω σε διεπιφάνεια ασυνέχειας. Αν και εμφανίζονται αρκετές τέτοιες περιπτώσεις, τέσσερις είναι αυτές που κυριαρχούν στο σύνολο των δεδομένων.

Ο περισσότερο κοινός τύπος θορύβου, είναι ο ηλεκτρονικός θόρυβος. Πρόκειται για διάσπαρτες μετρήσεις στο σύνολο ή σε μικρότερη περιοχή του ηχογράμματος και δεν εμφανίζουν σταθερότητα μεταξύ ηχοβολισμών (Εικόνα 2-4). Φαίνεται να συνδέονται με παραμορφώσεις στο σήμα που εισάγει η ενίσχυση καθώς εμφανίζονται κυρίως με μεγάλες τιμές του Gain ή του AGC. Πρόκειται συνήθως για καταγραφές χαμηλής έντασης, οπότε τις περισσότερες φορές δεν προκαλούν πρόβλημα κατά την ανάλυση, καθώς αποκόπτονται εύκολα με χρήση χαμηλού κατωφλιού (threshold) ενεργειακής αποκοπής. Τέλος, ο θόρυβος αυτός εμφανίζεται συστηματικά για 4-5 ηχογράμματα κατόπιν αλλαγής σε ορισμένες ρυθμίσεις του SONAR (πχ. αλλαγή του range), έως ότου το σύστημα επανέλθει σε ισορροπία.



Εικόνα 2-4: Ηχογράμμα με έντονη παρουσία ηλεκτρονικού θορύβου.

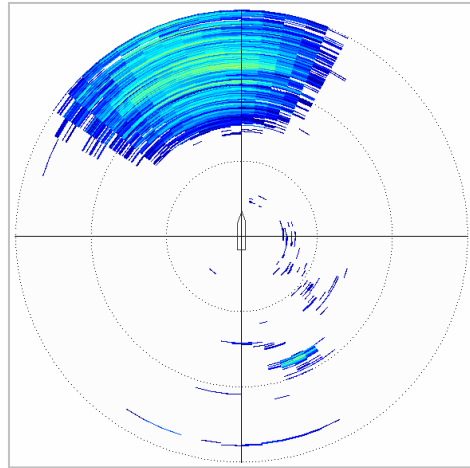


Εικόνα 2-5: Ηχογράμμα με παρουσία θορύβου κινητήρων. Το μόρφωμα καταλαμβάνει τέσσερις οπίσθιους κώνους.

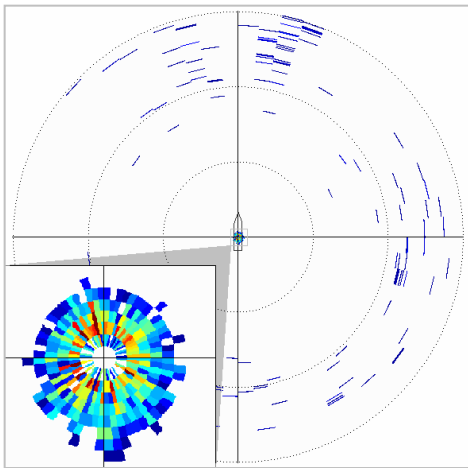
λήψης και γεμίζει το ηχογράμμα κατά μήκος του αντίστοιχου ακουστικού κώνου. Η ένταση της ενέργειας κατά μήκος του κάθε κώνου εμφανίζει περιοδικότητα, η οποία στο φάσμα του χρόνου συμφωνεί με τις στροφές λειτουργίας του κινητήρα του σκάφους.

Άλλος ένας τύπος θορύβου που συναντάται, είναι ο θόρυβος των κινητήρων. Εντοπίζεται ως ανακλάσεις στο ηχογράμμα που εμφανίζονται πάντα στην πρύμνη του σκάφους και καταλαμβάνουν συνήθως 3-6 ακουστικούς κώνους (Εικόνα 2-5). Οι ανακλάσεις ξεκινούν από τα όρια του ηχογράμματος και όταν είναι ισχυρές φτάνουν μέχρι και λίγα μέτρα από το ίχνος του σκάφους (κέντρο του ηχογράμματος). Εμφανίζονται είτε σε μεγάλες ταχύτητες, είτε σε φάση επιτάχυνσης όπου οι κινητήρες δουλεύουν σε πλήρη ισχύ. Οφείλονται σε θόρυβο που παράγεται από τις ταλαντώσεις των εξαρτημάτων της μηχανής και της πρόωσης του σκάφους, μέρος του οποίου συμπίπτει με τη συχνότητα λήψης του SONAR. Το SONAR λαμβάνει το σήμα αυτό σε όλη τη διάρκεια τη

Στα διαθέσιμα δεδομένα, παρατηρούνται και φαινόμενα παρεμβολής (interference). Πρόκειται για σταθερά «πακέτα» θορύβου που εμφανίζονται σε τυπικές περιοχές των ηχογραμμάτων, κυρίως $\sim -15^\circ$ από την πλώρη του σκάφους και $\sim 20^\circ$ από την πρύμνη (Εικόνα 2-6). Πληροφορίες για τις συνθήκες δειγματοληψίας υποδεικνύουν ότι το φαινόμενο εμφανίζεται όταν γίνεται ταυτόχρονη χρήση του SONAR SP90 μαζί με τα κατακόρυφα ηχοβολιστικά του σκάφους (EK60 τριών συχνοτήτων). Η παρεμβολή γίνεται ακουστικά, δηλαδή εξαιτίας των παλμών που εκπέμπουν τα κατακόρυφα ηχοβολιστικά.



Εικόνα 2-6: Ηχόγραμμα που εμφανίζει φαινόμενα παρεμβολής στο άνω τμήμα



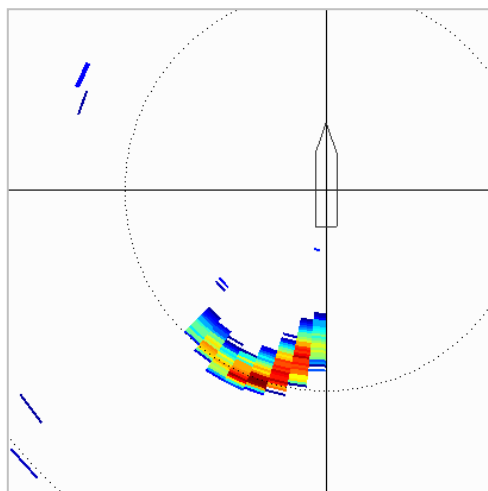
Εικόνα 2-7: Μεγέθυνση του κέντρου του ηχογράμματος όπου παρατηρείται η επίδραση του κοντινού πεδίου. Η μέση διάμετρος του μορφώματος είναι $\sim 50\text{m}$

Ένα άλλο είδος «θορύβου» σχετίζεται με ανακλάσεις που εμφανίζονται εξαιρετικά κοντά στον μεταλλάκτη σε αποστάσεις από 0 έως 20 m (Εικόνα 2-7).

Οφείλονται, μεταξύ άλλων και στο λεγόμενο «κοντινό πεδίο μεταλλάκτη». Συγκεκριμένα, στις φάσεις ενίσχυσης του ακουστικού σήματος -για λόγους απλοποίησης του προβλήματος- ο μεταλλάκτης θεωρείται σημειακή πηγή, κάτι που δεν προκαλεί πρόβλημα σε μεγάλες αποστάσεις όπου τα ακουστικά μέτωπα είναι κατά προσέγγιση παράλληλα. Αυτό δεν ισχύει όμως σε μικρές αποστάσεις από τον μεταλλάκτη, όπου οι συναρτήσεις ευαισθησίας των ακουστικών κώνων έχουν εξαιρετικά πολύπλοκο σχήμα. Έτσι, η ενίσχυση δεν είναι ανάλογη με την απορρόφηση και την εξασθένηση του σήματος.

Ανακλάσεις από φυσαλίδες

Πρόκειται για ανακλάσεις που συχνά εμφανίζουν εξαιρετική ομοιότητα με ίχνη σμηγών (Εικόνα 2-8). Στη πραγματικότητα όμως, οφείλονται αποκλειστικά σε κινήσεις του σκάφους. Συγκεκριμένα, σε μεγάλη ισχύ, τυρβώδη φαινόμενα εισάγουν φυσαλίδες στη στήλη του νερού σε μεγάλα σχετικά βάθη και για μεγάλο χρονικό διάστημα. Οι φυσαλίδες, λόγω μεγάλης ασυνέχειας με το νερό, έχουν εξαιρετικά υψηλή ακουστική διατομή (σ), με αποτέλεσμα να παράγονται ισχυρές ανακλάσεις (συχνά ισχυρότερες από σμήνη). Συνήθως, -και μάλλον για υδροδυναμικούς λόγους- το φαινόμενο εμφανίζεται κυρίως κατά τη φάση που το σκάφος κάνει στροφή με αποτέλεσμα οι ανακλάσεις να αποκτούν τοξοειδές, έως και κυκλικό καμιά φορά, σχήμα. Σπανιότερα, η συγκεκριμένη δομή εμφανίζεται και κατά τη διάρκεια ευθείας κίνησης. Η διάκριση μεταξύ των ανακλάσεων αυτών και των σμηγών -όταν η ομοιότητα είναι μεγάλη- γίνεται με μελέτη της αλληλουχίας των ηχογραμμάτων, καθώς οι φυσαλίδες συχνά συμπίπτουν σε θέση με περιοχές του ίχνους της πορείας του σκάφους. Ο θόρυβος αυτού του τύπου αφαιρείται με κατάλληλους τομείς εξαίρεσης περιοχών του ηχογράμματος.

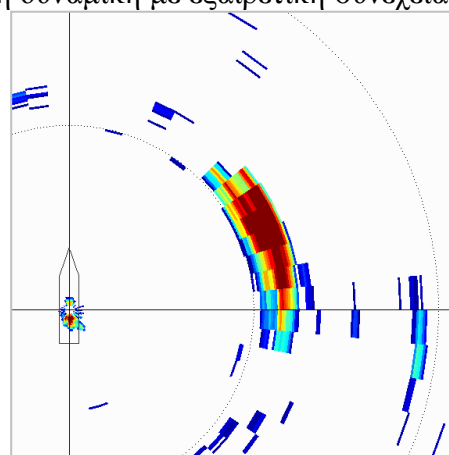


Εικόνα 2-8: Λεπτομέρεια ηχογράμματος όπου εντοπίζεται ανάκλαση σε φυσαλίδες. Το σκάφος εκτέλεσε αριστερή στροφή με μεγάλη ταχύτητα πριν ληφθεί το συγκεκριμένο ηχογράμμα.

Σμήνη πελαγικών ειδών

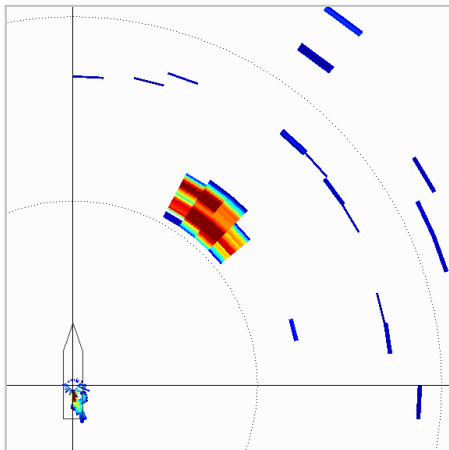
Τα σμήνη είναι προφανώς οι σημαντικότεροι στόχοι. Πρόκειται κυρίως για κοπάδια τονοπαλαμίδας (*Katsuwonus pelamis*, Linnaeus 1758), κιτρινόπτερου τόνου (*Thunnus albacares*, Bonnaterre 1788) και μεγαλομάτη τόνου (*Thunnus obesus*, Lowe 1839). Τα σμήνη των τοννοειδών εμφανίζουν μεγάλη δυναμική με εξαιρετική συνέχεια. Σε μορφολογικό επίπεδο τα ίχνη στο ηχογράμμα, συναντώνται συνήθως σε δύο τύπους, τοξοειδή ή πολυγωνικά, αλλά και σε ενδιάμεση φάση.

Ως «τοξοειδή σμήνη», αναφέρονται συσσωματώματα ανακλάσεων τοξοειδούς σχήματος, που συνήθως αποτελούνται από τον ενεργειακά ισχυρό πυρήνα και αδύναμα άκρα (Εικόνα 2-9). Η τοξοειδής απεικόνιση οφείλεται σε συνδυασμό του σχήματος του σμήνους αλλά και σε χαρακτηριστικά του τρόπου δειγματοληψίας και απεικόνισης. Συγκεκριμένα, τα ίχνη αυτά φαίνεται να είναι σχετικά επιμήκη, δηλαδή το μήκος υπερβαίνει το πλάτος, όπως για παράδειγμα στο ιχθυοειδές σχήμα. Αυτό εξηγεί εν μέρει το μήκος της ανάκλασης, αλλά όχι και τη τοξοειδή κύρτωση. Η τελευταία, οφείλεται στο συνδυασμό του τρόπου δειγματοληψίας και του τρόπου απεικόνισης.



Εικόνα 2-9: Λεπτομέρεια ηχογράμματος όπου απεικονίζεται τοξοειδές ίχνος σμήνους σε απόσταση 350m από το σκάφος.

Συγκεκριμένα, η ανάλυση κατά μήκος του ακουστικού κώνου είναι εξαιρετικά υψηλότερη σε σχέση με την «εγκάρσια» ανάλυση (μεταξύ διαφορετικών κώνων). Για παράδειγμα, σε απόσταση 750m και βεληνεκές SONAR 900m το ακουστικό δείγμα έχει μήκος ~3.5m (σταθερό για όλο το ηχόγραμμα) και πλάτος ~73.6m μέτρα (που εξαρτάται από την απόσταση). Τέλος, η πολική ανάπτυξη των ασύμμετρων αυτών rixel έχει σαν αποτέλεσμα την κύρτωση που εμφανίζει ο στόχος.

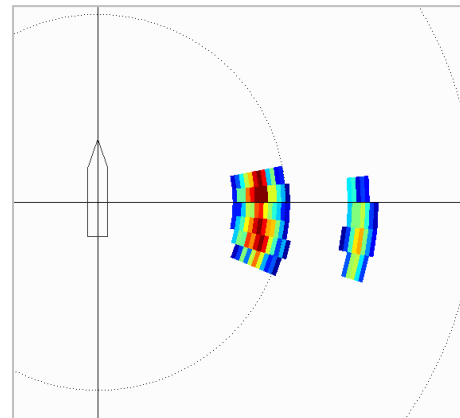


Εικόνα 2-10: Λεπτομέρεια ηχογράμματος όπου εντοπίζεται πολυγωνικό ίχνος σμήνους σε απόσταση 350m από το σκάφος.

Τα «πολυγωνικά σμήνη» συνιστούν ανακλάσεις σχεδόν τραπεζοειδούς σχήματος οι οποίες έχουν σχετικά ομοιόμορφη ενεργειακή εικόνα (Εικόνα 2-10). Οι ανακλάσεις αυτές οφείλονται είτε στο σφαιροειδές πραγματικά σχήμα του κοπαδιού είτε -αν είναι επίμηκες- στον προσανατολισμό του σε μικρή γωνία με τους ακουστικούς άξονες. Με τον όρο «σμήνη» από το σημείο αυτό, θα εννοείται οποιοδήποτε ίχνος σμήνους τόνων, «τοξοειδές» ή «πολυγωνικό».

FAD

Πρόκειται για στόχους που μορφολογικά εμφανίζουν εξαιρετική ομοιότητα με τα «πολυγωνικά» σμήνη (Εικόνα 2-11). Η διάκριση γίνεται κυρίως με χρονοσειρές δεδομένων, όπου τα FAD -σε αντίθεση με τα σμήνη- εμφανίζουν εξαιρετική μορφολογική και ενεργειακή σταθερότητα, χαμηλές ταχύτητες (εφόσον παρασύρονται από τα ρεύματα) και συνήθως προβλέψιμες αντιδράσεις από πλευράς χειριστή σκάφους (ταχεία προσέγγιση, απομάκρυνση, ρυμούλκηση κα.). Σε ορισμένες περιπτώσεις, τα FAD χαρακτηρίζονται από ισχυρές ενεργειακές μετρήσεις, λόγω υλικού κατασκευής. Σημειώνεται τέλος ότι συχνά, πολύ κοντά στα FAD (συχνά σε επαφή), εντοπίζονται ασταθείς συναθροίσεις ψαριών.



Εικόνα 2-11: Ίχνος FAD σε απόσταση 300m από το σκάφος (μεγάλος στόχος). Σμήνος συσχετίζεται με το FAD στα 400m από το σκάφος.

2.3 Προετοιμασία και επιλογή δεδομένων εργασίας

2.3.1 Ημερολόγιο έρευνας και κατηγοριοποίηση δεδομένων

Ο μεγάλος όγκος των δεδομένων του FADIO σε συνδυασμό με το πολυσύνθετο περιεχόμενό τους (σμήνη, στοιχεία πλου, θόρυβος κα.) και τις διαφορετικές ρυθμίσεις του SONAR, καθιστούν αναγκαία την οργάνωση του υλικού αυτού. Με τη σωστή οργάνωση, διευκολύνεται η αναζήτηση κάποιου ηχογράμματος με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά (σε επίπεδο στόχου ή/και ρυθμίσεων), καθώς η διερεύνηση του συνόλου των δεδομένων κάθε φορά που προκύπτει μία νέα ανάγκη είναι, λόγω μεγάλου όγκου, αδύνατη. Έτσι, για κάθε δειγματοληπτική εξόρμηση, κατασκευάστηκε ένα ημερολόγιο έρευνας που περιέχει σε μορφή πίνακα τόσο τις ρυθμίσεις του SONAR και τη κατάσταση του σκάφους (που περιέχονται στα πρωτογενή δεδομένα), όσο και πληροφορίες για το περιεχόμενο του κάθε ηχογράμματος (που απαιτεί προεπισκόπηση). Η οργάνωση του υλικού έγινε με χρήση λογισμικού και παράλληλη λεπτομερή εξέταση του συνόλου των ηχογραμμάτων.

Σε πρώτο στάδιο χρησιμοποιήθηκε μία από τις ρουτίνες εξαγωγής στατιστικών δεδομένων του MST. Αυτό έγινε κυρίως για πρακτική διευκόλυνση καθώς μεγάλο πλήθος πληροφοριών περιέχεται ήδη στα πρωτογενή δεδομένα (η προκύπτει εύκολα από αυτά). Έτσι, από τη μία παρακάμπτεται μεγάλος όγκος εργασίας, ενώ από την άλλη τα δεδομένα οργανώνονται με τρόπο που καθιστά περισσότερο εύκολη την μετέπειτα συμπλήρωση της βάσης δεδομένων που -αναπόφευκτα- πρέπει να γίνει από τον χρήστη του MST. Τα δεδομένα από κάθε FAD φορτώθηκαν στο MST, επιλέχθηκαν οι απαραίτητες μεταβλητές προς εξαγωγή και έγινε η καταγραφή σε format CSV (Comma Separated Values). Δημιουργήθηκε έτσι ένα αρχείο πίνακα για κάθε FAD, που κάθε γραμμή του αντιστοιχεί σε ένα ηχοβολισμό και κάθε στήλη περιέχει τις τιμές των μεταβλητών που επιλέχθηκαν για τον αντίστοιχο ηχοβολισμό. Οι γραμμές του πίνακα ταξινομούνται αυτόματα κατά τον χρόνο ηχοβολισμού ώστε να μην παραβιάζεται η χρονοσειρά της δειγματοληψίας. Οι μεταβλητές που επιλέχθηκαν για εξαγωγή παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 2-1) μαζί με τους αντίστοιχους κωδικούς στήλης.

Πίνακας 2-1: Κατηγοριοποίηση δεδομένων (α' μέρος)

Κωδικός Στήλης	Παράμετρος	Τιμή/Μονάδες παραμέτρου
Path	Θέση του αρχείου .dat στο file system	*:/.../*.dat
Parent_dir	Φάκελος που περιέχει το αρχείο .dat	όνομα φακέλου
Filename	Όνομα του αρχείου .dat	*.dat
Date	Ημερομηνία δειγματοληψίας	dd-mm-yyyy (πχ. 29-02-2008)
Time	Ωρα εκτέλεσης ηχοβολισμού	hh:mm:ss (πχ. 23:11:12)
LAT_deg	Γεωγραφικό πλάτος σκάφους	μοίρες
LON_deg	Γεωγραφικό μήκος σκάφους	μοίρες
Heading	Προσανατολισμός πλήρους σκάφους	Μοίρες σε σχέση με Βορά
SPDalong_ms	Ταχύτητα σκάφους από δεδομένα GPS και χρόνου	m/s
SPDatwart_ms	Ταχύτητα σκάφους από δεδομένα ταχύμετρου	m/s

Range	Ρύθμιση βεληνεκούς του SONAR	[150 - 8000] m
Tilt	Κλίση ακουστικών κώνων	Μοίρες σε σχέση με επιφάνεια
AGC	Ρύθμιση του Auto Gain Control	[off, weak, medium, strong]
TVG	Ρύθμιση του Time Varied Gain	[0, 10, 20, 30]*logR
P2P	Ρύθμιση του Ping to Ping Filter	[off, weak, medium, strong]
RCG	Ρύθμιση του Reverberation Controled Gain	[off, weak, medium, strong]
kHz	Συχνότητα λειτουργίας SONAR	[20 - 30] kHz
Pulse	Τύπος παλμού	[CW, FM]
TxPower	Ισχύς παλμού	[off, weak, medium, strong]

Με την ολοκλήρωση της παραπάνω διαδικασίας προέκυψαν 37 αρχεία .csv (όσα και τα FAD για τα οποία υπάρχουν raw data) ποικίλου μεγέθους ανάλογα με το χρόνο δειγματοληψίας. Τα αρχεία αυτά είχαν όλη την απαραίτητη πληροφορία σχετικά με τις ρυθμίσεις του SONAR και την κατάσταση του σκάφους, δεν περιείχαν πληροφορία σχετικά με το περιεχόμενο των ηχογραμμάτων. Η πληροφορία αυτή συμπληρώθηκε κατόπιν λεπτομερούς διερεύνησης στο σύνολο των δεδομένων. Η προσέγγιση έγινε και πάλι ανά FAD με τη διαφορά ότι τα δεδομένα χωρίστηκαν σε directories των 500 ηχοβολισμών για πρακτικούς λόγους. Κάθε directory φορτώθηκε στο λογισμικό MST και εξετάστηκε ηχοβολισμό προς ηχοβολισμό (Εικόνα 2-3), ώστε να καταγραφούν οι απαραίτητες πληροφορίες σε μορφή πλέον κωδικών, στην αντίστοιχη θέση του πίνακα για το κάθε FAD. Επίσης, για κάθε directory των 500 ηχοβολισμών γράφτηκε ένα σύντομο σχόλιο σχετικά με το περιεχόμενο και ειδικές παρατηρήσεις όπου αυτές υπήρχαν. Οι πληροφορίες που καταγράφηκαν, οι κωδικοί και το νόημά τους ακολουθούν σε μορφή πίνακα ενώ παρατίθεται και ένα σύντομο σχόλιο.

Πίνακας 2-2: Κατηγοριοποίηση δεδομένων (β' μέρος)

Τίτλος Στήλης	Παράμετρος	Τιμή παραμέτρου – Σημασία
School presence	Παρουσία σμήνους	0: Απουσία 1: Ένα σμήνος 2: Περισσότερα σμήνη
School shape	Σχήμα σμήνους	0: Απουσία σμήνους 1: Τοξοειδές 2: Ορθογώνιο
Energy	Ενέργεια σμήνους	0: Κανονική ή απουσία σμήνους 1: Εξαιρετικά χαμηλή 2: Εξαιρετικά υψηλή
Close	Παρουσία σμήνους σε κοντινή απόσταση από σκάφος (0-1/3 του SONAR Range)	0: Όχι, 1: Ναι
Mid	Παρουσία σμήνους σε μέση απόσταση από σκάφος (1/3-2/3 του SONAR Range)	0: Όχι, 1: Ναι
Far	Παρουσία σμήνους σε μεγάλη απόσταση από σκάφος (2/3-3/3 του SONAR Range)	0: Όχι, 1: Ναι
Scattered	Παρουσία διασκορπισμένου θορύβου	0: Όχι, 1: Ναι

Packed	Παρουσία συγκεντρωμένου θορύβου – ηλεκτρονική παρεμβολή	0: Όχι, 1: Ναι
Engine noise	Παρουσία θορύβου κινητήρα	0: Όχι, 1: Ναι
School plus var noise	Ανάμειξη σμήνους με θόρυβο	0: Όχι, 1: Ναι
School plus engine	Ανάμειξη σμήνους με θόρυβο κινητήρα	0: Όχι, 1: Ναι
Turning	Στροφή σκάφους	0: Όχι, 1: Ναι
Hunting	Προκατειλημμένη συμπεριφορά χειριστή προς στόχο	0: Όχι, 1: Ναι
To analyse	Αξιόλογο ηχογράμμα για ανάλυση	0: Όχι, 1: Ναι
Dir	Φάκελος που περιέχει το αρχείο (οι φάκελοι των set 500)	(1-27)
Count	Αριθμός αρχείου στο set των 500	(1-500)
Comment	Σύντομο σχόλιο (Βρίσκεται πάντα στο πρώτο κελί [count = 1] για κάθε set των 500)	πχ.: “Various noise types are present. Minor target appears from time to time in the second half of dir but is probably a vessel movement artefact and anyway very unstable due to varying sonar settings.”

2.3.2 Εντοπισμός και εξαγωγή ακουστικών δεδομένων από επιλεγμένους στόχους

Η σημασία και η πρακτικότητα της κατηγοριοποίησης φαίνεται παρακάτω. Τα περισσότερα fad directories περιέχουν περισσότερα από 5000 ηχογράμματα (ένα για κάθε ηχοβολισμό) και ορισμένα περισσότερα από 12000. Έτσι, η αναλυτική προσέγγιση των ηχογραμμάτων για τον εντοπισμό δεδομένων με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά δεν είναι δυνατή. Στο σημείο αυτό φαίνεται η αξία του ημερολογίου έρευνας. Συγκεκριμένα, με χρήση φίλτρων σε οποιοδήποτε πρόγραμμα spreadsheet, ο χρήστης μπορεί καταρχήν να προβάλει μόνο τις γραμμές όπου το Count είναι “1” (Πίνακας 2-2) και έτσι να πάρει σε μορφή λίστας τα σύντομα σχόλια για κάθε 500 ηχοβολισμούς του συγκεκριμένου fad directory. Με τον τρόπο αυτό, σχηματίζεται μία γενική εικόνα για το τι συμβαίνει στα δεδομένα, χωρίς να απαιτείται αναλυτική (ring-by-ring) προεπισκόπηση. Στη συνέχεια, ο χρήστης μπορεί να εστιάσει στις περιοχές που σύμφωνα με τα σχόλια παρουσιάζουν ενδιαφέρον και με χρήση επιπλέον φίλτρων να επιλέξει όρια για τις παραμέτρους που τον απασχολούν (πχ: ταχύτητα σκάφους μικρότερη από 2 κόμβους ΚΑΙ απουσία θορύβου ΚΑΙ ισχυροί στόχοι). Θα καταλήξει έτσι με μία λίστα αρχείων ηχοβολισμών που περιέχουν τις ανακλάσεις και τα χαρακτηριστικά που επιθυμεί για την εκάστοτε εργασία. Τέλος, η λίστα αυτή μπορεί να εισαχθεί στο MST και να φορτωθούν έτσι αυτόματα τα δεδομένα που παρουσιάζουν ενδιαφέρον για τον χρήστη.

Με εφαρμογή της παραπάνω τεχνικής, έγινε εντοπισμός των ηχογραμμάτων του FADIO που περιέχουν σμήνη τόνων. Λόγω του μικρού αριθμού των κατάλληλων δεδομένων η επιλογή των ηχογραμμάτων δεν ήταν ιδιαίτερα εκλεκτική. Δηλαδή επιλέχθηκαν αυτά που περιείχαν σμήνη τόνων, ασχέτως εάν οι επιλογές ενίσχυσης ή οι συνθήκες δειγματοληψίας εμφάνιζαν κάποια παθολογία. Τα αντίστοιχα ηχογράμματα φορτώθηκαν στο MST και έγινε εξαγωγή των στόχων ικανοποιητικού μεγέθους και

ανάκλασης με σκοπό την περαιτέρω μελέτη. Συνολικά, εξήχθησαν 7685 ίχνη σημάτων που αντιστοιχούσαν σε 222 διαφορετικά σμήνη (περισσότερα από ένα ηχογράμματα ανά σμήνος). Τα αρχεία σημάτων είναι κωδικοποιημένα στο format XLS (σημείωση) και στο πρώτο φύλλο (Sheet1) περιέχουν το κοπάδι σε μορφή πίνακα ενώ στο δεύτερο φύλλο (Sheet2) σημαντικά metadata. Το κοπάδι σε μορφή πίνακα ακολουθεί το format του πρωτότυπου αρχείου, δηλαδή κάθε στήλη αντιστοιχεί σε έναν ακουστικό κώνο και οι γραμμές στα ακουστικά δείγματα κατά μήκος του κώνου. Η τιμές στα κελιά εκπροσωπούν την ακουστική μέτρηση για το αντίστοιχο δείγμα στη χρωματική κλίμακα του SP90. Στα metadata περιέχονται πληροφορίες σχετικά με το πρωτότυπο αρχείο δεδομένων, τις ρυθμίσεις του SONAR και τη κατάσταση του σκάφους, οι οποίες παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 2-3). Μετά την ολοκλήρωση της εξαγωγής, τα δεδομένα εργασίας έχουν οργανωθεί και είναι έτοιμα για ανάλυση με χρήση εξειδικευμένων εφαρμογών.

Πίνακας 2-3: Πληροφορίες αρχείου σμήνους (Metadata)

Κωδικός Στήλης	Παράμετρος	Τιμή/Μονάδες παραμέτρου
Filename	Όνομα αρχικού αρχείου ηχοβολισμού	*.dat
UTC_time	Ωρα εξαγωγής αρχείου	Γραμμικός χρόνος
Local_time_(+4UTC)	Ωρα εκτέλεσης ηχοβολισμού	hh:mm:ss
ND	Χρονικός προσδιορισμός δειγματοληψίας	[0: Νύχτα, 1: Μέρα]
SS	Θέση αρχικού δείγματος του πίνακα σμήνους στο ηχόγραμμα	[1,256]
ES	Θέση τελικού δείγματος του πίνακα σμήνους στο ηχόγραμμα	[1,256]
SB	Θέση αρχικού κώνου του πίνακα σμήνους στο ηχόγραμμα	[1,64]
EB	Θέση τελικού κώνου του πίνακα σμήνους στο ηχόγραμμα	[1,64]
OBR_m	Ρύθμιση βεληνεκούς του SONAR	[150,8000] m
ASS_m	Μήκος δείγματος κατά μήκος του κώνου	(OBR_m/256) m
CSS_deg	Μήκος δείγματος εγκάρσια του κώνου	$2\pi * (ES-SS) * ASS_m / 64$ m
VLAT_deg		
VLON_deg		
VLH_deg		
SPD_msec	Ταχύτητα σκάφους	m/s
TX_Power	Ισχύς παλμού	[off, weak, medium, strong]
PForm	Τύπος παλμού	[CW, FM]
Ping_Sector	Λειτουργία ηχοβολιστικού	[Οριζόντια , Κατακόρυφη]
Gain	Ρύθμιση του Gain	[0,50] dB
Disp_Gain	Ρύθμιση του Display Gain	[0,9] dB

TVG	Ρύθμιση του Time Varied Gain	[0,30]*logR
AGC	Ρύθμιση του Auto Gain Control	[off, weak, medium, strong]
Frequency_[kHz]	Συχνότητα λειτουργίας SONAR	[20-30] kHz
Tilt_deg	Κλίση ακουστικών κώνων	Μοίρες σε σχέση με επιφάνεια
P2P_Filter	Ρύθμιση του Ping to Ping Filter	[off, weak, medium, strong]
Normalization(RGC)	Ρύθμιση του Reverberation Controled Gain	[off, weak, medium, strong]

2.4 Λογισμικό ανάπτυξης και εφαρμογής της μεθόδου

Στο σημείο αυτό παρουσιάζεται το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη και εφαρμογή της μεθόδου. Το λογισμικό μπορεί να διαχωριστεί σε αυτό που σχετίζεται σχεδόν αποκλειστικά με την ίδια τη μέθοδο και στον simulator που είναι λογισμικό γενικότερης χρήσης και χρησιμοποιήθηκε για τη διερεύνηση του υπό μελέτη συστήματος. Όλες οι εφαρμογές που παρουσιάζονται εκτελούνται στο περιβάλλον MATLAB.

2.4.1 Εργαλεία ανάλυσης και επεξεργασίας

Για τις ανάγκες της εργασίας αναπτύχθηκαν διάφορες βοηθητικές εφαρμογές, οι περισσότερες από τις οποίες χρησιμοποιήθηκαν για τον μετασχηματισμό δεδομένων. Δύο από τις εφαρμογές αυτές ξεχωρίζουν καθώς χρησιμοποιήθηκαν ως πλατφόρμα εργασίας, η μία για την ανάπτυξη και η άλλη για την εφαρμογή της μεθόδου.

Threshold Simulator (sv_thresh)

Μια σημαντική ρουτίνα του λογισμικού Multibeam Sonar Tracer (MST) που αναπτύχθηκε στο Εργαστήριο Υδροακουστικών (Trygonis et al, 2008) είναι ο Threshold Simulator. Η ρουτίνα επιτρέπει τη διερεύνηση του ενεργειακού προφίλ επιλεγμένων στόχων με δυνατότητες εξαγωγής ενεργειακών και γεωμετρικών δεικτών για τα σμήνη, μέσω εξειδικευμένων αλγόριθμων. Το λογισμικό, επιτρέπει τη μαζική φόρτωση αρχείων σμηνών και ενσωματώνει εργαλεία για την ενεργειακή και γεωμετρική τους ανάλυση. Συγκεκριμένα, εστιάζει στην συμπεριφορά διάφορων παραμέτρων σε σχέση με το ενεργειακό threshold παρατήρησης, δηλαδή τις μεταβολές της «εικόνας» του σμήνους καθώς μειώνεται εικονικά η ενίσχυση και αποκόπτονται οι χαμηλές ενεργειακές τιμές.

Η ρουτίνα χρησιμοποιήθηκε κατά τη διερεύνηση του κατάλληλου ενεργειακού κατωφλίου που έπρεπε να χρησιμοποιηθεί στην ανάλυση και απεικόνιση των σμηνών. Μέσω του προγράμματος, έγινε εξαγωγή ενεργειακών και γεωμετρικών δεικτών για πολλά σμήνη. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι εξετάστηκαν μεταβολές του μέσου Sv, της επιφάνειας του σμήνους, του σχήματος (μήκος – πλάτος) και της εσωτερικής ενεργειακής διακύμανσης.

Στο κύριο γραφικό περιβάλλον του λογισμικού (Εικόνα 2-12) εντοπίζονται οι επιλογές του χρήστη για την εισαγωγή σμηνών, εξαγωγή δεικτών και εργαλείων ανάλυσης, ο χώρος οπτικοποίησης του σμήνους, οι πληροφορίες για τις παραμέτρους

του σμήνους, το τυχόν επιλεγμένο στοιχείο και οι ρυθμίσεις του SONAR. Στο αριστερό τμήμα υπάρχει το πάνελ των γραφημάτων τα οποία ανανεώνονται σε πραγματικό χρόνο καθώς ο χρήστης ρυθμίζει το ενεργειακό threshold. Στο πάνελ εντοπίζονται τα παρακάτω γραφήματα (οι κωδικοί αντιστοιχούν στην εικόνα):

A₁: Ο αριθμός των δειγμάτων (samples) του σμήνους σε σχέση με το ενεργειακό threshold.

B₁: Ο αριθμός των δειγμάτων (samples) του σμήνους σε σχέση με το ενεργειακό threshold για τρεις γεωμετρικές ζώνες του σμήνους.

A₂: Η αθροιστική συχνότητα της έντασης ανάκλασης όγκου – Sv των στοιχείων του σμήνους.

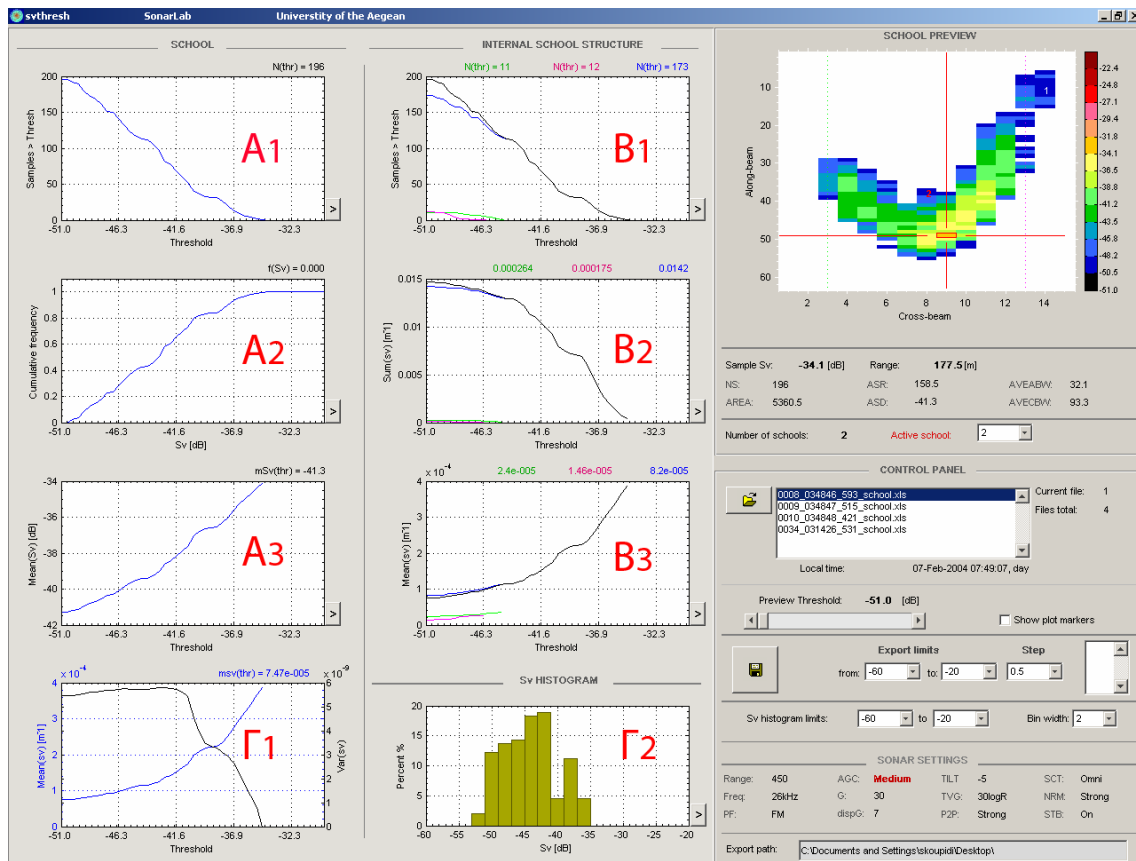
B₂: Η αθροιστική συχνότητα της έντασης ανάκλασης όγκου – Sv των στοιχείων του σμήνους για τρεις γεωμετρικές ζώνες του σμήνους.

A₃: Το μέσο Sv σε σχέση με το ενεργειακό threshold.

B₃: Το μέσο Sv σε σχέση με το ενεργειακό threshold για τρεις γεωμετρικές ζώνες του σμήνους.

Γ₁: Ο μέσος συντελεστής ανάκλασης όγκου – sv για όλο το σμήνος σε σχέση με το threshold σε διπλό γράφημα με την αντίστοιχη διακύμανση.

Γ₂: Το ιστόγραμμα συχνοτήτων των εντάσεων ανάκλασης όγκου – Sv του σμήνους.



Εικόνα 2-12: Το γραφικό περιβάλλον του συστήματος Threshold Simulator. Στο πάνω δεξιά χώρο απεικονίζεται το φορτωμένο αρχείο σμήνους και στο αριστερό πάνελ τα σχετικά γραφήματα.

Η χρήση της ρουτίνας Threshold Simulator οδήγησε στην καλύτερη κατανόηση της δομής των στόχων. Το πρόγραμμα χρησιμοποιήθηκε δοκιμαστικά και η εμπειρία που αποκτήθηκε επέτρεψε την ανάπτυξη ενός περισσότερο εξειδικευμένου και αποτελεσματικού εργαλείου.

Εργαλείο Αποσφαλμάτωσης (auto_sv)

Το auto_sv είναι το βασικό λογισμικό εφαρμογής της μεθόδου βαθμονόμησης δεδομένων και συνεπώς το απόσταγμα των αποτελεσμάτων της εργασίας αυτής. Ενσωματώνει τον βασικό αλγόριθμο διόρθωσης και μπορεί να λειτουργήσει αυτόματα σε κάποιο σετ δεδομένων ή αναλυτικά. Τέλος, διαθέτει εργαλεία για την εφαρμογή μίας παραλλαγής της μεθόδου ώστε να είναι εφικτή η διόρθωση χαμηλής ποιότητας δεδομένων.

Το auto_sv μπορεί να αναπτύχθηκε με σκοπό να αποτελέσει την πλατφόρμα εκτέλεσης της μεθόδου αλλά τελικά εξυπηρετήσε και για τον έλεγχό της με τη χρήση του στη βαθμονόμηση των δεδομένων εργασίας. Ως μεθοδολογικό λοιπόν εργαλείο είχε κύριο σκοπό τον έλεγχο εγκυρότητας της μεθόδου που αναπτύχθηκε. Η αναλυτική παρουσίαση του auto_sv γίνεται στην ενότητα των αποτελεσμάτων (Παράγραφος 3.3).

2.4.2 Ο προσομοιωτής σμηγών SIMULA_{3D}

Όπως αναφέρθηκε στην εισαγωγή, οι υπό μελέτη αλλοιώσεις στο ηχόγραμμα, που η παρούσα εργασία διερευνά, εισάγονται από σύνθετους μηχανισμούς που συχνά αλληλεπιδρούν, ενώ η συνεισφορά του καθενός στο όποιο σφάλμα είναι συνάρτηση πολλών μεταβλητών που εξαρτώνται τόσο από το όργανο όσο και τον εντοπιζόμενο στόχο. Ο μεγάλος αριθμός παραγόντων και τα σύνθετα μαθηματικά που ορίζουν το σύστημα, καθιστούν αδύνατη την αναλυτική λύση του αντίστροφου προβλήματος.

Για τη μελέτη τόσο σύνθετων συστημάτων, η ευκολότερη λύση είναι η προσομοίωση. Κατασκευάζεται ένα υπολογιστικό ομοίωμα του συστήματος, η συμπεριφορά του οποίου δίνει απαντήσεις για το πραγματικό. Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας, χρησιμοποιήθηκε ο προσομοιωτής SONAR SIMULA_{3D} (Trygonis, 2008).

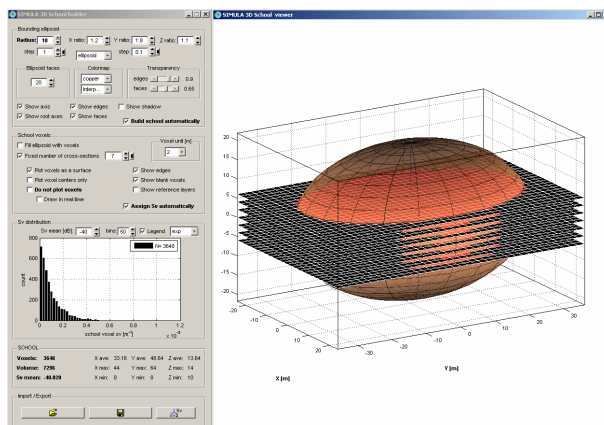
Το SIMULA_{3D}, μπορεί να αναλυθεί σε τρία λογικά υποσυστήματα, τον προσομοιωτή σμηγών (school_builder), τον αλγόριθμο ηχοβολισμού, και το σύστημα αρχείων εξόδου.

Ο προσομοιωτής σμηνών (school_builder)

Ο προσομοιωτής σμηνών είναι ένα εργαλείο σε γραφικό περιβάλλον (Εικόνα 2-13) που διευκολύνει τον χρήστη στην κατασκευή σμηνών για τις ανάγκες της προσομοίωσης. Διαθέτει εργαλεία ρύθμισης του σχήματος σε κυλινδρικό, σφαιρικό, ελλειπτικό εκ περιστροφής ή παραμορφωμένο, και σε κάθε μέγεθος.

Το επιλεγμένο σχήμα, πληρώνεται με στοιχειώδη ογκίδια (voxels) διαστάσεων που επιλέγει ο χρήστης. Τα στοιχειώδη ογκίδια, λαμβάνουν με τη σειρά τους τιμές πυκνότητας (σε sv) με κατανομή και μέσο που επίσης επιλέγει ο χρήστης.

Τα προσομοιωμένα σμήνη μπορούν να αποθηκευτούν σε ascii αρχεία καθώς επίσης και να ανακτηθούν από τον προσομοιωτή για επεξεργασία οποιασδήποτε από τις δομικές παραμέτρους που αναφέρθηκαν.



Εικόνα 2-13: Το γραφικό περιβάλλον του προσομοιωτή σμηνών. Διακρίνεται το σχήμα του “υπό κατασκευή” σμήνους καθώς επίσης και τα επίπεδα που φέρουν τα στοιχειώδη ογκίδια.

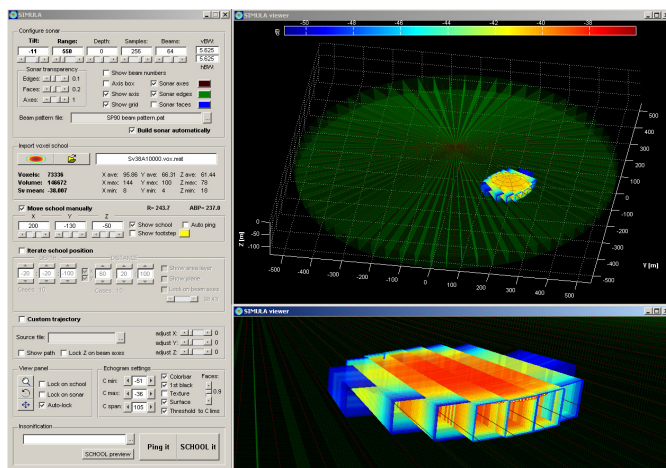
Ο αλγόριθμος ηχοβολισμού

Ο αλγόριθμος ηχοβολισμού είναι ο πυρήνας του SIMULA_{3D}. Σε πρώτο στάδιο, ο αλγόριθμος προσομοιώνει το SONAR. Στη φάση αυτή, η πληροφορία που απαιτείται από τον χρήστη είναι το βάθος βύθισης του μεταλλάκτη, ο αριθμός των ακουστικών κώνων, το tilt των κώνων (γωνία με το σύνηθες επίπεδο xy), καθώς επίσης και το αρχείο που περιέχει τη ψηφιοποιημένη συνάρτηση ευαισθησίας του κώνου. Με τις ρυθμίσεις αυτές, το simula_{3D} έχει τη δυνατότητα προσομοίωσης οποιουδήποτε SONAR και κατακόρυφου ηχοβολιστικού (ένας κατακόρυφος κώνος). Τέλος, διατίθενται ρυθμίσεις που σχετίζονται με την οπτικοποίηση.

Στο δεύτερο στάδιο, ο χρήστης επιλέγει το αρχείο σμήνους που θα χρησιμοποιηθεί για την προσομοίωση καθώς επίσης και τη θέση /-εις του στο χώρο. Για λόγους ευκολίας, μπορεί να εισαχθεί μία διαδρομή που θα ακολουθήσει το σμήνος σε μορφή ascii αρχείου (αλληλουχία τριάδων x,y,z) ή με τη χρήση εργαλείου που παρέχεται. Φυσικά το σμήνος μπορεί να μείνει και σε μία ορισμένη θέση. Τέλος, το γραφικό περιβάλλον λειτουργεί βοηθητικά και πληροφορεί τον χρήστη σε περιπτώσεις αστοχίας (πχ. τοποθέτηση σμήνους έξω από το νερό).

Στο τρίτο και τελικό στάδιο της προσομοίωσης, εκτελείται πρακτικά ο ηχοβολισμός. Εδώ ο χρήστης παρεμβαίνει ρυθμίζοντας μόνο το ενεργειακό threshold κάτω από το οποίο οι μετρήσεις θα αποκόπτονται και εκκινεί τη διαδικασία ηχοβολισμού. Το σύστημα εντοπίζει αρχικά τους κώνους οι οποίοι «καλύπτουν» τη περιοχή του σμήνους. Αυτό γίνεται ουσιαστικά για να αποφευχθούν περιττοί υπολογισμοί (τάξεως μεγέθους 10) σε κώνους όπου ο στόχος βρίσκεται εκτός της συνάρτησης ευαισθησίας. Κατόπιν για καθέναν από τους «ενεργούς» κώνους, το σύστημα εστιάζει σε κάθε ακουστικό δείγμα κατά μήκος του (βήμα ολοκλήρωσης) και υπολογίζει την ευαισθησία σε κάθε σημείο όπου υπάρχει στοιχειώδης όγκος (voxel) του

σμήνους. Στη συνέχεια, υπολογίζονται οι στοιχειώδεις εντάσεις λαμβάνοντας υπόψη τη συνάρτηση ευαισθησίας του κώνου και αθροίζονται ώστε να υπολογιστεί η συνολική ένταση. Αυτή, ολοκληρώνεται κατά το βήμα ολοκλήρωσης στην ισοδύναμη γωνία κώνου (Ψ) και προκύπτει η ακουστική μέτρηση έντασης ανάκλασης όγκου – S_V για το συγκεκριμένο δείγμα. Τελικά υπολογίζονται οι λογαριθμημένες τιμές ανάκλασης S_V σε dB. Αφού οι υπολογισμοί ολοκληρωθούν για όλα τα ακουστικά δείγματα, το ηχογράμμα προβάλλεται στο γραφικό περιβάλλον σε τρεις διαστάσεις (Εικόνα 2-14) και αν έχει εισαχθεί διαδρομή για το σμήνος, η διαδικασία επαναλαμβάνεται αυτόματα για όλα τα σημεία που αντιπροσωπεύουν τη διαδρομή.



Εικόνα 2-14: Το γραφικό περιβάλλον του SIMULA3D. Αριστερά βρίσκεται το πάνελ των ρυθμίσεων και δεξιά τα παράθυρα οπτικοποίησης του προσομοιωμένου ηχογράμματος.

Τα αρχεία εξόδου

Στη φάση αυτή, η προσομοίωση έχει ολοκληρωθεί καθώς το ηχογράμμα είναι πλέον διαθέσιμο. Για πρακτικούς λόγους, αλγόριθμοι επεξεργασίας των αποτελεσμάτων έχουν εισαχθεί στο σύστημα και μέρος της ανάλυσης εκτελείται σε πραγματικό χρόνο. Έτσι, πέρα από τα ηχογράμματα, το σύστημα αποθηκεύει και παραμέτρους των σμηνών που έχει επιλέξει ο χρήστης.

Τα αρχεία εξόδου, είναι πίνακες που περιέχουν μία γραμμή για κάθε ηχοβολισμό και είναι σχεδιασμένα ώστε να εμπλουτίζονται εύκολα με νέα δεδομένα. Περιέχονται όλες οι πληροφορίες σχετικά με τις ρυθμίσεις του SONAR, καθώς επίσης και το αρχείο σμήνους που χρησιμοποιήθηκε. Επιπλέον, περιέχονται δεδομένα σχετικά με τις τιμές των παραμέτρων που είχαν τα «πραγματικά» (δηλαδή τα προσομοιωμένα σμήνη) και τα προσομοιωμένα δεδομένα (δηλαδή το ηχογράμμα). Οι τιμές των δεικτών για τα «πραγματικά» δεδομένα προκύπτουν με αναλυτικές μεθόδους από το προσομοιωμένο σμήνος, ενώ οι δείκτες κατόπιν ηχοβολισμού προκύπτουν από την εφαρμογή του αλγόριθμου SCHOOL επί του εκάστοτε ηχογράμματος.

2.5 Προκαταρκτική ανάλυση

Η εργασία αυτή σκοπεύει στην διερεύνηση και διόρθωση των σφαλμάτων στις ακουστικές μετρήσεις μέσω προσομοίωσης ώστε να επιτευχθεί η βαθμονόμηση των δεδομένων. Για να γίνει αυτό, απαιτείται προκαταρκτική μελέτη σε δύο στάδια. Αρχικά, πρέπει να γίνει μία ποιοτική διερεύνηση των αποτελεσμάτων μίας «πρόχειρης» προσομοίωσης ώστε να εντοπιστούν οι παράμετροι που επιδρούν στα σφάλματα. Αυτές οι παράμετροι, πέρα του ότι παρέχουν έμμεσα πληροφορίες για τον μηχανισμό εισαγωγής των σφαλμάτων, είναι τελικά αυτές που θα καθοδηγήσουν και την διόρθωση. Στο δεύτερο στάδιο, πρέπει να γίνει μία πρόχειρη στατιστική ανάλυση των προς διόρθωση δεδομένων ώστε να βρεθεί το εύρος τιμών που λαμβάνουν οι κυρίαρχες

παράμετροι. Κατόπιν η αναλυτική προσομοίωση μπορεί να εκτελεστεί στο εύρος τιμών που υπαγορεύουν τα δεδομένα με τη μέγιστη δυνατή ανάλυση.

Για το πρώτο στάδιο (εντοπισμός των βασικών παραμέτρων), εξετάστηκε επίσης η δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν πραγματικά δεδομένα, όμως με τη χρήση των καταγραμμένων ανακλάσεων δεν είναι γνωστό ποια είναι τα πραγματικά χαρακτηριστικά που έχουν τα σμήνη. Επιπλέον, ο μεγάλος αριθμός των πιθανών συνδυασμών στον τρόπο δειγματοληψίας (περισσότεροι από 50 διαφορετικοί συνδυασμοί ρυθμίσεων στα 116 τελικά δείγματα) κάνει μια τέτοια προσπάθεια εξαιρετικά δύσκολη.

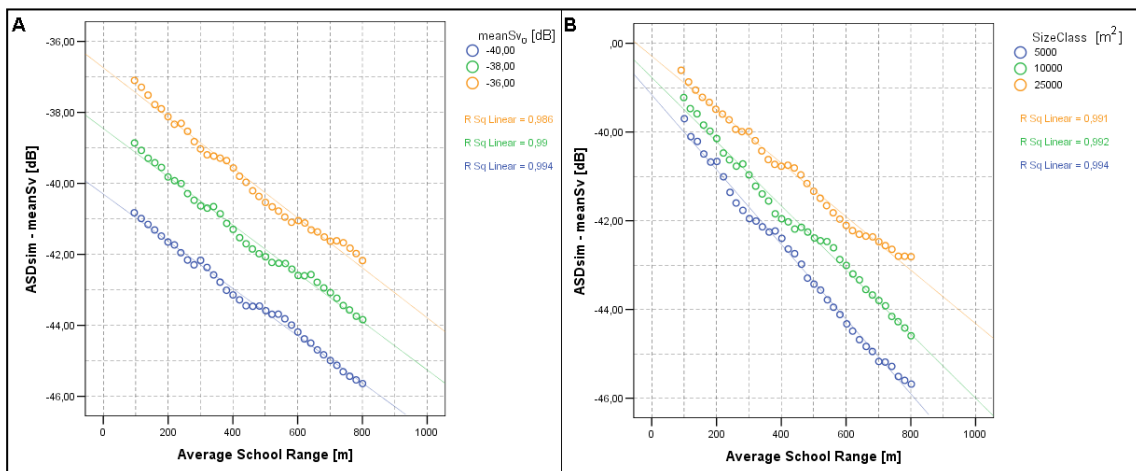
2.5.1 Εντοπισμός βασικών παραμέτρων των στόχων

Οι υπό εξέταση παραμορφώσεις αφορούν τη γεωμετρία και την ενέργεια των εντοπιζόμενων σμηνών και συγκεκριμένα του συνολικού εμβαδού του σμήνους και της μέσης πυκνότητάς του (σε Sv). Για την ανάλυση της αλλοίωσης των μεγεθών αυτών, στα ίχνη του ηχογράμματος, εκτελέστηκε μία πιλοτική προσομοίωση, με διαφορετικά μεγέθη ή διαφορετικές πυκνότητες. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν τρία σμήνη με σταθερή οριζόντια διατομή 15000 m² και πυκνότητες (Sv₀) -36, -38 και -40 dB, και άλλα τρία σμήνη με σταθερή πυκνότητα (Sv₀) -38 dB και διατομή 5000, 10000 και 25000 m². Τα σημαντικότερα αποτελέσματα που προέκυψαν, παρατίθενται παρακάτω.

Ανάλυση ενεργειακών χαρακτηριστικών

Στη φάση της ενεργειακής ανάλυσης, διερευνήθηκαν οι παράμετροι που επιδρούν στη μέτρηση του μέσου Sv του εντοπιζόμενου σμήνους. Εξετάστηκε η επίδραση της απόστασης από τον μεταλλάκτη (κέντρο του SONAR) για σμήνη διαφορετικών μεγεθών και πυκνοτήτων.

Στην Εικόνα 2-15Α, φαίνεται η επίδραση της απόστασης ηχοβολισμού στην εκτίμηση του μέσου Sv. Το ποσό της υποτίμησης φαίνεται να είναι σταθερό για δεδομένη απόσταση και άρα ανεξάρτητο της πραγματικής πυκνότητας (μέσο Sv₀) του σμήνους στη περιοχή πυκνοτήτων που δοκιμάστηκαν (και πάνω κάτω αποτελούν τα όρια των αναμενόμενων δεδομένων). Στην Εικόνα 2-15Β διακρίνεται πάλι η επίδραση της απόστασης, αυτή τη φορά όμως σε σμήνη διαφορετικών μεγεθών (συνολικό εμβαδόν). Το ποσό της υποτίμησης στη μέτρηση του μέσου Sv μπορεί να διαφέρει έως και 3dB (διπλασιασμός της πυκνότητας) ανάλογα με το μέγεθος του σμήνους.



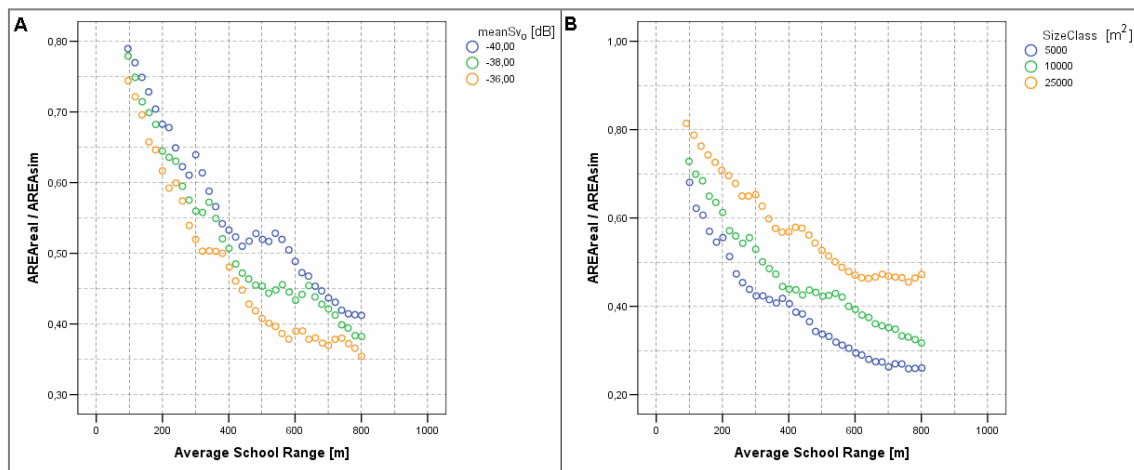
Εικόνα 2-15: α) Εκτιμήσεις του μέσου Sv (ASDsim) σε σχέση με την απόσταση από τον μεταλλάκτη για τρεις κλάσεις πυκνότητας αναφοράς (μέσο Sv₀). β) Αντίστοιχο γράφημα για τρεις κλάσεις μεγεθών (συνολικό εμβαδόν).

Έτσι, κυρίαρχο ρόλο στην υποτίμηση της μέσης πυκνότητας παίζει η απόσταση από το SONAR, ενώ το μέγεθος του σμήνους είναι μία ακόμα σημαντική μεταβλητή. Η πραγματική μέση πυκνότητα του σμήνους δε φαίνεται να επιδρά, τουλάχιστον στη περιοχή πυκνοτήτων που χρησιμοποιήθηκαν.

Ανάλυση γεωμετρικών χαρακτηριστικών

Σε αυτή τη φάση επαναλήφθηκε εν ολίγοις η παραπάνω διαδικασία, με τη διαφορά ότι αυτή τη φορά αντί για τη μέση παρατηρούμενη πυκνότητα, ο δείκτης που διερευνήθηκε ήταν το εμβαδόν του σμήνους.

Έτσι, στην Εικόνα 2-16Α διακρίνεται η επίδραση που έχει η απόσταση από το SONAR σε σμήνη διαφορετικών πυκνοτήτων. Στον άξονα y αντιστοιχεί ο λόγος της πραγματικής προς την μετρούμενη επιφάνεια (και οι δύο μετρώνται σε m^2 και έτσι ο λόγος είναι αδιάστατο μέγεθος). Εδώ, η πραγματική πυκνότητα του σμήνους φαίνεται να παίζει κάποιο ρόλο στο βαθμό υποτίμησης, σε μεγάλες κυρίως αποστάσεις. Στην Εικόνα 2-16B φαίνεται η αντίστοιχη επίδραση για σμήνη διαφορετικών μεγεθών. Η επίδραση αυτή, είναι προφανώς μεγαλύτερη, χωρίς όμως να καθιστά τη μέση πυκνότητα αμελητέα.



Εικόνα 2-16: α) Ο λόγος του πραγματικού προς το παρατηρούμενο εμβαδόν ($AREAreall / AREASIM$) σε σχέση με την απόσταση από τον μεταλλάκτη για τρεις κλάσεις πυκνότητας (μέσο Sv_0). β) Όμοιο γράφημα για τρεις κλάσεις μεγέθους (συνολικό εμβαδόν διατομής).

Συνοψίζοντας, η εκτίμηση της επιφάνειας του σμήνους δέχεται σφάλμα που είναι συνάρτηση κυρίως της απόστασης, δευτερευόντως του μεγέθους του σμήνους, και πιθανών της μέσης πυκνότητάς του.

2.5.2 Ποιοτική στατιστική ανάλυση δεδομένων εργασίας

Εφόσον οι βασικές παράμετροι που σχετίζονται με τα σφάλματα έχουν εντοπιστεί, απομένει να εκτελεστεί η αναλυτική προσομοίωση που θα οδηγήσει στη κατασκευή νομογραμμάτων. Τα νομογράμματα αυτά, θα είναι γραφήματα που οδηγούν στην εκτίμηση των σφαλμάτων για κάθε περίπτωση ηχοβολισμού. Το ερώτημα που ανακύπτει, είναι ποια όρια τιμών θα χρησιμοποιηθούν για τις παραμέτρους κατά την αναλυτική προσομοίωση.

Τα όρια αυτά, σε πρακτικό επίπεδο βοηθούν στην εκμετάλλευση όλου του διαθέσιμου υπολογιστικού χρόνου ώστε να μεγιστοποιηθεί η «ανάλυση» της προσομοίωσης στη περιοχή ενδιαφέροντος. Πέραν τούτου, έχει και θεωρητική σημασία για δύο λόγους. Από τη μία, τιμές διόρθωσης για σμήνη εμβαδού $\approx 1 m^2$ ή πυκνότητα $Sv -3 dB$, δεν απαντούν στη φύση. Από την άλλη, το σύστημα μπορεί να αλλάζει

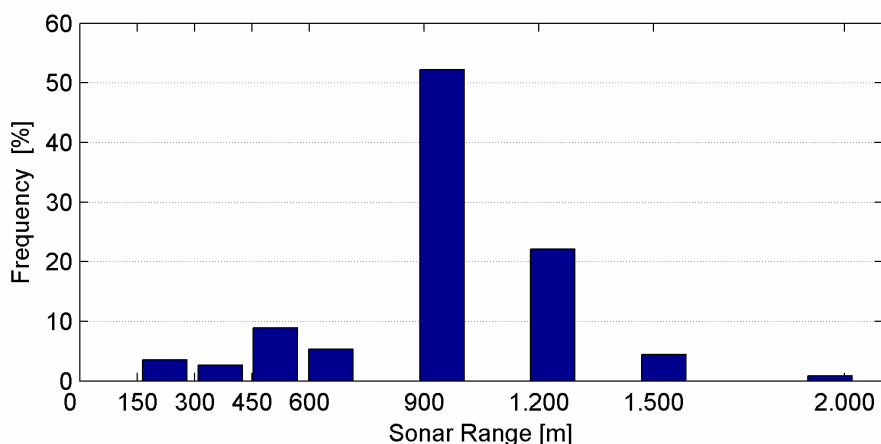
συμπεριφορά για μη ρεαλιστικές τιμές των παραμέτρων, με αποτέλεσμα να προκύπτουν ακραίες μετρήσεις που δύνανται να επηρεάσουν και την περιοχή ενδιαφέροντος, εάν πχ. εφαρμοστεί κάποια μέθοδος παρεμβολής.

Με αυτά υπόψη, ορισμένες από τις επιλογές που πρέπει να γίνουν σχετίζονται με τα χαρακτηριστικά του SONAR και κάποιες άλλες με τα σμήνη που θα προσομοιωθούν. Παρακάτω ακολουθούν τα αποτελέσματα για τα σχετικά μεγέθη μετά από μία σύντομη επισκόπηση του συνόλου των δεδομένων εργασίας.

Ρυθμίσεις SONAR

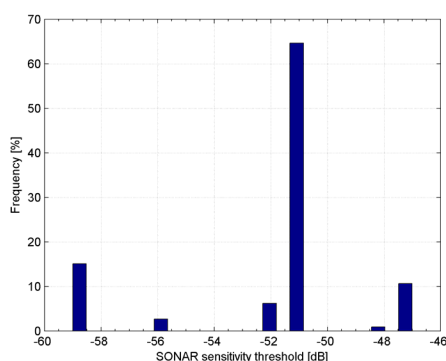
Όσον αφορά το ίδιο το όργανο, οι περισσότερες ρυθμίσεις είναι ανεξάρτητες της δειγματοληψίας και καθορίζονται από το συγκεκριμένο SONAR (SIMRAD SP90, Κεφάλαιο 2.1). Έτσι, ο αριθμός των κώνων ρυθμίστηκε στους 64 και τα ακουστικά δείγματα κατά μήκος του κάθε κώνου στα 256. Τέλος, η συνάρτηση ευαισθησίας των ακουστικών κώνων, βασίστηκε στα δεδομένα που συνοδεύουν τον μεταλλάκτη. Οι πληροφορίες λοιπόν για τις οποίες χρειάστηκε επισκόπηση των δεδομένων, ήταν η ρύθμιση της εμβέλειας του SONAR και του threshold ενεργειακής αποκοπής. Η επίδραση των ρυθμίσεων αυτών στα αποτελέσματα της προσομοίωσης είναι πολύ ισχυρή καθώς παρεμβαίνουν σε ζωτικές παραμέτρους του συστήματος (βήμα ολοκλήρωσης και ευαισθησία του οργάνου). Για το λόγο αυτό, η προσομοίωση θα έπρεπε τυπικά να επαναληφθεί για όλους τους δυνατούς συνδυασμούς και κατά περίπτωση να χρησιμοποιούνται τα αντίστοιχα αποτελέσματα. Για πρακτικούς λόγους όμως, αποφασίστηκε οι προσομοιώσεις να υλοποιηθούν μόνο σε συνδυασμούς ρυθμίσεων που συνήθως χρησιμοποιούνται στην ακουστική έρευνα και επίσης απαντώνται στη πλειοψηφία των δεδομένων που έχουν συλλεχθεί.

Η εμβέλεια επηρεάζει την ανάλυση του οργάνου κατά μήκος του ακουστικού κώνου, καθώς στο SP90 το βήμα ολοκλήρωσης ρυθμίζεται έτσι ώστε ο κώνος να κατακερματίζεται πάντα σε 256 ισομήκη ακουστικά δείγματα. Για το SP90 η εμβέλεια μπορεί να ρυθμιστεί σε 13 καθορισμένες τιμές στο διάστημα [150,8000] m. Στην Εικόνα 2-17 φαίνεται το ιστόγραμμα συχνοτήτων της χρησιμοποιημένης εμβέλειας για τα δεδομένα εργασίας. Υπερισχύει ξεκάθαρα η ρύθμιση των 900 m, η οποία συναντάται στα μισά περίπου δεδομένα. Η ρύθμιση των 1200 m επίσης συναντάται σε αξιόλογο αριθμό δεδομένων αλλά προτιμήθηκε τελικά αυτή των 900 m καθώς, πέρα από την κυριαρχία στα δεδομένα, προσφέρει και υψηλότερη ανάλυση με αποτέλεσμα να αποτελεί και πιο ρεαλιστική τιμή σε επίπεδο επιστημονικής έρευνας.



Εικόνα 2-17: Η κατανομή τιμών εμβέλειας στα δεδομένα εργασίας (διάμεσοι για 222 σμήνη που αντιστοιχούν σε 7685 αρχεία).

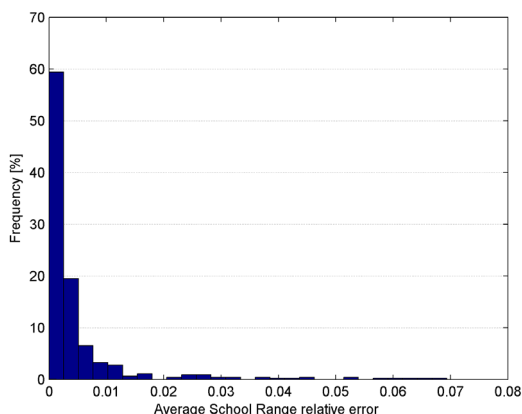
Το κατώφλι ενεργειακής αποκοπής μπορεί να πάρει τιμές στο διάστημα $[-77,0]$ dB και ορίζει το κατώτερο όριο ακουστικής πυκνότητας (Sv) που καταγράφηκε από το SP90. Το άνω όριο για το SP90 είναι πάντα 30 dB πάνω από το κατώφλι. Στην Εικόνα 2-18 φαίνεται το ιστόγραμμα συχνοτήτων των τιμών ευαισθησίας του SONAR που χρησιμοποιήθηκε κατά τη συλλογή των δεδομένων. Η υπερίσχυση της ευαισθησίας -51 dB είναι προφανής. Αυτό επιβεβαιώνει την εμπειρική παρατήρηση, καθώς αντιστοιχεί σε Gain και Display Gain 30 και 21 dB αντίστοιχα, που είναι οι συνήθεις ρυθμίσεις που συναντώνται στα δεδομένα.



Εικόνα 2-18: Η κατανομή των ευαισθησιών που χρησιμοποιούνται στα διαθέσιμα δεδομένα (222 σμήνη) όπως αυτές προκύπτουν από τις ρυθμίσεις ενίσχυσης.

Σημειώνεται εδώ, ότι οι τελικές επιλογές βεληνεκούς και ευαισθησίας κατά την προσομοίωση επηρέασαν έμμεσα και τα δεδομένα πεδίου. Συγκεκριμένα, από τα αρχικά 222 σμήνη (σε 7685 αρχεία), συμβατά με τις τελικές ρυθμίσεις που επιλέχθηκαν (βεληνεκές 900 m και ευαισθησία -51 dB) ήταν τα 116 από αυτά (που αντιστοιχούσαν σε 5465 αρχεία). Αυτά τα 116 σμήνη συνιστούν και τα τελικά δεδομένα πεδίου που εξετάστηκαν.

Επιλογή εύρους χαρακτηριστικών των σμηνών



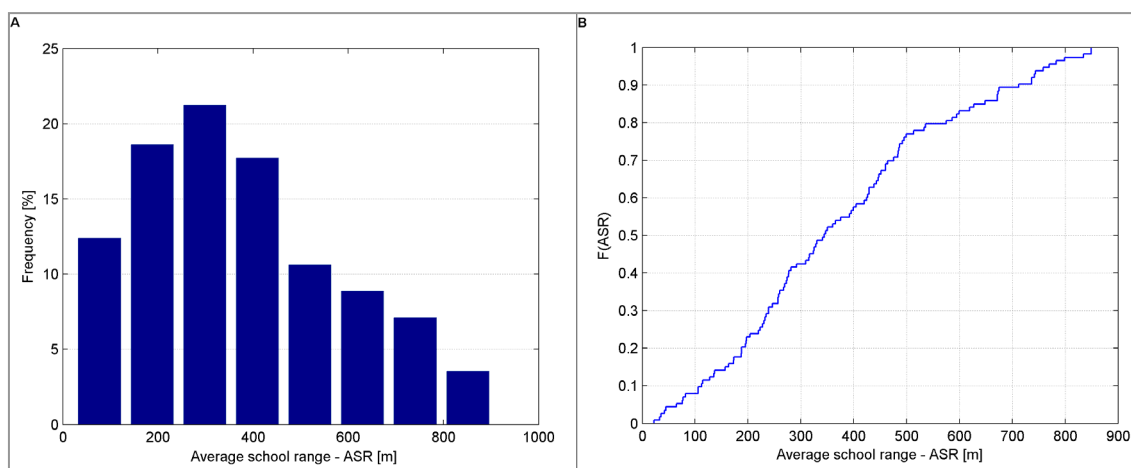
Εικόνα 2-19: Σχετικό σφάλμα στη μετρούμενη απόσταση γεωμετρικού κέντρου σμήνους για 463 μετρήσεις σε αποστάσεις 100 έως 800 m. (Average School Range) (δεδομένα προσομοίωσης).

Αντίθετα, οι τιμές της μέσης πυκνότητας και του συνολικού εμβαδού περιέχουν τα υπό μελέτη σφάλματα. Έτσι εμφανίζεται δυσκολία στην επιλογή των αντίστοιχων ορίων. Το συγκεκριμένο πρόβλημα αντιμετωπίστηκε βάσει των συναρτήσεων των σφαλμάτων, όπως θα φανεί αργότερα.

Για τον προσδιορισμό των ορίων απόστασης από τον μεταλλάκτη, έγιναν πρόχειροι υπολογισμοί επί των δεδομένων πεδίου. Συνοπτικά, για καθένα από τα διαθέσιμα ηχογράμματα του κάθε σμήνους υπολογίστηκε η απόσταση ανάμεσα στο σμήνος και τον μεταλλάκτη και στη συνέχεια υπολογίστηκε ο μέσος τους. Έτσι, προέκυψε ο μέσος της «ζώνης δράσης» για το κάθε σμήνος. Στην Εικόνα 2-20Α φαίνεται το ιστόγραμμα συχνοτήτων για τις μετρήσεις αυτές. Διακρίνεται μία σχετικά

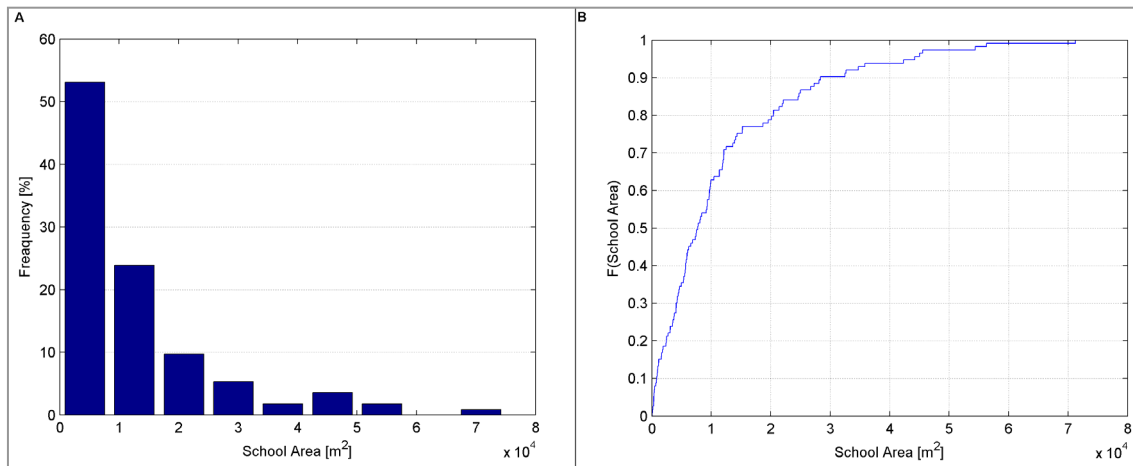
Στη τελευταία φάση της προκαταρκτικής ανάλυσης, πρέπει να γίνει μία σύντομη επισκόπηση των δεδομένων ώστε να προσδιοριστούν τα όρια τιμών για τα χαρακτηριστικά των σμηνών που θα προσομοιωθούν. Υπενθυμίζεται εδώ, ότι τα κύρια χαρακτηριστικά που φαίνεται να επιδρούν στα σφάλματα είναι η απόσταση του σμήνους από τον μεταλλάκτη, η μέση πυκνότητά του και η συνολική επιφάνεια. Λόγω της σχετικά υψηλής ανάλυσης κατά μήκος του ακουστικού κώνου, η μέτρηση της απόστασης του σμήνους από τον μεταλλάκτη είναι επαρκώς ακριβής για τις απαιτούμενες μετρήσεις (Εικόνα

ομοιόμορφη εξάπλωση σε όλο το εύρος μεταξύ 0 και 900 m. Όσον αφορά τη προσομοίωση, είναι πολύ πρακτικό όλα τα σμήνη να είναι προσομοιωμένα για το ίδιο εύρος αποστάσεων (βοηθά στη διαχείριση των δεδομένων). Τα μεγάλα όμως σμήνη δεν μπορούν να προσομοιωθούν πολύ κοντά στον μεταλλάκτη ή στα όρια του χώρου δειγματοληψίας καθώς στη πρώτη περίπτωση περικυκλώνουν το μεταλλάκτη, ενώ στην άλλη βρίσκονται τμηματικά εκτός του χώρου δειγματοληψίας. Έτσι για να μην εισαχθούν παραπλανητικά φαινόμενα στα όρια και για λόγους ομοιομορφίας των αποτελεσμάτων, η προσομοίωση έγινε για αποστάσεις στο διάστημα [100,800] m. Αυτό δεν φαίνεται να παραβιάζει ιδιαίτερα τα δεδομένα. Στην Εικόνα 2-20B απεικονίζεται η εμπειρική αθροιστική κατανομή (empirical CDF) των μέσων αποστάσεων για όλα τα σμήνη. Συνολικά, εκτός των ορίων που επιλέχθηκαν, περιέχεται οριακά το 10% των εντοπισμένων σμηνών πεδίου.



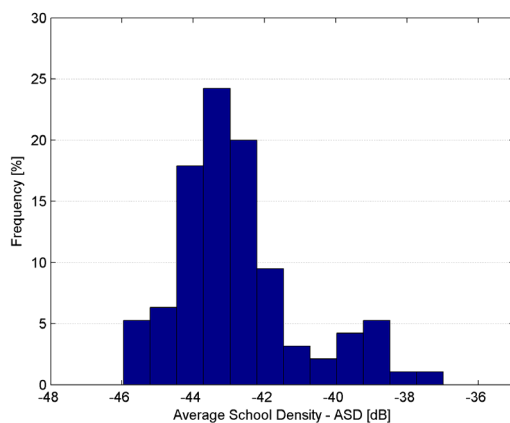
Εικόνα 2-20: α) Η κατανομή των μέσων αποστάσεων από τον μεταλλάκτη (ASR) για τα 116 σμήνη των τελικών δεδομένων πεδίου. β) Η εμπειρική αθροιστική κατανομή της απόστασης από τον μεταλλάκτη για τα 116 σμήνη των τελικών δεδομένων πεδίου.

Για τον προσδιορισμό ορίων στο εμβαδόν των προσομοιωμένων σμηνών, κατασκευάστηκε το αντίστοιχο ιστόγραμμα για τα πραγματικά δεδομένα (δεδομένα πεδίου) (Εικόνα 2-21A). Διακρίνεται ότι εντοπίστηκαν σμήνη έως 70000 m². Από την προκαταρκτική προσομοίωση, είναι γνωστό ότι το εμβαδόν μπορεί να υπερεκτιμηθεί σε μεγάλο βαθμό (πάνω από 100%). Έτσι, μία ασφαλής τακτική, είναι να κατασκευαστούν σμήνη που θα καλύπτουν όλο το εύρος μέχρι τα 70000 m² που παρατηρήθηκαν. Τα 70000 m² βέβαια αποτελούν οριακή τιμή (και μάλιστα προϊόν υπερίμησης). Έτσι τα σμήνη προσομοιώθηκαν για εμβαδόν επιφάνειας στο διάστημα [200,50000] m², όπου περιέχεται περίπου το 95.6% των δεδομένων (Εικόνα 2-21B), ενώ προστέθηκε και ένα σμήνος στα 70000 m² με σκοπό κυρίως να αποτελέσει οριακή συνθήκη για τα δεδομένα αλλά και για να καλύπτονται οι ακραίες περιπτώσεις.



Εικόνα 2-21: α) Η κατανομή του παρατηρούμενου μεγέθους των σημών (συνολικό εμβαδόν σε m^2) για τα τελικά δεδομένα πεδίου. β) Η εμπειρική αθροιστική κατανομή για το μέγεθος των σημών στα τελικά δεδομένα πεδίου.

Το κάτω όριο των $200 m^2$ είναι ίσως υπερβολικό, καθώς τα αξιόλογα σμήνη είναι αρκετά μεγαλύτερα. Αν και το μέσο εμβαδόν για όλα τα σμήνη στα δεδομένα πεδίου είναι περίπου $13\ 000 m^2$, ο μέσος αυτός αποτελεί υποτίμηση της πραγματικότητας καθώς λόγω της μικρής ποσότητας αξιόλογων δεδομένων, συλλέχθηκε μεγάλος αριθμός ιδιαίτερα μικρών σημών που επηρεάζουν τη μέτρηση αυτή. Για μελέτη των σφαλμάτων σε πολύ μικρά σμήνη -και άρα σε μικρές αποστάσεις από τον μεταλλάκτη ώστε να είναι ορατά με αξιόλογη ανάλυση- απαιτείται κανονικά εκ νέου οργάνωση της προσομοίωσης.



Εικόνα 2-22: Η κατανομή της παρατηρούμενης μέση πυκνότητας (μέσο S_v) για τα 116 σμήνη των τελικών δεδομένων πεδίου.

προσομοίωσης, φάνηκε πως η υποτίμηση στην απόσταση αυτή είναι ~ 4 dB, προσεγγιστικά ανεξαρτήτως αρχικής πυκνότητας (Εικόνα 2-15A). Έτσι, με μία πρόχειρη εκτίμηση, η νέα μέση πυκνότητα για όλα τα δεδομένα προκύπτει στα -38.3 dB. Η τιμή αυτή φαίνεται να συμφωνεί με τη βιβλιογραφία (Moreno *et al.*, 2007) και έτσι αποφασίστηκε να προσομοιωθούν σμήνη στα -36 , -38 και -40 dB, ώστε να καλυφθεί ένα ενεργειακό εύρος 4dB.

2.6 Αναλυτική προσομοίωση

Από τα παραπάνω, προέκυψαν οι ρυθμίσεις που έγιναν στο SIMULA_{3D} για την τελική προσομοίωση. Όπως προαναφέρθηκε, η προσομοίωση θα μπορούσε να

εκτελεστεί, ώστε να ικανοποιεί περισσότερες περιπτώσεις. Επειδή όμως σκοπός της εργασίας είναι η ανάπτυξη της απαραίτητης μεθοδολογίας βαθμονόμησης και όχι η ανάλυση δεδομένων, η προσέγγιση κρίθηκε ικανοποιητική. Όσον αφορά την τελική προσομοίωση, οι ρυθμίσεις του SONAR παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 2-4).

Πίνακας 2-4: Χαρακτηριστικά προσομοιωμένου ηχοβολιστικού.

Ρύθμιση ηχοβολιστικού	Τιμή προσομοίωσης
Τύπος λειτουργίας	SONAR
Εμβέλεια	900 m
Αριθμός κώνων	64
Δείγματα ανά κώνο	256
Συνάρτηση ευαισθησίας κώνων	Ψηφιοποίηση της συνάρτησης του SP90
Ενεργειακό κατώφλι αποκοπής	-51 dB

Συνολικά, προσομοιώθηκαν 60 σμήνη, των οποίων τα χαρακτηριστικά προσομοίωσης παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 2-5). Κατά την προσομοίωση ηχοβολισμού, τα σμήνη που κατασκευάστηκαν οδηγήθηκαν σε διαδρομές που απομακρύνονταν ακτινικά από τον μεταλλάκτη. Οι διαδρομές ξεκινούσαν στα 100 m απόστασης και έφταναν στα 800 m με βήμα 20 m. Συνολικά προσομοιώθηκαν 2160 ηχοβολισμοί. Η πορεία των σμηνών σχεδιάστηκε με τέτοιο τρόπο, ώστε το γεωμετρικό τους κέντρο να βρίσκεται πάντα στο επίπεδο των ακουστικών αξόνων. Αυτό οδηγεί στην παραδοχή ότι το ίδιο στατιστικά θα συμβαίνει και στα δεδομένα. Κάτι τέτοιο δεν είναι μακριά από την πραγματικότητα καθώς τα σμήνη που επιλέχθηκαν για ανάλυση ήταν αυτά που παρουσίαζαν την περισσότερο αξιοπρεπή εικόνα και άρα λογικά καλύπτονταν κατά το βέλτιστο βαθμό από τους κώνους. Στη πραγματικότητα, η «παραδοχή» αυτή πρέπει να αποτελεί και τη συνήθη περίπτωση καθώς είναι προϋπόθεση της σωστής ακουστικής δειγματοληψίας που πρέπει να επιδιώκεται σε κάθε επιστημονική εφαρμογή.

Πίνακας 2-5: Χαρακτηριστικά προσομοιωμένων σμηνών.

Επιφάνεια [m ²]	Πυκνότητα σε μέσο Sv [dB]	Κατανομή sv ανά voxel	Ακμή voxel [m]	Σχήμα σμήνους
200	[-36, -38, -40]	Εκθετική	1	Ελλειψοειδές συμπιεσμένο
500	[-36, -38, -40]	Εκθετική	1	Ελλειψοειδές συμπιεσμένο
750	[-36, -38, -40]	Εκθετική	1	Ελλειψοειδές συμπιεσμένο
1500	[-36, -38, -40]	Εκθετική	1	Ελλειψοειδές συμπιεσμένο
2500	[-36, -38, -40]	Εκθετική	1	Ελλειψοειδές συμπιεσμένο
3750	[-36, -38, -40]	Εκθετική	1	Ελλειψοειδές συμπιεσμένο

5000	[-36, -38, -40]	Εκθετική	1	Ελλειψοειδές συμπίεσμένο
7500	[-36, -38, -40]	Εκθετική	1	Ελλειψοειδές συμπίεσμένο
10000	[-36, -38, -40]	Εκθετική	2	Ελλειψοειδές συμπίεσμένο
12500	[-36, -38, -40]	Εκθετική	2	Ελλειψοειδές συμπίεσμένο
15000	[-36, -38, -40]	Εκθετική	2	Ελλειψοειδές συμπίεσμένο
17500	[-36, -38, -40]	Εκθετική	2	Ελλειψοειδές συμπίεσμένο
20000	[-36, -38, -40]	Εκθετική	2	Ελλειψοειδές συμπίεσμένο
22500	[-36, -38, -40]	Εκθετική	2	Ελλειψοειδές συμπίεσμένο
25000	[-36, -38, -40]	Εκθετική	2	Ελλειψοειδές συμπίεσμένο
30000	[-36, -38, -40]	Εκθετική	2	Ελλειψοειδές συμπίεσμένο
37000	[-36, -38, -40]	Εκθετική	2	Ελλειψοειδές συμπίεσμένο
50000	[-36, -38, -40]	Εκθετική	3	Ελλειψοειδές συμπίεσμένο
70000	[-36, -38, -40]	Εκθετική	3	Ελλειψοειδές συμπίεσμένο

3 Αποτελέσματα

Η εργασία αυτή διερευνά τη δυνατότητα ποσοτικοποίησης των γεωμετρικών και ενεργειακών παραμορφώσεων των πελαγικών σμηνών, λόγω της γεωμετρίας των ακουστικών κώνων, προσομοιώνοντας το φαινόμενο κάτω από συγκεκριμένες και ελεγχόμενες συνθήκες. Τα αποτελέσματα αυτής της εργασίας θα μπορούσαν να βοηθήσουν στη βαθμονόμηση των πολυκωνικών sonar, ώστε τα ακουστικά δεδομένα των σμηνών από το πεδίο να «διορθώνονται» με τις στατιστικά περισσότερο πιθανές τιμές τους.

Στα κεφάλαια που ακολουθούν, παρουσιάζονται αρχικά τα αποτελέσματα της αναλυτικής προσομοίωσης που ποσοτικοποιούν τα εισαγόμενα σφάλματα (νομογράμματα εκτίμησης). Ακολουθεί ο γενικός αλγόριθμος βαθμονόμησης, που είναι και το κεντρικό αποτέλεσμα, το λογισμικό που εφαρμόζει τον αλγόριθμο στα δεδομένα και τέλος παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα εφαρμογής της μεθόδου σε πραγματικά δεδομένα πεδίου.

3.1 Αποτελέσματα προσομοίωσης

Το κύριο αποτέλεσμα της προσομοίωσης είναι ένας πίνακας 2160 πελαγικών σμηνών, με τα αρχικά χαρακτηριστικά τους, τις ρυθμίσεις του SONAR και τα χαρακτηριστικά των ιχνών τους στο προσομοιωμένο ηχόγραμμα.

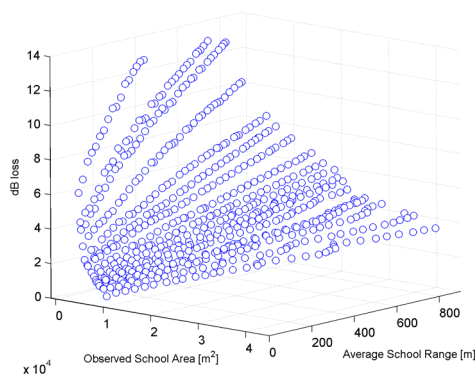
Από τους πίνακες αυτούς μπορούν να εξαχθούν πλήθος πληροφοριών σχετικά με την συμπεριφορά του συστήματος. Στη παρούσα εργασία, το ενδιαφέρον επικεντρώνεται στα σφάλματα που εισάγονται στη μέτρηση του μέσου S_v και του συνολικού εμβαδού των οριζόντιων διατομών στα προσομοιωμένα σμήνη.

3.1.1 Νομογράμματα εκτίμησης ενέργειας

Η προκαταρκτική προσομοίωση, έδειξε ότι η υποτίμηση στην εκτίμηση της ενέργειας εξαρτάται ελάχιστα από την πραγματική πυκνότητα του σμήνους (Εικόνα 2-15A). Η παραδοχή αυτή μειώνει κατά πολύ την έκταση της προσομοίωσης χωρίς βέβαια να έχει ελεγχθεί εξαντλητικά (και άρα περιέχει αβεβαιότητα). Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας, η παραδοχή κρίνεται ικανοποιητική καθώς το σφάλμα που εισάγει είναι σχετικά μικρό (λιγότερο από 1dB στο εύρος των δεδομένων).

Τελικά, για δεδομένα λοιπά χαρακτηριστικά, το σμήνος θα υποτιμηθεί ενεργειακά κατά το ίδιο ποσό σε dB. Το ποσό αυτό είναι η ζητούμενη ποσότητα, και υπολογίζεται από τη διαφορά του μέσου S_v που ορίστηκε στο προσομοιωμένο σμήνος (S_{v0}) από την αντίστοιχη τιμή που υπολογίστηκε από το ηχόγραμμα² (δηλαδή μετά τον προσομοιωμένο ηχοβολισμό). Η διαφορά αυτή υπολογίστηκε για όλα τα διαφορετικά μεγέθη σμηνών στους προσομοιωμένους ηχοβολισμούς και για μέσο S_{v0} -38dB. Έτσι, προέκυψαν 720 συντελεστές διόρθωσης, ένας για κάθε συνδυασμό απόστασης από τον μεταλλάκτη και παρατηρούμενης συνολικής επιφάνειας της οριζόντιας διατομής των σμηνών.

² Υπενθυμίζεται εδώ ότι το S_v είναι λογαριθμικό μέγεθος και άρα ισχύουν οι σχετικές ιδιότητες.

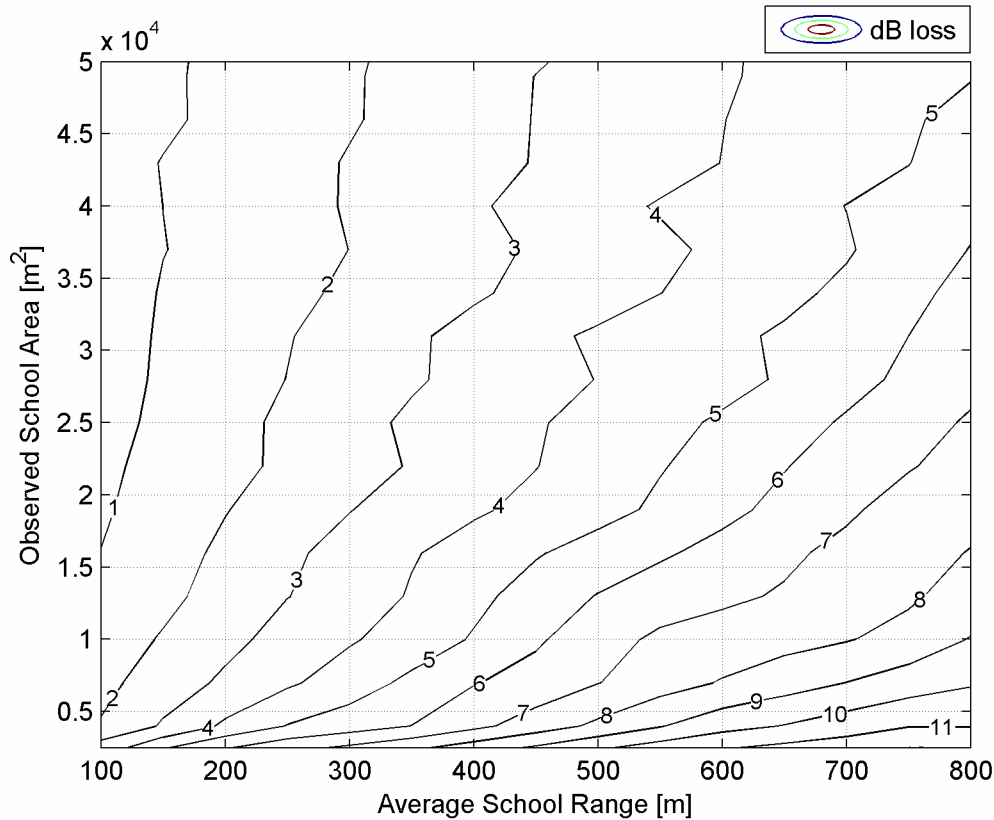


Εικόνα 3-1: Η απώλεια στη μέτρηση του μέσου S_v [dB] σε σχέση με το S_{v_0} για 20 διαφορετικά σμήνη καθώς αυτά απομακρύνονται από τον μεταλλάκτη.

την πρόβλεψη τιμών στις περιοχές όπου δεν υπάρχουν μετρήσεις είναι θεμιτή, καθώς η συνάρτηση του σφάλματος δεν αναμένεται να εμφανίζει ασυνέχειες.

Μετά την εφαρμογή της μεθόδου παρεμβολής, είναι διαθέσιμη μία επιφάνεια διόρθωσης. Έτσι, στο γράφημα της Εικόνα 3-2 απεικονίζονται οι ισοσταθμικές καμπύλες της επιφάνειας αυτής, που αντιστοιχούν στην ενεργειακή απώλεια που υπέστη σμήνος με δεδομένα χαρακτηριστικά. Για κάθε απόσταση από τον μεταλλάκτη και συνολικό παρατηρούμενο εμβαδόν, το γράφημα επιστρέφει το ποσό υποτίμησης του μέσου S_{v_0} σε dB. Έτσι, καθώς το μέσο S_v συνδέεται με την πυκνότητα, το γράφημα αυτό είναι το νομόγραμμα εκτίμησης της μέσης πυκνότητας του παρατηρούμενου σμήνους.

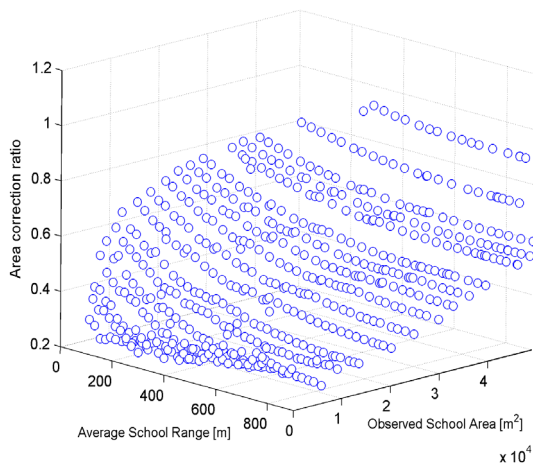
Τα μεγέθη που θεωρείται ότι καθορίζουν το ποσό υποτίμησης του μέσου, είναι η απόσταση από τον μεταλλάκτη και η συνολική παρατηρούμενη επιφάνεια του σμήνους. Έτσι, το ενεργειακό σφάλμα μπορεί να αντιμετωπιστεί ως συνάρτηση των δύο μεταβλητών που αναφέρθηκαν. Στην Εικόνα 3-1 φαίνεται το σφάλμα συναρτήσεως της μέσης απόστασης του σμήνους από τον μεταλλάκτη και της παρατηρούμενης επιφάνειάς του. Τα σημεία που απεικονίζονται στο γράφημα ανήκουν στην επιφάνεια που περιγράφει το σφάλμα. Η ίδια η επιφάνεια, προκύπτει από την εφαρμογή μεθόδου παρεμβολής επί των διαθέσιμων σημείων. Η χρήση μίας τέτοιας μεθόδου για



Εικόνα 3-2: Το νομόγραμμα εκτίμησης του μέσου Sv_0 για παρατηρούμενο σμήνος. Οι ισοσταθμικές καμπύλες προέρχονται από παρεμβολή 720 σημείων.

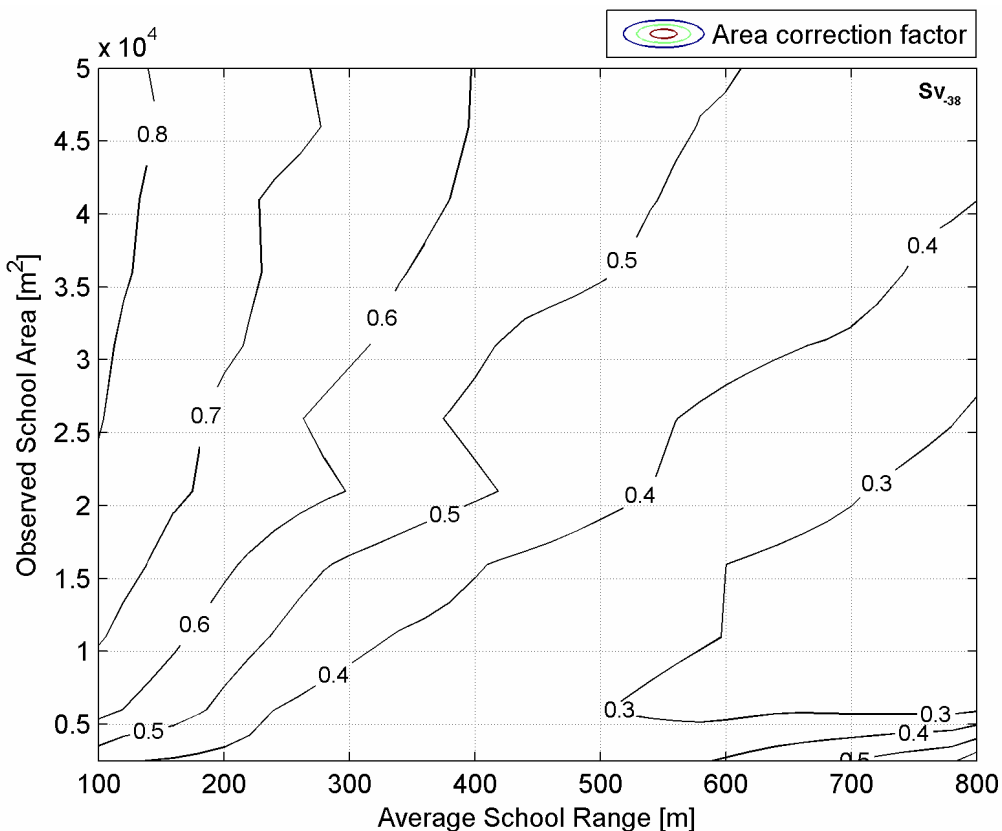
3.1.2 Νομόγραμμα διόρθωσης επιφάνειας

Από την προκαταρκτική ανάλυση φάνηκε πως οι κύριες παράμετροι στη συνάρτηση του σφάλματος συνολικού εμβαδού, είναι η μέση απόσταση του σμήνους από τον μεταλλάκτη και το μέγεθός του, ενώ εδώ το πραγματικό μέσο Sv του σμήνους φάνηκε να έχει κάποια επίδραση, για μεγάλες κυρίως αποστάσεις από τον μεταλλάκτη (Εικόνα 2-21A,B). Για τον υπολογισμό του σφάλματος που εισάγεται στην συνολική επιφάνεια χρησιμοποιήθηκε ο λόγος του πραγματικού συνολικού εμβαδού (υπολογισμένο στο επίπεδο των ακουστικών αξόνων επί του προσομοιωμένου σμήνους) προς το μετρούμενο εμβαδόν στο προσομοιωμένο ηχώγραμμα. Πρόκειται έτσι για έναν αδιάστατο αριθμό, που αν πολλαπλασιαστεί με την παρατηρούμενη επιφάνεια, δίνει τη πραγματική. Ο υπολογισμός αυτός έγινε για τους 2160 προσομοιωμένους ηχοβολισμούς οι οποίοι χωρίστηκαν σε τρεις κατηγορίες σύμφωνα με την πραγματική πυκνότητα των σμηνών (-40, -38, -36 dB). Έτσι, για κάθε κατηγορία πραγματικής πυκνότητας (δηλαδή για κάθε Sv_0) το σφάλμα είναι μία βαθμωτή συνάρτηση δύο μεταβλητών, της απόστασης από τον μεταλλάκτη και της παρατηρούμενης συνολικής επιφάνειας. Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των δεδομένων για τα -38 dB.



Εικόνα 3-3: Ο λόγος της παρατηρούμενης προς την πραγματική επιφάνεια για 20 διαφορετικού μεγέθους σμήνη καθώς απομακρύνονται από τον μεταλλάκτη.

Ακολουθώντας όμοια λογική με την διόρθωση των ενεργειακών σφαλμάτων, στην Εικόνα 3-3 φαίνεται ο συντελεστής διόρθωσης συναρτήσει της μέσης απόστασης του σμήνους από τον μεταλλάκτη και της παρατηρούμενης επιφάνειάς του. Τα σημεία που απεικονίζονται στο γράφημα ανήκουν στην επιφάνεια που περιγράφει το σφάλμα. Στην Εικόνα 3-4 απεικονίζονται οι ισοσταθμικές καμπύλες της επιφάνειας διόρθωσης, η οποία για κάθε απόσταση από τον μεταλλάκτη και συνολικό παρατηρούμενο εμβαδόν, δίνει το συντελεστή που αν πολλαπλασιαστεί με το παρατηρούμενο συνολικό εμβαδόν θα δώσει το πραγματικό.



Εικόνα 3-4: Το νομόγραμμα εκτίμησης της πραγματικής επιφάνειας εντοπιζόμενου σμήνους. Οι ισοσταθμικές προέρχονται από παρεμβολή 720 σημείων.

3.2 Γενικευμένος αλγόριθμος βαθμονόμησης

Στο σημείο αυτό παρουσιάζεται ο γενικευμένος αλγόριθμος βαθμονόμησης που είναι το κύριο αποτέλεσμα της εργασίας αυτής. Είναι σημαντικό να σημειωθεί, ότι ο αλγόριθμος προϋποθέτει σε πρώτο στάδιο να έχει πραγματοποιηθεί προσομοίωση για τα χαρακτηριστικά του ηχοβολιστικού που χρησιμοποιήθηκε στη δειγματοληψία και να είναι διαθέσιμα τα αντίστοιχα νομογράμματα. Επίσης η προσομοίωση πρέπει να είναι συμβατή με τα διαθέσιμα δεδομένα. Ο αλγόριθμος χωρίζεται σε τρία κυρίως τμήματα, αναλόγως με τη λειτουργία που πρέπει να εκτελεστεί. Το πρώτο τμήμα σχετίζεται αποκλειστικά με την εκτίμηση βιομάζας, το δεύτερο με την πλήρη βαθμονόμηση των δεδομένων και το τρίτο με μία παραλλαγή της μεθόδου για χαμηλής ποιότητας δεδομένα.

3.2.1 Εκτίμηση βιομάζας

Το πρώτο τμήμα του αλγόριθμου χρησιμοποιείται όταν ο σκοπός είναι αποκλειστικά η εκτίμηση βιομάζας και δεν υπάρχει ενδιαφέρον για την εσωτερική δομή του σμήνους. Στη περίπτωση αυτή, τα στοιχειώδη μεγέθη του συνολικού εμβαδού και της μέσης πυκνότητας αρκούν για τον υπολογισμό της βιομάζας χρησιμοποιώντας κάποιο από τα διαθέσιμα μοντέλα, με την προϋπόθεση ότι είναι γνωστά τα είδη των πελαγικών ειδών από τη βιολογική δειγματοληψία. Ακολουθούν τώρα τα βήματα για τον υπολογισμό της βιομάζας.

Προετοιμασία

- Σε πρώτο στάδιο υπολογίζεται η συνολική οριζόντια επιφάνεια του σμήνους ([αριθμός δειγμάτων] * [μέση επιφάνεια δείγματος]) και η μέση απόσταση από τον μεταλλάκτη (απόσταση γεωμετρικού κέντρου από τον μεταλλάκτη).

Διόρθωση του μέσου S_v

- Από τα μεγέθη αυτά και το γράφημα της Εικόνα 3-2 υπολογίζεται ο συντελεστής διόρθωσης για το μέσο S_v του σμήνους.
- Από τις ενεργειακές μετρήσεις των ακουστικών δειγμάτων του σμήνους, υπολογίζεται το παρατηρούμενο μέσο $S_{v,obs}$ (πρόκειται για λογαριθμικό μέσο).
- Στο παρατηρούμενο μέσο $S_{v,obs}$, προστίθεται ο συντελεστής ενεργειακής διόρθωσης και έτσι υπολογίζεται το διορθωμένο μέσο S_{v0} του σμήνους.

Διόρθωση εμβαδού

- Χρησιμοποιείται επίσης η παρατηρούμενη συνολική επιφάνεια του σμήνους και η μέση απόστασή του από τον μεταλλάκτη ώστε, από το γράφημα της Εικόνα 3-4, να υπολογιστεί ο συντελεστής διόρθωσης για την επιφάνεια του σμήνους. Στο στάδιο αυτό, για την επιλογή του κατάλληλου νομογράμματος (υπάρχει ένα για κάθε πραγματικό μέσο S_{v0}) χρησιμοποιείται το πλησιέστερο στο διορθωμένο μέσο S_{v0} που υπολογίστηκε στο προηγούμενο βήμα.
- Από το γινόμενο του συντελεστή διόρθωσης επιφάνειας και της παρατηρούμενης επιφάνειας ($AREA_{obs}$) του σμήνους υπολογίζεται η διορθωμένη συνολική επιφάνεια ($AREA_0$).

Υπολογισμός βιομάζας

- Γίνεται χρήση κάποιου από τα διαθέσιμα μοντέλα για τον υπολογισμό της βιομάζας. Επί παραδείγματι,

$$\hat{S}_v = 10 \log(\bar{\rho}_v) + \langle TS \rangle$$

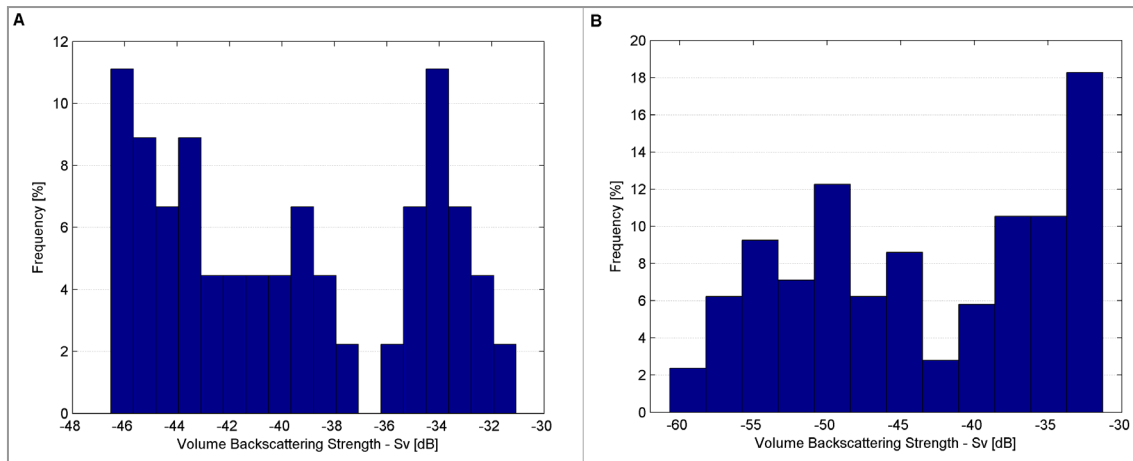
$\bar{\rho}_v$: Πυκνότητα του σμήνους σε άτομα/m³.

$\langle TS \rangle$: Η μέση ένταση στόχου (target strength) των παρατηρούμενων ατόμων.

3.2.2 Η περίπτωση των «προβληματικών» δεδομένων

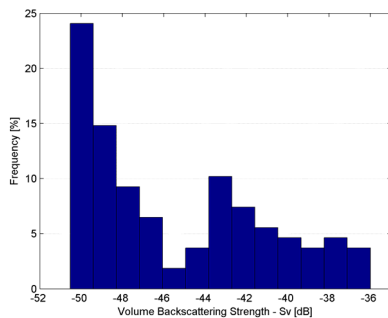
Η μέθοδος που αναπτύχθηκε δεν μπορεί και δεν πρέπει να χρησιμοποιείται για τη διόρθωση δεδομένων που τα χαρακτηριστικά τους απέχουν πολύ από τις ρυθμίσεις της προσομοίωσης. Συγκεκριμένα, ο αλγόριθμος φαίνεται να «διορθώνει» υπερβολικά την επιφάνεια, αποκόπτοντας κάποιες φορές όλο το σμήνος, αν προσομοιώσουμε εξαιρετικά μικρά σμήνη, σε ακραίες ρυθμίσεις ενίσχυσης που έχουν σαν αποτέλεσμα να αλλάζει το threshold ενεργειακής αποκοπής και γενικότερα σε προβληματικά ηχογράμματα (όσον αφορά τη δειγματοληψία). Αν και η μέθοδος είναι αποτελεσματική για τα αποδεκτά δεδομένα, το μεγάλο πλήθος των ιδιόμορφων αυτών ηχογραμμάτων ευνοεί την ιδέα για πειραματισμό με μία παραλλαγή της μεθόδου η οποία θα μπορεί να επέμβει ακόμα και σε ακραίες περιπτώσεις. Η «παραλλαγή» εντοπίζεται ουσιαστικά στη παρεμβολή ενός ενδιάμεσου βήματος το οποίο περιορίζει την αυτονομία του αλγόριθμου βαθμονόμησης.

Το βήμα αυτό, εισάγεται κατά τη προετοιμασία των δεδομένων προτού γίνει η διόρθωση. Συγκεκριμένα, οι ενεργειακές τιμές του σμήνους διαχωρίζονται με τη βοήθεια εξειδικευμένου λογισμικού σε αυτές που κατά πάσα πιθανότητα αντιστοιχούν σε πραγματικό σμήνος και σε αυτές για τις οποίες υπάρχει η υποψία ότι οφείλονται σε διπλούς ακουστικούς κώνους (πιθανώς πλασματικές μετρήσεις, βλ. κεφ. 1.4.1, Εικόνα 1-8). Ο διαχωρισμός αυτός δεν είναι τυχαίος και βασίζεται κυρίως σε αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανάλυση με το λογισμικό Threshold simulator. Στα ηχογράμματα που εξετάστηκαν από σμήνη στο πεδίο, εμφανίζεται ένα πρότυπο κατανομής στο ενεργειακό ιστόγραμμα τους, με δύο κύριες κορυφές, μία με χαμηλότερο ενεργειακό μέσο και μία με υψηλότερο (Εικόνα 3-5A). Ο διαχωρισμός γίνεται περισσότερο σαφής όσο μεγαλύτερο (σε αριθμό pixel) είναι το κοπάδι και όσο αυξάνεται η απόστασή του από το SONAR. Η κατανομή υψηλής ενέργειας ταιριάζει περισσότερο στη φύση του στόχου και έτσι γίνεται η υπόθεση ότι η κατανομή χαμηλής ενέργειας αντιστοιχεί στις ισχυρότερα υποτιμημένες μετρήσεις. Η υπόθεση αυτή ελέγχθηκε και επιβεβαιώθηκε στα προσομοιωμένα δεδομένα όπου εμφανίζεται το ίδιο πρότυπο κατανομής (Εικόνα 3-5B).



Εικόνα 3-5: α) Ιστόγραμμα τιμών Sv από ακουστικά δείγματα σμήνους στο πεδίο, όπου εντοπίζεται το πρότυπο κατανομής. β) “Αναπαραγωγή” του προτύπου κατανομής σε ακουστικά δείγματα σμήνους από προσομοιωμένο ηχόγραμμα.

Στο στάδιο προετοιμασίας λοιπόν, οι τιμές που συνιστούν την ενεργειακά «αδύναμη» κατανομή διαχωρίζονται από αυτές της «ισχυρής» κατανομής. Σημειώνεται τέλος, ότι ο διαχωρισμός δεν είναι πάντα σαφής καθώς οι δύο κατανομές συχνά εμφανίζουν αλληλοεπικάλυψη (Εικόνα 3-6). Στη περίπτωση αυτή, ο χρήστης πρέπει να πάρει πρωτοβουλία βασιζόμενος στα μέσα που προσφέρει το λογισμικό που αναπτύχθηκε.

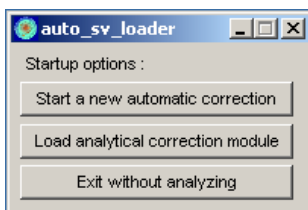


Εικόνα 3-6: Πρότυπο κατανομής από εντοπιζόμενο σμήνος όπου εμφανίζεται αλληλοεπικάλυψη μεταξύ των δύο τύπων μετρήσεων.

Εφόσον η προετοιμασία των δεδομένων έχει γίνει, εκτελείται ο γενικός αλγόριθμος διόρθωσης. Η παρέμβαση γίνεται στο τελευταίο στάδιο της γεωμετρικής διόρθωσης, όπου συμβαίνει η αποκοπή των πλεοναζόντων δειγμάτων του σμήνους. Στο σημείο αυτό, η παραλλαγμένη εκδοχή επιτρέπει την αποκοπή μόνο από την ομάδα των δειγμάτων που νωρίτερα χαρακτηρίστηκαν ως «πιθανόν πλασματικές». Σε περίπτωση που τα ακουστικά δείγματα που πρέπει να αποκοπούν είναι περισσότερα από τα χαρακτηρισμένα ως πλασματικά, ο αλγόριθμος θα αποκόψει μόνο τα «πλασματικά», αγνοώντας τα υπόλοιπα δείγματα. Έτσι, στη πράξη η διόρθωση γίνεται «μερικώς επιβλεπόμενη» καθώς γίνεται περιορισμός του βαθμού διόρθωσης.

3.3 Το εξειδικευμένο λογισμικό διόρθωσης `auto_sv`

Από το λογισμικό που αναπτύχθηκε για τις ανάγκες της εργασίας αυτής, το `auto_sv` είναι αυτό που αντιπροσωπεύει τελικά το κύριο αποτέλεσμά της, δηλαδή τον αλγόριθμο διόρθωσης ακουστικών δεδομένων. Το λογισμικό αυτό βελτιώθηκε πολλές



Εικόνα 3-7: Επιλογές εκκίνησης του auto_sv.

φορές ακολουθώντας την πορεία της εξέλιξης της μεθόδου διόρθωσης. Στο σημείο αυτό παρουσιάζεται η τελική του έκδοση. Συνοπτικά πρόκειται για ένα λογισμικό γραφικού περιβάλλοντος που ενσωματώνει τον γενικό αλγόριθμο διόρθωσης ο οποίος παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Κατά την εκκίνηση του λογισμικού ο χρήστης ερωτάται για την εργασία που θέλει να εκτελέσει ώστε να φορτωθούν τα απαραίτητα υποσυστήματα (Εικόνα 3-7). Οι επιλογές σχετίζονται με το αν το λογισμικό θα δράσει αυτόματα σε κάποιο σετ δεδομένων, ή αν η διόρθωση θα γίνει ανά σμήνος.

3.3.1 Αυτόματη διόρθωση

Σε περίπτωση που ο χρήστης επιλέξει την αυτόματη λειτουργία, το λογισμικό ζητά έναν φάκελο στον οποίο βρίσκονται τα προς διόρθωση αρχεία. Κατόπιν, εκτελείται ο ενσωματωμένος αλγόριθμος διόρθωσης για καθένα από τα αρχεία σμηνών. Το auto_sv χρησιμοποιεί το ηχόγραμμα που βρίσκεται στο πρώτο φύλλο του αρχείου σμηνούς, ενώ τα metadata που είναι απαραίτητα για διάφορους υπολογισμούς ανακτώνται από το δεύτερο φύλλο. Μετά τη διόρθωση, το λογισμικό προσθέτει ένα τρίτο φύλλο στο αρχείο σμηνούς όπου αποθηκεύεται το διορθωμένο ηχόγραμμα.

Πολλά αρχεία σμηνών μπορεί να αντιστοιχούν σε διαδοχικά ηχογράμματα του ίδιου σμηνούς. Στη περίπτωση αυτή, το λογισμικό μπορεί να τα αναγνωρίσει (μέσω ετικετών). Τελικά για κάθε σμήνος, παράγεται ένα νέο αρχείο στο format xls που περιέχει μία γραμμή για κάθε ηχοβολισμό (δηλαδή το λιγότερο μία γραμμή), ενώ στις στήλες περιέχονται οι τιμές δεικτών πριν και μετά τη διόρθωση καθώς επίσης και τα metadata για το αντίστοιχο ηχόγραμμα. Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 3-1), αναγράφονται τα στοιχεία αυτά, μαζί με τις πιθανές τιμές.

Πίνακας 3-1: Περιεχόμενα αρχείου αποτελεσμάτων αυτόματης διόρθωσης.

Κωδικός Στήλης	Παράμετρος	Τιμή /Μονάδες παραμέτρου
Path	Θέση του αρχείου .dat στο file system	*:/*.*.dat
Filename	Όνομα του αρχείου .dat	*.dat
SPDatwart_ms	Ταχύτητα σκάφους από δεδομένα ταχύμετρου	m/s
OBR	Ρύθμιση βεληγεκούς του SONAR	[150 - 8000] m
AGC	Ρύθμιση του Auto Gain Control	[off, weak, medium, strong]
TVG	Ρύθμιση του Time Varied Gain	[0, 20, 30]*logR
Gain	Ρύθμιση του Gain	[0 - 50] dB
DispGain	Ρύθμιση του Display Gain	[0 - 9] dB
Freq	Συχνότητα λειτουργίας SONAR	[20-30] kHz
PulseForm	Τύπος παλμού	[CW, FM]
TxPower	Ισχύς παλμού	[off, weak, medium, strong]
dayVSnight	Χρονικός προσδιορισμός δειγματοληψίας	[0: Νύχτα, 1: Μέρα]
ASR	Μέση απόσταση σμηνούς από τον μεταλλάκτη	m

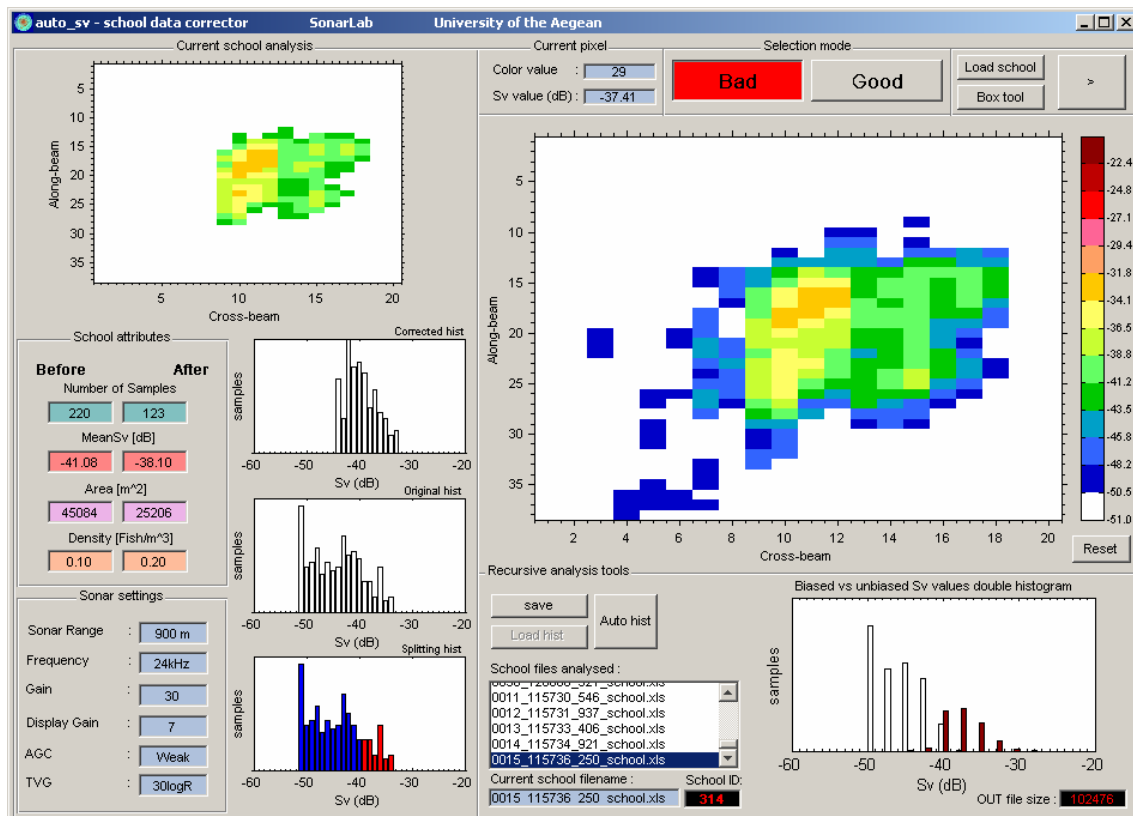
AREAobs	Παρατηρούμενο συνολικό εμβαδόν σμήνους	m ²
AREAcor	Διορθωμένο συνολικό εμβαδόν σμήνους	m ²
ASDobs	Παρατηρούμενο μέσο Sv σμήνους	dB
ASDcor	Διορθωμένο μέσο Sv σμήνους	dB
AREAcf	Συντελεστής διόρθωσης εμβαδού	(ASDcor/AREAobs)
ASDcf	Συντελεστής διόρθωσης μέσου Sv	(ASDcor – ASDobs) dB

Τα αρχεία αυτά, αν και χρήσιμα δεν είναι ιδιαίτερα συνοπτικά. Έτσι, το λογισμικό για κάθε ανάλυση παράγει και ένα συλλογικό αρχείο στο format xls που περιέχει μία γραμμή για κάθε σμήνος. Στις στήλες του, το αρχείο αυτό περιέχει τους ίδιους δείκτες και παραμέτρους με τα αναλυτικά αρχεία, με τη διαφορά ότι εδώ κάθε γραμμή αντιστοιχεί σε πολλές παρατηρήσεις του ίδιου σμήνους και άρα στην αντίστοιχη θέση περιέχει τη διάμεσο. Επιλέχθηκε η διάμεσος για να αποφευχθεί η πιθανώς αρνητική επίδραση ηχογραμμάτων με ακραία χαρακτηριστικά. Το συνοπτικό αυτό αρχείο δεν έχει φυσικά την ακρίβεια των προηγούμενων, αλλά αρκεί για κάποιες στοιχειώδεις παρατηρήσεις. Η χρήση του βέβαια πρέπει να γίνεται με προσοχή καθώς ένα σμήνος είναι συχνά ορατό για μεγάλο χρονικό διάστημα (εκατοντάδες ηχογράμματα) και έτσι έχει αλλάξει πολύ στο χρόνο παρατήρησης με αποτέλεσμα η χρήση της διαμέσου να δίνει παραπλανητικά αποτελέσματα.

3.3.2 Αναλυτική προσέγγιση

Εάν ο χρήστης επιλέξει να εκτελεστεί λεπτομερής ανάλυση, το λογισμικό φορτώνει το απαραίτητο γραφικό περιβάλλον. Σημειώνεται εδώ, ότι για την εφαρμογή της παραλλαγής της μεθόδου (για τα «προβληματικά» δεδομένα) απαιτείται η χρήση του αναλυτικού εργαλείου.

Σε πρώτη φάση, ο χρήστης επιλέγει ένα αρχείο σμήνους. Το λογισμικό, καθώς φορτώνει το αρχείο, εκτελεί παράλληλα και τη διόρθωση. Όταν η διαδικασία ολοκληρωθεί, το πρωτότυπο μαζί με το διορθωμένο σμήνος απεικονίζονται στο γραφικό περιβάλλον (Εικόνα 3-8). Παράλληλα σχεδιάζονται τα ενεργειακά ιστογράμματα πριν και μετά τη διόρθωση και προβάλλονται πληροφορίες για τις μεταβολές στον αριθμό των ακουστικών δειγμάτων, το εμβαδόν, το μέσο Sv, τη διακύμανσή του και τη πυκνότητα του σμήνους (άτομα/m³). Τέλος, εμφανίζονται και οι συνήθεις πληροφορίες σχετικά με τις ρυθμίσεις του SONAR (Range, Gain Display Gain, AGC, TVG, Frequency).



Εικόνα 3-8: Το γραφικό περιβάλλον του λογισμικού *auto_sv*. Στο άνω δεξιό χωρίο εντοπίζεται το σμήνος όπως ανακτάται από τα δεδομένα και στο άνω αριστερό μετά την αυτόματη διόρθωση. Διατίθενται επίσης ιστογράμματα πριν και μετά τη διόρθωση, καθώς επίσης και διάφορες μετρήσεις (επιφάνεια, μέσο Sv, πυκνότητα σε άτομα/m³ κα.). Τα λοιπά εργαλεία σχετίζονται με τη μη αυτόματη διόρθωση.

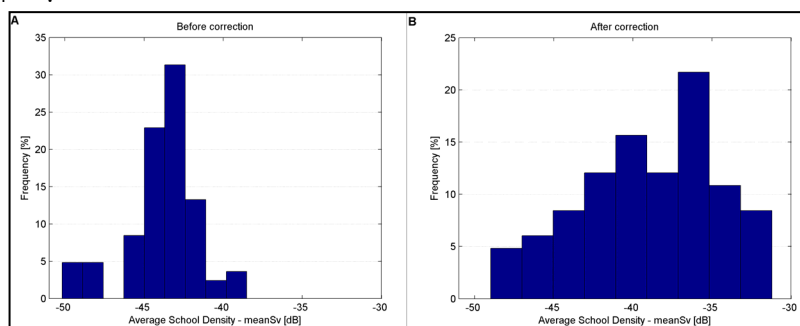
Σε περίπτωση που ο χρήστης είναι ικανοποιημένος από την αυτόματη διόρθωση, μπορεί να την αποδεχθεί, το λογισμικό θα την αποθηκεύσει στο τρίτο φύλλο του ίδιου αρχείου και θα προχωρήσει αυτόματα στο επόμενο αρχείο. Παράλληλα, το λογισμικό θα κατασκευάσει (ή θα εμπλουτίσει εάν έχουν ήδη δημιουργηθεί) τα συνοπτικά αρχεία που είναι όμοια με αυτά της αυτόματης διόρθωσης. Διαφορετικά, σε περίπτωση που το αρχείο ανήκει στα «προβληματικά» δεδομένα, ο χρήστης μπορεί είτε φυσικά να το αγνοήσει και να προχωρήσει στο επόμενο, είτε να εφαρμόσει την παραλλαγή της μεθόδου που αναφέρθηκε νωρίτερα. Για να γίνει αυτό, το λογισμικό υποστηρίζει την κατηγοριοποίηση των ακουστικών μετρήσεων του σμήνους σε αποδεκτές και υποψήφιες για αποκοπή. Τα ακουστικά δείγματα μπορούν πατώντας τα με τον κέρσορα να κατηγοριοποιηθούν ως υποτιμημένα ή αποδεκτά ανάλογα με την προεπιλογή του χρήστη ενώ διατίθεται και εργαλείο σχηματισμού ορθογωνίων για μαζική κατηγοριοποίηση στοιχείων. Για την καθοδήγηση του χρήστη όσον αφορά τη κατηγοριοποίηση παρέχονται ειδικά γραφήματα (Εικόνα 3-8). Συγκεκριμένα σχηματίζεται το ιστόγραμμα ενεργειών του τρέχοντος σμήνους πριν και μετά την αυτόματη διόρθωση. Διατίθεται το ιστόγραμμα διαχωρισμού με τις δύο κατηγορίες μετρήσεων για το τρέχον σμήνος (μπλέ χρώμα για τις απορριπτές και κόκκινο για τις αποδεκτές) και τέλος το συνολικό διπλό ιστόγραμμα για το σύνολο των τιμών του τρέχοντος αρχείου εξόδου (δηλαδή το παρόν σμήνος και όσα έχουν προηγουμένως αναλυθεί), όπου οι τιμές για τις δύο κλάσεις επίσης κατηγοριοποιούνται με διαφορετικό χρώμα (λευκό και κόκκινο). Παρέχεται δυνατότητα αναίρεσης της τελευταίας ενέργειας (undo) και επανεκκίνησης της ανάλυσης (reset). Αφού ο διαχωρισμός ολοκληρωθεί και κατόπιν εντολής του χρήστη, το λογισμικό εκτελεί την παραλλαγή της μεθόδου

διόρθωσης και οπτικοποιεί τα αποτελέσματα. Εάν ο χρήστης είναι ικανοποιημένος μπορεί να φορτώσει νέο δείγμα, ενώ το πρόγραμμα ενσωματώνει αυτόματα τη κατηγοριοποίηση που έγινε σε επιλεγμένο αρχείο εξόδου ώστε να μπορεί να ανακτηθεί εκ των υστέρων. Το αρχείο εξόδου μπορεί να συγκρατήσει πληροφορία για τον διαχωρισμό οποιουδήποτε πλήθους σημνών (δηλαδή μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο ένα συνολικό αρχείο) και υπάρχει η δυνατότητα να φορτωθεί ξανά στο `auto_sv` εάν ο χρήστης επιθυμεί τον εμπλουτισμό του. Τέλος, εάν το αρχείο αυτό είναι φορτωμένο στο λογισμικό και ο χρήστης εισάγει σμήνος που έχει ήδη αναλυθεί, ειδοποιείται σχετικά από την εφαρμογή.

3.4 Εφαρμογή της μεθόδου σε πραγματικά δεδομένα

Η μέθοδος βαθμονόμησης που αναπτύχθηκε, εφαρμόστηκε στα διαθέσιμα δεδομένα του προγράμματος FADIO, με κύριο σκοπό τη διερεύνηση της αποτελεσματικότητάς της. Η εφαρμογή έγινε με τη χρήση του λογισμικού αποσφαλμάτωσης `auto_sv` επί των δεδομένων πεδίου. Τα δεδομένα είχαν ήδη περάσει από δύο στάδια διαλογής και έτσι για την πλειοψηφία τους εφαρμόστηκε αυτόματη διόρθωση. Σε ορισμένα δείγματα τα οποία εμφάνιζαν ιδιομορφίες αλλά και αναλυτικό ενδιαφέρον, εφαρμόστηκε η παραλλαγή της μεθόδου για τα χαμηλής ποιότητας δεδομένα. Συνολικά αναλύθηκαν 5465 αρχεία που αντιστοιχούσαν σε 116 σμήνη (δηλαδή περίπου 50 ηχογράμματα ανά σμήνος). Στο σημείο αυτό παρουσιάζονται τα κύρια αποτελέσματα από την συγκεκριμένη ανάλυση.

Στην εικόνα Εικόνα 3-9 απεικονίζεται το ιστόγραμμα συχνοτήτων του μέσου S_v για όλα τα σμήνη που αναλύθηκαν, πριν και μετά τη βαθμονόμηση. Προτού γίνει η διόρθωση, η πλειοψηφία των σημνών εμφανίζει μέσο S_v μεταξύ -42 και -46 dB, ενώ μετά τη διόρθωση η κατανομή των μέσων είναι περισσότερο ομοιόμορφη στο ενεργειακό φάσμα.

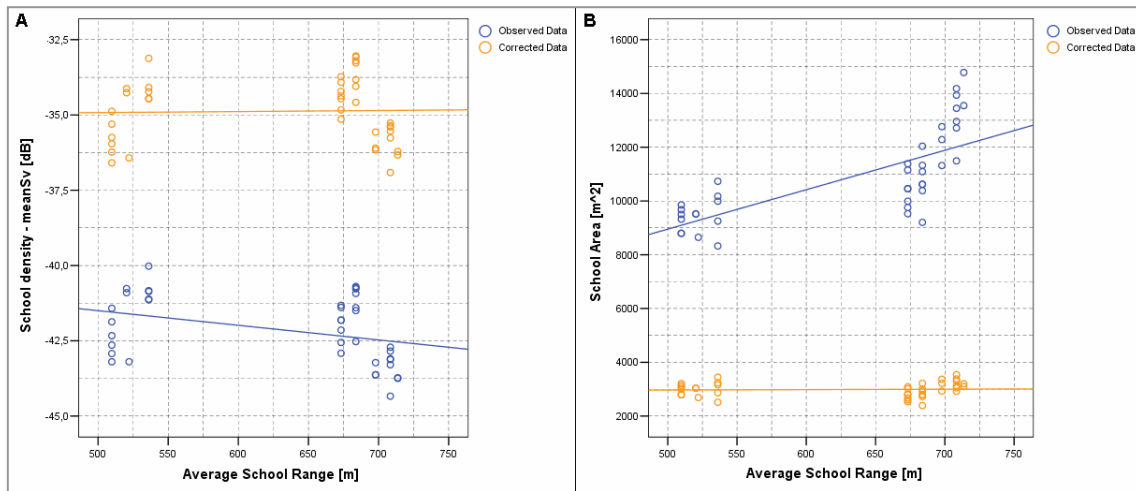


Εικόνα 3-9: α) Ιστόγραμμα συχνοτήτων του μέσου S_v για τα τελικά δεδομένα πεδίου (116 σμήνη. β) Όμοιο γράφημα μετά τη βαθμονόμηση των δεδομένων.

Στην Εικόνα 3-10Α φαίνονται οι μετρήσεις του μέσου S_v για ένα συγκεκριμένο σμήνος πριν και μετά τη βαθμονόμηση. Κάθε μέτρηση αντιστοιχεί σε έναν ηχοβολισμό. Το συγκεκριμένο σμήνος, παρατηρήθηκε για λίγο χρόνο σε μέση απόσταση από τον μεταλλάκτη (~ 520 m), στη συνέχεια χάθηκε από το ηχογράμμα λόγω συμπεριφοράς του χειριστή του σκάφους (απότομη στροφή και επιτάχυνση) για να εμφανιστεί πάλι αργότερα σε μεγαλύτερη απόσταση. Στο γράφημα, το σμήνος πριν τη διόρθωση δείχνει πυκνότερο όταν είναι στη μικρότερη απόσταση (το S_v έχει αρνητικό πρόσημο) σε σχέση με την μεγαλύτερη. Αντίθετα, μετά τη βαθμονόμηση η πυκνότητα φαίνεται να παραμένει στο ίδιο μέσο επίπεδο και για τις δύο περιοχές παρατήρησης.

Στην εικόνα Εικόνα 3-10B φαίνονται οι μετρήσεις του συνολικού εμβαδού για το ίδιο σμήνος, πριν και μετά τη βαθμονόμηση. Στα μη διορθωμένα δεδομένα και όταν το σμήνος βρίσκεται σε μικρή απόσταση από το SONAR, το μετρούμενο εμβαδόν είναι

σημαντικά μικρότερο σε σχέση με τις αντίστοιχες μετρήσεις σε μεγαλύτερη απόσταση. Αντίθετα, μετά τη βαθμονόμηση το εμβαδόν εμφανίζεται εξαιρετικά σταθερό και για τις δύο «ζώνες» απόστασης.



Εικόνα 3-10: α) Μέτρηση του μέσου Sv για διαδοχικές παρατηρήσεις σμήνους που εντοπίστηκε σε δύο ζώνες απόστασης από τον μεταλλάκτη. Στο γράφημα προβάλλονται οι μετρήσεις για τα αρχικά και τα βαθμονομημένα δεδομένα β) Διαδοχικές μετρήσεις συνολικού εμβαδού για το ίδιο σμήνος, πριν και μετά τη βαθμονόμηση.

4 Συζήτηση

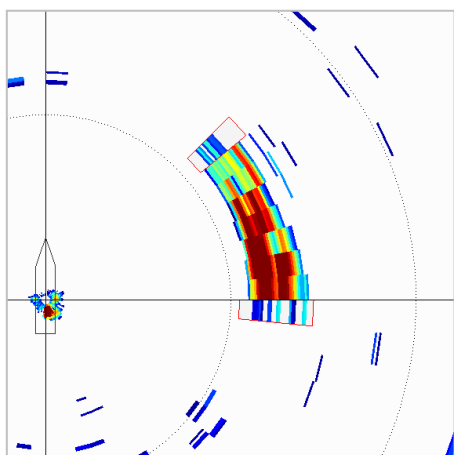
4.1 Η σημασία της μεθόδου που αναπτύχθηκε

Σε επίπεδο εργασίας, η μέθοδος βαθμονόμησης που αναπτύχθηκε είναι εξαιρετικά πρακτική, καθώς μπορεί να λειτουργήσει αυτόματα και με μεγάλη ταχύτητα, ενώ υποστηρίζεται και από εξειδικευμένο λογισμικό. Επίσης, τόσο η μέθοδος όσο και το λογισμικό είναι σχεδιασμένα ώστε να προσαρμόζονται σε δεδομένα από διαφορετικά SONAR με μεγάλη ευκολία. Το ερώτημα που απομένει είναι το κατά πόσο κάνει σωστά τη δουλειά της, δηλαδή να διορθώνει τη γεωμετρική ευαισθησία των ακουστικών λοβών.

4.1.1 Παραδοχές

Γίνονται αρχικά δυο σχόλια για τις παραδοχές που έχουν εισαχθεί στην εκτέλεση του γενικού αλγόριθμου διόρθωσης.

Στο δεύτερο στάδιο, ο αλγόριθμος προϋποθέτει ότι γίνεται κατά κανόνα υπερεκτίμηση της επιφάνειας του σμήνους, καθώς πάντα αφαιρεί δείγματα από το αρχικό ηχόγραμμα. Αυτό ισχύει πάντα για τα υπό μελέτη σμήνη με το συγκεκριμένο όργανο, καθώς η επιφάνεια υπερτιμάται λόγω της γεωμετρίας των ακουστικών κώνων. Επίσης, για να ισχύει το αντίστροφο, δηλαδή υποτίμηση της επιφάνειας, πρέπει το σμήνος να έχει μέγεθος μικρότερο του ενός δείγματος. Ο δειγματοληπτικός όγκος του SP90 για ρύθμιση βεληνεκούς 900 m και στη μισή απόσταση έχει εμβαδόν $\sim 144 \text{ m}^2$, που είναι αμελητέο σε σύγκριση με τα δεδομένα πεδίου και λόγω της κακής σχετικής ανάλυσης (ένα ακουστικό δείγμα για όλο το σμήνος) δεν έχει επιστημονικό ενδιαφέρον όσον αφορά την εσωτερική δομή του σμήνους. Συνοπτικά λοιπόν, υπάρχει -θεωρητικά- η πιθανότητα να συμβεί υποτίμηση της επιφάνειας αλλά για να συμβεί αυτό, το σμήνος πρέπει να έχει μέγεθος ενός ακουστικού δείγματος το οποίο θα απορριφθεί ούτως η άλλως πριν την ανάλυση εξαιτίας του μικρού μεγέθους ή μαζί με την αποκοπή θορύβου.



Εικόνα 4-1: Ίχνος σμήνους με υποτιμημένες μετρήσεις. Οι αδύναμες ανακλάσεις στο άνω επιλεγμένο χωρίο είναι περισσότερο πιθανό να αντιστοιχούν σε πραγματική μέτρηση (λόγω φυσιολογικής αραιώσης) από αυτές στο κάτω που γειτνιάζουν με ισχυρές μετρήσεις.

Στη τελευταία φάση της γεωμετρικής διόρθωσης, γίνεται η παραδοχή ότι οι περισσότερες αδύναμες ανακλάσεις περιέχουν όλο το επιφανειακό σφάλμα, καθώς αυτές έχουν προτεραιότητα στην αποκοπή. Η ιεράρχηση, βασίζεται στη λογική ότι η υποτίμηση συγκεντρώνεται εκεί που παραβιάζεται η αρχή της τυχαίας κατανομής και έτσι, είναι προφανές ότι οι περισσότερες αδύναμες ανακλάσεις θα συνεισφέρουν περισσότερο στο συνολικό σφάλμα. Σε αντίθετη περίπτωση όπου το σμήνος είναι γενικά αραιό, ο αλγόριθμος θα εντοπίσει πάλι τις περισσότερες αδύναμες ανακλάσεις.

Στη περίπτωση όπου υπάρχουν περισσότερες από μία επιλογές για την αποκοπή των δειγμάτων, ο αλγόριθμος αποκόπτει αυτά που γειτνιάζουν με ισχυρότερα δείγματα. (Εικόνα 4-1). Αυτό συμβαίνει γιατί η χαμηλή ενέργεια που είναι υποψήφια για αποκοπή είναι περισσότερο πιθανό

να αποτελεί υποτίμηση (δηλαδή ελλιπή πλήρωση του όγκου δειγματοληψίας) κοντά σε μία ισχυρή μέτρηση παρά σε μία περιοχή όπου το σμήνος φαίνεται να είναι γενικότερα αραιό. Αυτή η διαισθητικά προφανής παρατήρηση, υπονοεί ότι το σμήνος δεν αναμένεται να αλλάζει πολύ για μικρές χωρικές μεταβολές.

Κατά την εφαρμογή της παραλλαγής της μεθόδου για τα «προβληματικά δεδομένα», το επίπεδο διόρθωσης περιορίζεται με επίβλεψη του χρήστη. Η μέθοδος λειτουργεί αποτελεσματικά όταν τα δεδομένα είναι συμβατά με τη προσομοίωση. Όταν αυτό δεν ισχύει, η προσομοίωση δεν ικανοποιεί τα εντοπιζόμενα σμήνη και άρα τα αποτελέσματα που δίνουν τα νομογράμματα δεν είναι ακριβή και απαιτείται παρέμβαση. Φαίνεται πως τα ίδια τα δεδομένα περιέχουν κάποια πληροφορία σχετικά με την φύση των ακουστικών μετρήσεων καθώς χαρακτηρίζονται από δύο κύρια σύνολα μετρήσεων (ισχυρές και αδύναμες ανακλάσεις - Κεφάλαιο 3.2.2). Το πρότυπο αυτό χαρακτηρίζει, σε διαφορετικό βέβαια βαθμό, τη πλειοψηφία των δεδομένων. Η πληροφορία αυτή χρησιμοποιείται τελικά για τον περιορισμό του αναλυτικού αλγόριθμου διόρθωσης. Είναι προφανές ότι ο γενικός αλγόριθμος είναι και η προτιμώμενη μέθοδος διόρθωσης, καθώς είναι τεκμηριωμένος θεωρητικά και λειτουργεί αυτόματα σε όλα τα στάδια. Η παραλλαγή της μεθόδου έχει περισσότερο πειραματικό χαρακτήρα.

4.1.2 Αποτελεσματικότητα

Η αποτελεσματικότητα της μεθόδου πρέπει να εξεταστεί σε δύο επίπεδα. Το ένα σχετίζεται με τους συντελεστές διόρθωσης που προκύπτουν από τα νομογράμματα οι οποίοι πρέπει να εμφανίζουν παρόμοια συμπεριφορά με την εμπειρική γνώση σχετικά με το σύστημα. Το άλλο σχετίζεται με το ίδιο το αποτέλεσμα κατόπιν της εφαρμογής της μεθόδου σε πραγματικά δεδομένα. Το σύστημα δεν θα είχε άλλωστε αξία εάν παρουσίαζε φαινομενικά καλή συμπεριφορά αλλά στη πράξη αλλοίωνε κατά παράλογο τρόπο τα πραγματικά δείγματα.

Οι συναρτήσεις διόρθωσης

Τα τελικά νομογράμματα φαίνεται να συμφωνούν με την ποιοτική ανάλυση. Συγκεκριμένα, για σμήνος δεδομένης επιφάνειας, η υποτίμηση στο μέσο Sv αυξάνεται όσο αυτό απομακρύνεται από τον μεταλλάκτη, όταν δηλαδή κινείται προς περιοχές χαμηλότερης ανάλυσης (Εικόνα 3-2). Επίσης, για δεδομένη απόσταση, η υποτίμηση μειώνεται για μεγαλύτερη επιφάνεια σμήνους. Αυτό είναι αναμενόμενο, καθώς σε δεδομένη απόσταση η χωρική ανάλυση του οργάνου είναι σταθερή. Έτσι, όσο στόχος μεγαλώνει, η «σχετική ανάλυση» του SONAR βελτιώνεται και η μέτρηση είναι περισσότερο ακριβής.

Όμοια συμπεριφορά εμφανίζει και το σφάλμα στο εμβαδόν για τους ίδιους ακριβώς λόγους (Εικόνα 3-4). Εξαιρέση αποτελούν τα μικρότερα σμήνη, στα οποία για μεγάλες αποστάσεις το σφάλμα ελαττώνεται (δηλαδή γίνεται μικρότερη υποτίμηση). Το αποτέλεσμα είναι πάλι αναμενόμενο. Όταν ένα μικρό σμήνος πλησιάζει σε μεγάλες αποστάσεις, τα ακουστικά δείγματα αρχίζουν να γίνονται πολύ μεγάλα και η υποτίμηση του Sv ισχυρή. Τότε, λόγω της σταθερής ευαισθησίας του SONAR, μεγάλα ακουστικά δείγματα που σε μικρότερη απόσταση είχαν μετρηθεί, αποκόπτονται και έτσι το σμήνος «χάνει» επιφάνεια. Λόγω της χαμηλής ανάλυσης που προαναφέρθηκε, το φαινόμενο δεν οδηγεί ποτέ σε υποτίμηση του εμβαδού (έως ότου το σμήνος χαθεί), άλλα το σφάλμα είναι μικρότερο στις περιοχές αυτές.

Τέλος, αναφέρεται ο γωνιώδης χαρακτήρας ορισμένων ισοσταθμικών καμπυλών που παρατηρείται και στα δύο νομογράμματα. Αυτός οφείλεται σε συνδυασμό των

διαδρομών που ορίστηκαν για τα σμήνη και της μεθόδου παρεμβολής και δεν υπονοεί κάποιο συγκεκριμένο φαινόμενο που διέπει το σύστημα. Συγκεκριμένα, λόγω της δεδομένης διαδρομής που χρησιμοποιήθηκε κατά την προσομοίωση, σε συγκεκριμένα σημεία τα σμήνη περνούσαν σε διαφορετικούς κώνους προκαλώντας προσωρινή διατάραξη στη τελική συνάρτηση διόρθωσης. Η χρήση περισσότερων σμηνών τα οποία κινούνται σε τυχαίες και πυκνότερες διαδρομές θα εξομαλύνει το τελικό αποτέλεσμα και θα δώσει όρια εμπιστοσύνης για τους συντελεστές διόρθωσης.

Βαθμονόμηση πραγματικών δεδομένων

Για τον έλεγχο εγκυρότητας της μεθοδολογίας προτιμήθηκε η ανά σμήνος σύγκριση των αποτελεσμάτων και για όσα διαδοχικά ηχογράμματα είχαν σταθερές ρυθμίσεις. Στην Εικόνα 3-10 φάνηκε πώς η εφαρμογή της μεθόδου οδήγησε στη σταθεροποίηση των χαρακτηριστικών πυκνότητας και εμβადού του σμήνους. Τα δεδομένα βέβαια αυτά αντιστοιχούν σχεδόν σε δύο λεπτά δειγματοληψίας τα οποία είναι αρκετός χρόνος ώστε τα τοννοειδή να σημειώσουν μεγάλο μέγεθος μεταβολές (Trygonis, 2008). Η παρουσία όμως του προτύπου αυτού στη πλειοψηφία των επιλεγμένων δειγμάτων, το καθιστά τουλάχιστον ένδειξη προς τη πληρότητα της μεθόδου.

Όσον αφορά το σύνολο των δεδομένων, στην Εικόνα 3-9, διακρίνεται ότι μετά τη βαθμονόμηση, η μέση πυκνότητα των εντοπιζόμενων σμηνών κατανέμεται περισσότερο ομοιόμορφα και σε μεγαλύτερο εύρος. Αυτό υποδηλώνει μεγαλύτερη διακύμανση στη πυκνότητα των παρατηρούμενων σμηνών που είναι κάτι αναμενόμενο (Georgakarakos, 2008)

Πρέπει να σημειωθεί, ότι το μεγαλύτερο μέρος των δεδομένων που συνιστούν το ιστόγραμμα έχουν ενεργό το φίλτρο AGC (97 από τα 116 σμήνη των τελικών δεδομένων), που ρυθμίζει κατά άγνωστο τρόπο το Gain και έτσι εισάγει σφάλμα στο αποτέλεσμα που μπορεί να φτάνει τα 3dB. Για το λόγο αυτό, το ιστόγραμμα περιέχει αβεβαιότητα και έτσι δεν αποτελεί παρά μία ακόμη ένδειξη προς την αποτελεσματικότητα της μεθόδου.

Το παρατηρούμενο συνολικό εμβαδόν του σμήνους, συνδέεται με την πραγματική του πυκνότητα (Sv_0). Σε δεδομένη απόσταση, ένα πυκνότερο σμήνος θα δώσει ενεργειακές τιμές (υποτιμημένες αλλά πάνω από το threshold) σε πιο μακρινούς κώνους. Το φαινόμενο αυτό αυξάνει το εμβαδόν, το οποίο με τη σειρά του επιδρά αρνητικά στο μετρούμενο μέσο Sv καθώς εισάγονται δείγματα πολύ χαμηλής πυκνότητας. Έτσι, το παρατηρούμενο μέσο Sv και το παρατηρούμενο εμβαδόν είναι μερικώς εξαρτημένα μεγέθη και μάλιστα με κάποια αντίστροφη αναλογία. Ξεκινώντας από τη παρατήρηση αυτή, ο αλγόριθμος βαθμονόμησης προσφέρει πληροφορία σχετικά με το ιδανικό κατώφλι παρατήρησης. Συγκεκριμένα, η τιμή Sv του ισχυρότερου ακουστικού δείγματος που τελικά αποκόπηκε συμπίπτει με το βέλτιστο κατώφλι παρατήρησης για το συγκεκριμένο σμήνος. Το κατώφλι αυτό διορθώνει την επιφάνεια του σμήνους και σε μεγάλο βαθμό και το μέσο Sv (καθώς αφαιρούνται αδύναμες μετρήσεις). Η παρατήρηση αυτή πρέπει οπωσδήποτε να διερευνηθεί διεξοδικά στα αποτελέσματα της προσομοίωσης και τελικά να ποσοτικοποιηθεί καθώς έχει μεγάλο επιστημονικό ενδιαφέρον.

4.2 Η σημασία της προσομοίωσης

Η ποιότητα του αποτελέσματος της βαθμονόμησης εξαρτάται από την ποιότητα της προσομοίωσης. Αυτό σημαίνει ότι για την χρήση της μεθόδου σε επιστημονικές

εφαρμογές η προσομοίωση απαιτείται να είναι ακριβής και καλά μελετημένη. Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας, το σύστημα μελετήθηκε διεξοδικά και προσομοιώθηκε με την απαιτούμενη ακρίβεια. Εδώ, αναφέρονται τα σημεία στα οποία μπορούν να γίνουν μελλοντικές βελτιστοποιήσεις.

4.2.1 Εισαγόμενα σμήνη – Ορισμός διαδρομής

Τα εισαγόμενα σμήνη είναι ο ακρογωνιαίος λίθος της προσομοίωσης και σε αυτά μάλλον οφείλεται το μεγαλύτερο μέρος της αβεβαιότητας. Στην ιδανική περίπτωση, πρέπει τα προσομοιωμένα σμήνη να είναι όμοια με τα σμήνη που παρήγαγαν τα δεδομένα και στο σημείο αυτό είναι που πρέπει να δοθεί βάση. Το σχήμα, το μέγεθος, οι στοιχειώδεις πυκνότητες και η κατανομή τους στον χώρο αποτελούν ελάχιστη πληροφορία για την προσομοίωση. Τα δεδομένα αυτά βέβαια δεν είναι τετριμμένα, ιδίως μάλιστα για τα μεγάλα πελαγικά σμήνη καθώς δεν υπάρχουν αξιόπιστες σχετικές πληροφορίες.

Όσον αφορά τις θέσεις των προσομοιωμένων σμηνών κατά την προσομοίωση, αυτές πρέπει να πλησιάζουν τη πραγματική περίπτωση, δηλαδή τα σμήνη να βρίσκονται κοντά στους ακουστικούς άξονες. Η προσομοίωση σμηνών σε θέσεις μακριά από τους ακουστικούς άξονες (δηλαδή αρκετά πάνω ή κάτω από αυτούς) είναι μη ρεαλιστική, καθώς αντιπροσωπεύει χαμηλής ποιότητας δειγματοληψία (δηλαδή δεδομένα που δεν πρόκειται να χρησιμοποιηθούν κατά την πραγματική ανάλυση) και έτσι εισάγεται περιττός θόρυβος στη συνάρτηση διόρθωσης.

Συνοψίζοντας, είναι σημαντικό να χρησιμοποιούνται στην προσομοίωση σμήνη αρκετά όμοια με τα πραγματικά σμήνη που συναντήθηκαν κατά τη δειγματοληψία στο πεδίο. Περαιτέρω, οι θέσεις των σμηνών για τις οποίες θα γίνει η προσομοίωση του ηχοβολισμού είναι επίσης σημαντικό να συμφωνούν κατά το δυνατόν με τα προς διόρθωση δεδομένα, ώστε και το αποτέλεσμα να περιγράφει παρόμοιο σφάλμα με το πραγματικό.

4.2.2 Αλγόριθμος ηχοβολισμού

Ο αλγόριθμος ηχοβολισμού δεν συμφωνεί απόλυτα με ένα πραγματικό SONAR. Βασική διαφορά είναι η παρουσία θορύβου και τεχνικών ατελειών που συναντώνται στο δεύτερο καθώς επίσης και διαφοροποιήσεις στην ευαισθησία των κώνων.

Πέρα από τα τεχνικά στοιχεία του αλγόριθμου, είναι απαραίτητο το ενεργειακό κατώφλι που χρησιμοποιείται στη δειγματοληψία πεδίου να χρησιμοποιηθεί και στη προσομοίωση ή έστω να έχουν γίνει προσομοιώσεις για όλες τις αναμενόμενες ευαισθησίες. Έτσι το κατώφλι που θα χρησιμοποιηθεί στη προσομοίωση πρέπει να είναι ίδιο με αυτό της δειγματοληψίας και συγκεκριμένα να συμπίπτει αυτό που ελαχιστοποιεί τον θόρυβο χωρίς να «θυσιάζει» μεγάλο ποσοστό των δεδομένων.

4.3 Δεδομένα και πρωτόκολλο δειγματοληψίας

Η εργασία αυτή ασχολείται με τις μετρήσεις του SONAR σε διάφορα επίπεδα. Αυτό από μόνο του απαιτεί ένα σύντομο σχολιασμό σχετικά με τα δεδομένα πεδίου και τη καταλληλότητά τους για την συγκεκριμένη εργασία.

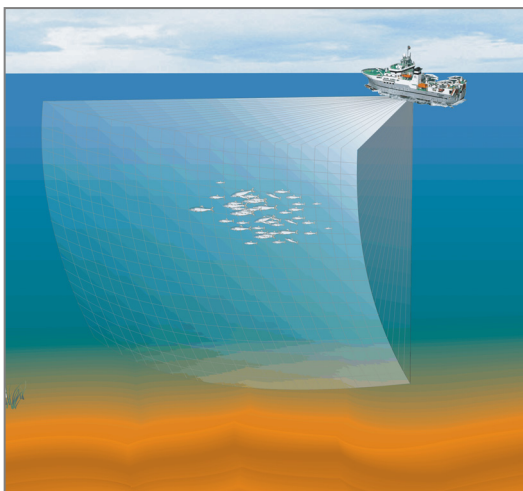
Ένα από τα κύρια προβλήματα των δεδομένων πεδίου, είναι ότι μέχρι στιγμής δεν υπάρχει εμπειρία σε επιστημονική χρήση των SONARS και ακόμη ότι για πρώτη φορά στο FADIO χρησιμοποιήθηκε η επιστημονική έξοδος στο SONAR SP90, χωρίς να υπάρχει ακόμη λογισμικό ανάλυσης και επεξεργασίας των δεδομένων.

Αυτός είναι και ο λόγος που οι πλόμες σχεδιάστηκαν και αρχικά για συλλογή δοκιμαστικά δεδομένων, που θα χρησιμοποιούνταν στην ανάπτυξη ενός πρωτότυπου υλικού και λογισμικού και όχι για την ποσοτική ανάλυση των ακουστικών δεδομένων. Αυτός είναι και ο λόγος που κατά τη διάρκεια του ηχοβολισμού αλλάζουν συνεχώς οι συνθήκες της δειγματοληψίας (ρυθμίσεις ενίσχυσης, γωνίας πρόσπτωσης, κα) στην προσπάθεια εντοπισμού νέων σμηνών ή των Fads στην περιοχή έρευνας.

4.4 Μετά τι

4.4.1 Από τις δύο στις τρεις διαστάσεις

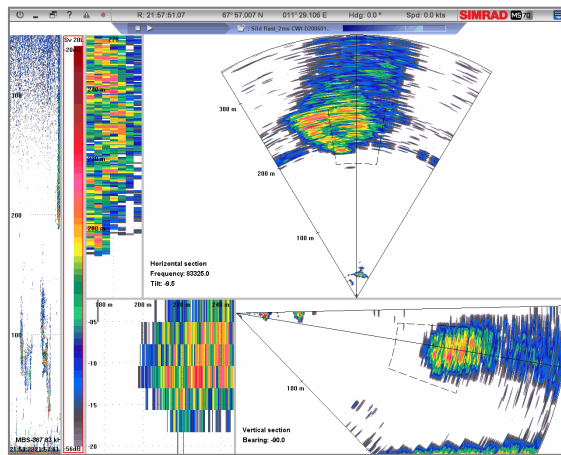
Με τις -κατά περίπτωση- απαραίτητες βελτιώσεις, η μέθοδος είναι αποτελεσματική για κάθε σχετική εφαρμογή, αυτό όμως δεν σημαίνει ότι είναι και πλήρης. Η πιο προφανής εξέλιξη, είναι η επέκταση της διόρθωσης στη τρίτη διάσταση. Προφανώς, η τρίτη διάσταση υπάρχει ήδη στο επίπεδο των ακουστικών κώνων, καθώς κάθε δείγμα έχει υπολογίσιμο όγκο. Όμως, η διόρθωση που εδώ υπονοείται, είναι η ανάκτηση (ή εκτίμηση) της πληροφορίας για το τι συμβαίνει πάνω και κάτω από το επίπεδο των κώνων. Αυτό μπορεί να γίνει είτε με την συνήθη οδό της προσομοίωσης, είτε με την εκμετάλλευση της εξελισσόμενης τεχνολογίας των 3D πολυκωνικών σύγχρονων SONAR.



Εικόνα 4-2: Ο όγκος δειγματοληψίας του SONAR SIMRAD MS70.

Για τη περίπτωση αυτή, υπάρχει και το αντίστοιχο εργαλείο που αποτελεί σήμερα ό,τι πιο σύγχρονο στην αλιευτική έρευνα. Πρόκειται για το SIMRAD MS70 (Andersen *et al.*, 2006), ένα ηχοβολιστικό που συνδυάζει πολλά διαφορετικά χαρακτηριστικά. Διαθέτει 500 κώνους, οι οποίοι είναι προσανατολισμένοι σε 20 συστοιχίες των 25 και συνιστούν έτσι τον χώρο δειγματοληψίας (Εικόνα 4-2). Οι κώνοι έχουν άνοιγμα 3° - 4° , ανάλογα με τη θέση τους και έτσι το ηχόγραμμα είναι υψηλής ανάλυσης. Τέλος, το όργανο διαθέτει μεγάλο εύρος συχνοτήτων στη περιοχή που είναι «δημοφιλής» για αλιευτικές έρευνες (75 - 112 kHz).

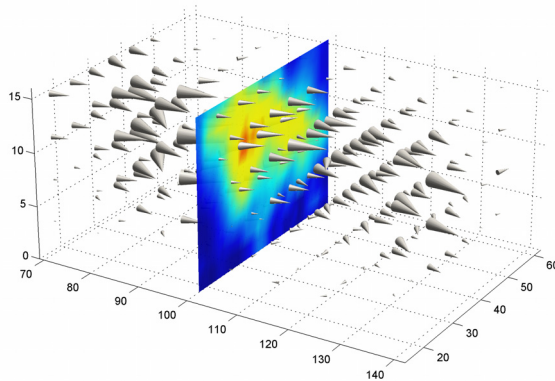
Με εκ νέου οργάνωση της προσομοίωσης (και ορισμένες μετατροπές στον simulator), η παρούσα μέθοδος μπορεί να μετατραπεί ώστε να λειτουργεί με όγκους αντί για εμβαδά και η βαθμονόμηση να εφαρμόζεται στα τρισδιάστατα ηχογράμματα του MS70 ή κάποιου παρόμοιου ηχοβολιστικού (Εικόνα 4-3). Η σημασία του εργαλείου και της βαθμονόμησης ξεπερνούν την «αισθητική» του αποτελέσματος. Η παρουσία κώνων σε περισσότερα από ένα επίπεδα δίνει τη δυνατότητα επιβεβαίωσης της πλήρους σάρωσης του σμήνους και άρα της σωστής δειγματοληψίας. Αυτό, πέρα από την ακριβέστερη εκτίμηση βιομάζας, αποδίδει πρωτοφανή δεδομένα ταυτόχρονων ακουστικών τομών, τα οποία έχουν τεράστιο ενδιαφέρον όσον αφορά τη μελέτη της εσωτερικής δομής - οργάνωσης των σμηγνών.



Εικόνα 4-3: Ηχογράμμα από το MS70. Προβάλλεται μία οριζόντια (πάνω) και μία κατακόρυφη (κάτω) τομή του σμήνους, ενώ τα πλήρη δεδομένα περιέχονται στα raw data.

4.4.2 Ανακατασκευή αρχιτεκτονικής σμήνους σε επίπεδο ατόμου

Εάν τα τρισδιάστατα δεδομένα πυκνότητας διορθωθούν με τον ένα ή τον άλλο τρόπο, μπορούν να συνδυαστούν με οπτικά, δειγματοληπτικά και θεωρητικά δεδομένα σχετικά με κατανομές μηκών, προσανατολισμού και άλλων χαρακτηριστικών. Έτσι, είναι δυνατή η ανακατασκευή της εσωτερικής οργάνωσης του εντοπιζόμενου σμήνους σε επίπεδο ατόμου.



Εικόνα 4-4: Γραφική αναπαράσταση ρεαλιστικού μοντέλου σμήνους.

τη κατασκευή των ρεαλιστικών μοντέλων.

Σκοπός του σταδίου αυτού, είναι ο έλεγχος ρεαλιστικών μοντέλων σμηγνών που έχουν αναπτυχθεί ανεξάρτητα (Εικόνα 4-4). Η σύγκλιση μεταξύ των θεωρητικών μοντέλων και των πραγματικών μετρήσεων, είναι ένδειξη κατανόησης των μηχανισμών του συστήματος, με ηθολογικές προεκτάσεις σε βιολογικό επίπεδο. Συγκεκριμένα, η σύγκλιση θα επιβεβαιώσει τις επιλογές των κατανομών για τα χαρακτηριστικά και τους κανόνες συμπεριφοράς που χρησιμοποιήθηκαν για τα άτομα κατά

5 Βιβλιογραφία

- ANDERSEN, L.N., BERG, S., GAMMELSTER, O.B. & LUNDE, E.B., 2006. New scientific multibeam systems (ME70 and MS70) for fishery research applications. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 120(5): 3017-3017.
- BREHMER, P., GEORGAKARAKOS, S., JOSSE, E., TRYGONIS, V. & DALEN, J., 2007. Adaptation of fisheries sonar for monitoring schools of large pelagic fish: dependence of schooling behaviour on fish finding efficiency. *Aquatic Living Resources*, 20(4): 377-384.
- BREHMER, P., LAFONT, T. & GERLOTTO, F., 1999. Infobancs Software User's Manual. Technical document, FA010018991/2. 29 pp.
- COETZEE, J., 2000. Use of a shoal analysis and patch estimation system (SHAPES) to characterise sardine schools. *Aquatic Living Resources*, 13(1): 1-10.
- DAGORN, L., HOLLAND, K., PUENTE, E., TAQUET, M., RAMOS, A., BRAULT, P., NOTTESTAD, L., GEORGAKARAKOS, S., DENEUBOURG, J.-L., AUMEERUDDY, R., JOSSE, E. & DALEN, J., 2006. FADIO (Fish Aggregating Devices as Instrumented Observatories of Pelagic Ecosystems): A European Union funded project on development of new observational instruments and the behavior of fish around drifting FADs. Eighth session of the IOTC Working Party on Tropical Tunas, document IOTC-2006-WPTT-16.
- DEMPSTER, T. & TAQUET, M., 2004. Fish aggregation device (FAD) research: gaps in current knowledge and future directions for ecological studies. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, V14(1): 21-42.
- DINER, N., 2001. Correction on school geometry and density: approach based on acoustic image simulation. *Aquatic Living Resources*, 14(4): 211-222.
- FOOTE, K.G., 1983. Linearity of fisheries acoustics, with addition theorems. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 73(6): 1932-1940.
- FOOTE, K.G., CHU, D., HAMMAR, T.R., BALDWIN, K.C., MAYER, L.A., HUFNAGLE, J.L.C. & JECH, J.M., 2005. Protocols for calibrating multibeam sonar. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 117(4): 2013-2027.
- FOOTE, K.G., KNUDSEN, H.P., KORNELIUSSEN, R.J., NORDBØ, P.E. & RØANG, K., 1991. Postprocessing system for echo sounder data. *Journal of Acoustic Society of America*, 90(1): 37-47.
- FRÉON, P. & DAGORN, L., 2000. Review of fish associative behaviour: Toward a generalisation of the meeting point hypothesis. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 10(2): 183-207.
- FRÉON, P., GERLOTTO, F. & SORIA, M., 1992. Changes in school structure according to external stimuli: description and influence on acoustic assessment. *Fisheries Research*, 15(1-2): 45-66.
- GEORGAKARAKOS, S., 2005. Investigation of the beam effect on fish school parameters: a simulation approach. International Conference "Underwater Acoustic Measurements: Technologies & Results", Heraklion, Crete, Greece
- GEORGAKARAKOS, S. & PATERAKIS, G., 1993. "School": A software for fish school identification. *ICES CM*, 1993/B:8.
- GERLOTTO, F., CASTILLO, J., SAAVEDRA, A., BARBIERI, M.A., ESPEJO, M. & COTEL, P., 2004. Three-dimensional structure and avoidance behaviour of anchovy and common sardine schools in central southern Chile. *ICES Journal of Marine Science*, 61(7): 1120-1126.
- GERLOTTO, F., GEORGAKARAKOS, S. & ERIKSEN, P.K., 2000. The application of multibeam sonar technology for quantitative estimates of fish density in shallow water acoustic surveys. *Aquatic Living Resources*, 13(5): 385-393.
-

-
- HAMITOUCHE-DJABOU, C., TOGNI, S., LECORNU, L. & DERRODE, S., 1999. SBIVIEWER: 3D fish schools and sea bottom analysis and visualisation software. User's guide, AVITIS Contract FAIR CT 96-1717, Development release 3-10 June, 1999 Dpt ITI, ENST-Bretagne, Brest, France.
- HARALABOUS, J. & GEORGAKARAKOS, S., 1996. Artificial Neural Networks as a tool for species identification of fish schools. *ICES Journal of Marine Science*(53): 173-180.
- KAKUMA, S., 2000. Synthesis on moored FADs in the North West Pacific region. In: J.Y. Le Gall, P. Cayre & M. Taquet (Editors), *Peche Thoniere et Dispositifs de Concentration de Poisons*. IFREMER, Actes Colloq., pp. 63-77.
- LURTON, X., 2002. *An Introduction to Underwater Acoustics: Principles and Applications*. Springer Praxis, Chichester, UK, 347 pp.
- MACLENNAN, D.N., 1986. Time varied gain functions for pulsed sonars. *Journal of Sound and Vibration*, 110(3): 511-522.
- MACLENNAN, D.N., 1990. Acoustical measurement of fish abundance. *Journal of Acoustic Society of America*, 87: 1-15.
- MACLENNAN, D.N. & SIMMONDS, E.J., 1992. *Fisheries Acoustics*, Chapman and Hall, New York, 325 pp.
- MORENO, G., JOSSE, E., BREHMER, P. & NOTTESTAD, L., 2007. Echotrace classification and spatial distribution of pelagic fish aggregations around drifting fish aggregating devices (DFAD). *Aquatic Living Resources*, 20(4): 343-356.
- ONA, E., 1987. The equivalent beam angle and its effective value when applying an integrator threshold. *ICES CM*, 1987/B:35. 13pp.
- REYNISSON, P., 1996. Evaluation of threshold-induced bias in the integration of single-fish echoes. *ICES Journal of Marine Science*, 53(2): 345-350.
- SHOTTON, R. & BAZIGOS, G.P., 1984. Techniques and considerations in the design of acoustic surveys. *Rapports et Procès-Verbaux des Réunions Conseil International pour l'Exploration de la Mer*, 184: 34-57.
- SIMMONDS, E.J., 1984. A comparison between measured and theoretical equivalent beam angles for seven similar transducers. *Journal of Sound and Vibration*, 97(1): 117-128.
- SIMRAD, 2002. Simrad SP90. Low frequency long range sonar. Operators manual, doc: 850--164511 / B. p.170.
- SORIA, M., BAHRI, T. & GERLOTTO, F., 2003. Effect of external factors (environment and survey vessel) on fish school characteristics observed by echosounder and multibeam sonar in the Mediterranean Sea. *Aquatic Living Resources*, 16(3): 145-157.
- TAQUET, M., SANCHO, G., DAGORN, L., GAERTNER, J.S., ITANO, D., AUMEERUDDY, R., WENDLING, B. & PEIGNON, C., 2007. Characterizing fish communities associated with drifting fish aggregating devices (FADs) in the Western Indian Ocean using underwater visual surveys. *Aquatic Living Resources*, 20(4): 331-341.
- TRYGONIS, V., 2008. Ανάπτυξη συστήματος παρακολούθησης σμηνών τοννοειδών με χρήση πολυκωνικών ηχοβολιστικών. Διδακτορική Διατριβή: (draft).
- TRYGONIS, V. & GEORGAKARAKOS, S., 2007a. Development of a system for monitoring and quantitative estimation of pelagic schools based on multibeam sonars. 13th National Ichthyologists Conference, Mytilini, Lesbos
- TRYGONIS, V. & GEORGAKARAKOS, S., 2007b. Investigation of school speed measurement errors by simulation. Report of the ICES Working Group on Fisheries Acoustics, Science and Technology (WGFAST), ICES CM 2007/FTC:09. 23-27 April, Dublin, Ireland. 48 pp.
- TRYGONIS, V., GEORGAKARAKOS, S. & E.J. SIMMONDS, 2008. School identification on multibeam sonar echoes (υπεβλήθη προς δημοσίευση)
-

-
- URICK, R.J., 1983. Principles of underwater sound for engineers. McGraw-Hill, New York, 384 pp.
- WEILL, A., SCALABRIN, C. & DINER, N., 1993. MOVIES-B: an acoustic detection description software. Application to shoal species' classification. Aquatic Living Resources, 6(3): 255-267.
-