



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ - ΤΜΗΜΑ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ
Archimedes Center for Modeling, Analysis & Computation
UNIVERSITY OF CRETE - DEPARTMENT OF APPLIED MATHEMATICS
Archimedes Center for Modeling, Analysis & Computation



ACMAC's PrePrint Repository

Design of an Ocean Acoustic Observatory

Michael Taroudakis

Original Citation:

Taroudakis, Michael

(2012)

Design of an Ocean Acoustic Observatory.

Proceedings of the Conference "Acoustics 2012", HELINA.

This version is available at: <http://preprints.acmac.uoc.gr/189/>

Available in ACMAC's PrePrint Repository: March 2013

ACMAC's PrePrint Repository aim is to enable open access to the scholarly output of ACMAC.

Σχεδιασμός Θαλάσσιου Ακουστικού Παρατηρητηρίου

Μιχάλης Ταρουδάκης
Καθηγητής
Τμήμα Μαθηματικών,
Πανεπιστήμιο Κρήτης
και
Ινστιτούτο Υπολογιστικών
Μαθηματικών I.T.E
taroud@math.uoc.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία περιγράφονται συνοπτικά τα τεχνολογικά δεδομένα που αφορούν ένα θαλάσσιο ακουστικό παρατηρητήριο. Τα τεχνολογικά δεδομένα συνδέονται με την θεωρία των αντίστροφων ακουστικών προβλημάτων τα οποία αναφέρονται επιγραμματικά. Σε ό,τι αφορά στον τύπο των παρατηρητηρίων, η περιγραφή περιορίζεται σε αυτά που σχετίζονται με την θαλάσσια ακουστική τομογραφία, ενώ γίνονται και αναφορές σε παρατηρητήρια που μελετούν και αξιοποιούν τον θόρυβο του θαλάσσιου περιβάλλοντος.

Design of an Ocean Acoustic Observatory

ABSTRACT

The paper deals with the design of an ocean acoustic observatory. The technological facts are linked to the theory of inverse problems in underwater acoustics which are briefly mentioned. The description of acoustical observatories is limited to cases related to ocean acoustic tomography and to ambient noise monitoring.

Εισαγωγή

Ο ήχος χρησιμοποιείται ευρύτατα στα θαλάσσια παρατηρητήρια αφ' ενός μεν ως φορέας μετάδοσης δεδομένων (όπως ακριβώς τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα μεταδίδουν τα δεδομένα στον αέρα) αλλά και ως μέσον ανάκτησης πληροφοριών για τα περιβαλλοντικά δεδομένα μιας θαλάσσιας περιοχής υπό επιτήρηση. Ο λόγος που ο ήχος χρησιμοποιείται τόσο πολύ στην θάλασσα, έχει να κάνει με το γεγονός ότι σε αντίθεση με τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα, στο νερό έχει την δυνατότητα μετάδοσης σε πολύ μεγάλες αποστάσεις χωρίς σημαντική εξασθένηση. Από την άλλη μεριά βέβαια υφίσταται αλλοιώσεις λόγω του χαρακτήρα της ακουστικής διάδοσης στο νερό, γεγονός που επιβάλλει την συστηματική μελέτη των συνθηκών

διάδοσης και της υφής του ηχητικού πεδίου στη θάλασσα. Ωστόσο η δομή των αλλοιώσεων που υφίσταται το ακουστικό σήμα αποτελεί και την πηγή της πληροφορίας για το μέσον στο οποίο διαδόθηκε και συνεπώς την βασική αιτία για την χρήση του ήχου ως μέσου ανάκτησης περιβαλλοντικών δεδομένων.

1. Αντίστροφα Προβλήματα διάδοσης του ήχου.

Τα αντίστροφα προβλήματα στην υποβρύχια ακουστική έχουν πρόσφατα αποσπάσει την προσοχή των επιστημόνων που εργάζονται στην υποβρύχια τεχνολογία, λόγω της σχετικά υψηλής αποδοτικότητας των ακουστικών κυμάτων ως φορείς πληροφοριών σχετικά με τις περιβαλλοντικές και λειτουργικές παραμέτρους στο θαλάσσιο περιβάλλον συμπεριλαμβανομένων των ακουστικών χαρακτηριστικών της ακουστικής πηγής απ' όπου προέρχονται αλλά και της δομής των αντικειμένων που βρίσκονται στο νερό ή είναι θαμμένα στον βυθό. Επίσης μπορούν να δώσουν πληροφορίες για τον γεωλογικό χαρακτηρισμό των θαλάσσιων ιζημάτων. Η ανάκτηση των παραμέτρων αυτών με χρήση μετρήσεων του ακουστικού πεδίου είναι ο κύριος στόχος των αντίστροφων προβλημάτων στην υποβρύχια ακουστική. Κατά συνέπεια, τα αντίστροφα προβλήματα βρίσκονται στον πυρήνα των ακουστικών μεθόδων που εφαρμόζονται για τον έλεγχο του θαλάσσιου περιβάλλοντος και διατυπώνονται ανάλογα με την συγκεκριμένη τεχνολογία που υιοθετείται στην θαλάσσια παρατήρηση.

Σύμφωνα με την ταξινόμηση που προτείνεται από τους Collins και Kuperman [1], τα αντίστροφα προβλήματα στην υποβρύχια ακουστική εμπίπτουν σε δύο κύριες κατηγορίες:

- Τηλεπισκόπηση του θαλάσσιου περιβάλλοντος και
- Εντοπισμός.

Στην πρώτη κατηγορία εμπίπτουν τα προβλήματα για την εκτίμηση της δομής της υδάτινης στήλης (ακουστική τομογραφία) αλλά και των βασικών παραμέτρων του πυθμένα της θάλασσας, ενώ στην δεύτερη κατηγορία εντάσσονται προβλήματα αναγνώρισης και εντοπισμού της θέσης μιας ακουστικής πηγής. Και οι δύο κατηγορίες προβλημάτων συναντώνται στις εφαρμογές των ακουστικών παρατηρητηρίων.

Εννοιολογικά, η διατύπωση των αντίστροφων προβλημάτων είναι απλή [2]. Σχεδόν, όλα τα αντίστροφα προβλήματα που αντιμετωπίζουμε στην υποβρύχια ακουστική είναι διακριτά (η διακριτοποιούνται κατάλληλα) με την έννοια ότι επιζητείται η ανάκτηση ενός διανύσματος στοιχείων που αντιπροσωπεύουν τιμές παραμέτρων στο θαλάσσιο περιβάλλον.

$$\mathbf{m} = [m_1, m_2, \dots, m_n]^T, \quad (1.1)$$

από ένα σύνολο παρατηρήσεων που και αυτές ποσοτικοποιούνται μέσω ενός διανύσματος δεδομένων :

$$\mathbf{d} = [d_1, d_2, \dots, d_N]^T. \quad (1.2)$$

Το διάνυσμα \mathbf{m} ανακτάται κάνοντας χρήση μιας μη γραμμικής εν γένει διανυσματικής εξίσωσης της μορφής

$$\mathbf{f}(\mathbf{m}, \mathbf{d}) = 0 \quad (1.3)$$

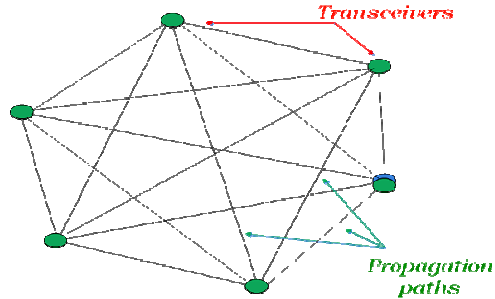
Η εξίσωση καθορίζεται με την κατάλληλη διατύπωση ενός προβλήματος κυματικής διάδοσης, ενώ η διανυσματική συνάρτηση \mathbf{f} είναι εν γένει περίπλοκη και μη υποκείμενη σε γραμμικοποίηση. Κατά συνέπεια, το πρόβλημα είναι μη γραμμικό και πολύ δύσκολο να λυθεί. Επί πλέον δε είναι μη καλώς τεθειμένο (ill-posed) με την έννοια της αδυναμίας απόδειξης ύπαρξης μοναδικής λύσης. Ωστόσο υπάρχει η δυνατότητα εφαρμογής αλγορίθμων βελτιστοποίησης που οδηγούν στην πλέον πιθανή λύση του προβλήματος. Δεν θα επεκταθούμε περισσότερο στις λεπτομέρειες των προβλημάτων και των λύσεων τους για τα οποία υπάρχει εκτεταμένη βιβλιογραφία. Αρκεί να αναφέρουμε ότι σε ένα ακουστικό παρατηρητήριο αυτό που έχει σημασία είναι να συλλεγούν τα δεδομένα με τον πλέον πρόσφορο τρόπο, ώστε το αντίστροφο πρόβλημα που διατυπώνεται από την εξίσωση (1.3) να μπορεί να λυθεί αξιόπιστα. Στη συνέχεια θα αναφερθούμε στην έννοια της θαλάσσιας ακουστικής τομογραφίας που καθορίζει εν πολλοίς την δομή και την λειτουργία μιας μεγάλης κατηγορίας θαλάσσιων παρατηρητηρίων που βασίζονται στην ενεργητική χρήση του ήχου.

2. Θαλάσσια ακουστική τομογραφία.

Η θαλάσσια τομογραφία εισήχθη από τον Munk και Wunsch το 1979 [3] μετά από την πιστοποίηση κατά την δεκαετία του '70 ότι περίπου 99% της κινητικής ενέργειας της θαλάσσιας κυκλοφορίας συνδέονται με ωκεανογραφικά χαρακτηριστικά μεσαίας κλίμακας, τα οποία είναι φαινόμενα που περιλαμβάνονται και μελετώνται σε μήκη μέχρι 100 χιλιομέτρων περίπου. Η παρακολούθηση των αλλαγών μεσαίας αλλά και μεγαλύτερης κλίμακας μπορεί συνεπώς να οδηγήσει σε χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με την θαλάσσια δυναμική της γήινης σφαίρας και στην μελέτη των κλιματικών αλλαγών Έτσι γεννήθηκε η θαλάσσια ακουστική τομογραφία που είναι στην πραγματικότητα μια μεταφορά στην θάλασσα των διαγνωστικών τεχνικών της ιατρικής τομογραφίας.

Για να υλοποιηθεί η διάγνωση μέσω τομογραφίας θα πρέπει να καθορισθούν φέτες (τομές) στο περιβάλλον διάδοσης, εν προκειμένω στην θάλασσα, σε κάθε μία από τις οποίες διατυπώνεται και επιλύεται ένα αντίστροφο πρόβλημα κυματικής διάδοσης. Η σύζευξη των λύσεων που δίδονται σε κάθε τομή, μας δίνει την «εικόνα» μιας συγκεκριμένης περιοχής σε ό,τι αφορά στα προς ανάκτηση χαρακτηριστικά της.

Στην περίπτωση της θαλάσσιας ακουστικής τομογραφίας, οι κύριες πληροφορίες που ενδιαφέρουν τους επιστήμονες που ασχολούνται με την ακουστική ωκεανογραφία είναι η θερμοκρασία του νερού και η ταχύτητα των ρευμάτων. Άλλες παράμετροι του νερού, μετρώνται με τυπικές ωκεανογραφικές τεχνικές. Ωστόσο η θερμοκρασία και η ταχύτητα των ρευμάτων είναι τα κύρια δεδομένα σε μοντέλα κυκλοφορίας που καθορίζουν την δυναμική μιας θαλάσσιας έκτασης.



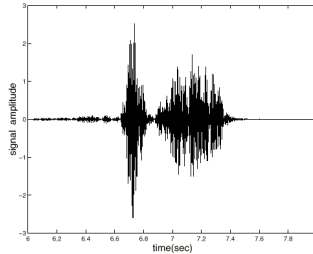
Σχήμα 2.1. Σχηματική διάταξη θαλάσσιας ακουστικής τομογραφίας

Στο Σχήμα 2.1 περιγράφεται μια διάταξη θαλάσσιας ακουστικής τομογραφίας σε οριζόντια όψη. Τα πράσινα οβάλ σημεία αντιπροσωπεύουν τις θέσεις των στοιχείων εκπομπής/λήψης των ακουστικών σημάτων (transceivers) που μπορεί να είναι πομποί, δέκτες ή συνδυασμός τους, μεμονωμένοι ή σε κατακόρυφη συστοιχία (array). Τα σημεία ανά δύο καθορίζουν και τις κατακόρυφες τομές, στις οποίες ορίζεται ένα διδιάστατο πρόβλημα ακουστικής διάδοσης (ευθύ και αντίστροφο).

Οι ηχητικοί παλμοί που εκπέμπονται είναι χαμηλής έντασης ώστε να μην δημιουργούν προβλήματα στους θαλάσσιους έμβιους πληθυσμούς (κητώδη), ευρυζώνιοι (broadband) και σχετικά χαμηλής συχνότητας. Η ιδιότητα του θαλάσσιου κυματοδηγού να διασπείρει την ακουστική ενέργεια που παράγεται, ώστε αυτή να παρουσιάζει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά στην λήψη (πρβλ. Σχήμα 2.2 όπου εμφανίζεται ένα τυπικό σήμα ακουστικής τομογραφίας όπως λαμβάνεται στον δέκτη) επιτρέπει την επιλογή πολλών διαφορετικών χαρακτηριστικών ως μετρήσιμα μεγέθη \mathbf{d} (εξίσωση 1.3) για τα προβλήματα αντιστροφής. Συμπερασματικά, η θαλάσσια ακουστική τομογραφία εκμεταλλεύεται το γεγονός ότι οι μετρήσιμες ιδιότητες του ακουστικού πεδίου συσχετίζονται με τις προς ανάκτηση παραμέτρους του θαλάσσιου περιβάλλοντος. Περισσότερες λεπτομέρειες για την επεξεργασία του σήματος και τις τεχνικές αντιστροφής ξεφεύγουν από τον σκοπό του παρόντος, αλλά μπορούν να ανακτηθούν από την βιβλιογραφία (π.χ. [4-8]).

Ένα σύστημα παρατήρησης που σχετίζεται με τις εφαρμογές θαλάσσιας ακουστικής τομογραφίας περιλαμβάνει αγκυρώσεις (moorings) στις οποίες προσδένονται οι πομποί και οι δέκτες καθώς και πρόσθετες ωκεανογραφικές συσκευές. Στην βέλτιστη περίπτωση ένα θαλάσσιο παρατηρητήριο ακουστικής τομογραφίας, περιλαμβάνει συστοιχίες πομποδεκτών όπως στο Σχήμα 2.3. Ωστόσο είναι δυνατόν να δημιουργηθούν θαλάσσια παρατηρητήρια ακουστικής τομογραφίας στα οποία, κάθε αγκύρωση περιλαμβάνει μία μόνο πηγή και ένα δέκτη. Σε ό,τι αφορά στην μετάδοση των καταγραφών σε σταθμούς της ξηράς, υπάρχουν βασικά δύο δυνατότητες :

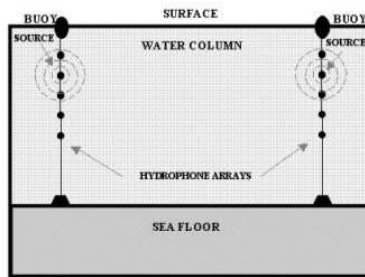
- Καλωδιακή ζεύξη με τον σταθμό της ξηράς.
- Ραδιοζεύξη με μετάδοση των καταγραφών από κεραία που τοποθετείται στον πλωτήρα της αγκύρωσης.



Σχήμα 2.2. Τυπική λήψη σήματος ακουστικής τομογραφίας

Πίνακας 2.1. Χαρακτηριστικά σήματος που χρησιμοποιούνται στην ακουστική τομογραφία.

Ένα υδρόφωνο	Χρόνος άφιξης ηχητικών ακτίνων [3,7].
	Χρόνος άφιξης ιδιομορφών [6].
	Στατιστικά χαρακτηριστικά σήματος (μετασχηματισμός κυματιδίων) [8].
	Καμπύλες διασποράς ιδιομορφών (μετασχηματισμός Fourier ή wavelet).
Συστοιχία υδρόφωνων	Φάση ιδιομορφών [4,5].
	Ακουστικό πεδίο στο πεδίο συχνοτήτων (μετασχηματισμός Fourier) [2].



Σχήμα 2.3. Ένα βέλτιστο παρατηρητήριο ακουστικής τομογραφίας (ένα ζεύγος αγκυρώσεων)

3. Γενικά περί παθητικής ακρόασης

Η παθητική ακουστική παρακολούθηση του θαλάσσιου περιβάλλοντος μπορεί να δώσει επίσης σημαντικές πληροφορίες για ο θαλάσσιο περιβάλλον με κατάλληλη αξιοποίηση (μετά από επεξεργασία) του μετρούμενου ηχητικού πεδίου. Με την έννοια αυτή, τα τελευταία χρόνια, ο θόρυβος του θαλάσσιου περιβάλλοντος δεν θεωρείται αποκλειστικά ανεπιθύμητος, αλλά αξιοποιείται θετικά προς την

κατεύθυνση που αναφέραμε. Ο θόρυβος του θαλάσσιου περιβάλλοντος μπορεί να θεωρηθεί ως φυσικός ή ως ανθρωπογενής, ανάλογα με τις αιτίες παραγωγής του.

Ως φυσικές αιτίες παραγωγής θορύβου στο θαλάσσιο περιβάλλον μπορούμε να θεωρήσουμε:

- τον κυματισμό
- την βροχή
- τους σεισμούς
- τους βιολογικούς θορύβους (από θαλάσσια θηλαστικά)
- το σπάσιμο των πάγων (στις αρκτικές περιοχές).

Ως ανθρωπογενείς αιτίες μπορούμε να θεωρήσουμε:

- την ναυσιπλοΐα,
- την δραστηριότητα σε θαλάσσιες εγκαταστάσεις.

Για να υλοποιηθεί με τον βέλτιστο τρόπο η παθητική ακουστική παρακολούθηση απαιτείται η ύπαρξη συστοιχίας υδροφώνων σε μία αγκύρωση (πλατφόρμα). Τα σήματα που καταγράφονται θα πρέπει να στέλλονται σε σταθμούς της ξηράς είτε μέσω καλωδίου είτε μέσω ραδιοζεύξης, όπως ακριβώς και στα συστήματα ακουστικής τομογραφίας που αναφέρθηκαν στο προηγούμενο εδάφιο. Εκείνο που διαφέρει σημαντικά είναι η επεξεργασία των σημάτων καθώς στην περίπτωση της παθητικής ακρόασης, το ακουστικό πεδίο πρέπει να καταγράφεται συνεχώς και να αναλύεται ως προς τα συστατικά του χωρίς να είναι γνωστά τα δεδομένα κάποιας πηγής. Η ανάκτηση των περιβαλλοντικών δεδομένων βασίζεται συνήθως στην συσχέτιση των καταγραφών από τα διαφορετικά υδρόφωνα της συστοιχίας των υδροφώνων, καθώς είναι γνωστό σε μοντέλα ακουστικής διάδοσης ότι οι παράμετροι του περιβάλλοντος διάδοσης καθορίζουν την κατακόρυφη αλλά και την οριζόντια δομή του ηχητικού πεδίου. Έτσι είναι δυνατόν να αξιοποιηθεί η ανακτώμενη κατευθυντότητα του θορύβου του θαλάσσιου περιβάλλοντος για την ανάκτηση κρίσιμων παραμέτρων της θάλασσας και του πυθμένα.

Τέλος θα πρέπει να σημειωθεί η ιδιαίτερη σημασία της παθητικής ακρόασης στην μελέτη της συμπεριφοράς των θαλάσσιων θηλαστικών. Με κατάλληλες μεθόδους είναι δυνατή η ταυτοποίηση των θηλαστικών και η παρακολούθηση των κινήσεών τους που μπορεί να βοηθήσει αποτελεσματικά στην κατανόηση μεταξύ των άλλων και στην επίδραση του ανθρωπογενούς ήχου στην συμπεριφορά τους.

4. Τεχνολογικά δεδομένα

Συμπληρώνουμε την παρουσίαση με ορισμένα ζητήματα που αφορούν στις απαιτήσεις των ακουστικών θαλάσσιων παρατηρητηρίων από πλευράς τεχνολογικής υποστήριξης :

4.1 Βασικές μονάδες

Οι βασικές μονάδες ενός θαλάσσιου ακουστικού παρατηρητηρίου αποτελούνται εννοιολογικά από τα εξής μέρη :

- Εκπομπή, Λήψη και καταγραφή του σήματος
- Μετάδοση του σήματος στο σταθμό επεξεργασίας
- Επεξεργασία του ακουστικού σήματος

- Απεικόνιση της πληροφορίας και σύνδεση με μονάδα λήψης αποφάσεων

4.2 Λήψη και καταγραφή του σήματος

Στην περίπτωση ενεργητικών παρατηρητήριων, η εκπομπή του σήματος γίνεται από πηγή χαμηλής σχετικά ισχύος και χαμηλής συχνότητας. Στα συνήθη τομογραφικά παρατηρητήρια οι ακουστικές πηγές εκπέμπουν σε συχνότητες μικρότερες από 1 KHz. Τα σήματα έχουν χαρακτηριστική διαμόρφωση (π.χ. τύπου chirp) ενώ το μέγεθος (και το κόστος) της πηγής είναι αντίστροφα ανάλογο με τη συχνότητα, με τις χαμηλότερες συχνότητες να απαιτούν μεγαλύτερες πηγές.

Η λήψη γίνεται σε υδρόφωνα κατάλληλης φασματικής απόκρισης, ώστε να εξασφαλίζεται ικανοποιητική λήψη στις χρήσιμες συχνότητες. Όταν τα υδρόφωνα αφορούν τομογραφικές εφαρμογές, δεν απαιτείται ευρύ φάσμα απόκρισης, αφού τα επιθυμητά σήματα έχουν χαμηλές συχνότητες. Όταν όμως τα υδρόφωνα αφορούν καταγραφές του θορύβου του θαλάσσιου περιβάλλοντος η φασματική τους απόκριση πρέπει να είναι σχετικά ευρεία ώστε να εξασφαλίζεται η λήψη σημάτων από όλες τις επιθυμητές συχνότητες, που στην περίπτωση των θαλάσσιων θηλαστικών μπορούν να φτάσουν και την υπερακουστική ζώνη (> 20 KHz). Σε κάθε περίπτωση απαιτείται συστηματική μελέτη της εφαρμογής πριν από την επιλογή των καταλλήλων υδροφώνων.

Η καταγραφή του σήματος γίνεται σε μονάδες αποθήκευσης όταν δεν απαιτείται η μετάδοση σε πραγματικό χρόνο.

4.3 Μετάδοση του σήματος στον σταθμό επεξεργασίας

Στα παρατηρητήρια που λειτουργούν ως σταθμοί παρακολούθησης των μεταβολών σε πραγματικό χρόνο, είναι απαραίτητη η μετάδοση του καταγραφόμενου σήματος σε σταθμό επεξεργασίας που βρίσκεται συνήθως στην ξηρά, μπορεί όμως να βρίσκεται και σε ένα πλωτό μέσο, όταν το παρατηρητήρια χαρακτηρίζεται ως κινητό (mobile). Η μετάδοση γίνεται με καλώδιο (cabled observatories), η τηλεμετρικά με ραδιοζεύξη (autonomous observatories). Το πλεονέκτημα της καλωδιακής ζεύξης είναι η ενεργειακή επάρκεια του σταθμού από μονάδες της ξηράς. Στα αυτόνομα παρατηρητήρια, η ενέργεια πρέπει να εξασφαλίζεται από μονάδες που βρίσκονται στις αγκυρώσεις. Στα αυτόνομα παρατηρητήρια υπάρχει επί πλέον ο κίνδυνος της καταστροφής της μονάδας κεραίας που αναγκαστικά βρίσκεται στον πλωτήρα στην επιφάνεια της θάλασσας. Σε κάθε περίπτωση, μελετάται η κωδικοποίηση και κατάλληλη συμπίεση των προς μετάδοση δεδομένων, ώστε η μετάδοση να είναι η πλέον αποδοτική.

4.4 Επεξεργασία σήματος

Το σήμα που λαμβάνεται στον σταθμό υποστήριξης αφού αποκωδικοποιηθεί, υφίσταται την κατάλληλη επεξεργασία, ώστε να ανακτηθούν οι παράμετροι παρατήρησης (observables **d**) που στη συνέχεια θα τροφοδοτήσουν τα μοντέλα αντιστροφής όπως αυτά έχουν περιγραφεί με αδρούς τρόπους στην αρχή της παρουσίασης, ώστε να προκύψουν οι προς ανάκτηση παράμετροι **m**. Τόσο η

επεξεργασία του σήματος όσο και τα μοντέλα αντιστροφής, προσαρμόζονται στις πραγματικές εφαρμογές που έχουν σχεδιασθεί για ένα συγκεκριμένο παρατηρητήριο και αποτελούν ανυπόστατο συστατικό της δομής του. Στη συνέχεια οι ανακτηθείσες παράμετροι τροφοδοτούν τα κατάλληλα ωκεανογραφικά μοντέλα που δίδουν πρόσθετα αποτελέσματα σε ό,τι αφορά στη δυναμική του θαλάσσιου περιβάλλοντος (data assimilation).

4.5 Απεικόνιση της πληροφορίας

Η ανακτηθείσα πληροφορία τόσο μετά την αντιστροφή του ακουστικού πεδίου όσο και μετά την αξιοποίηση του από τα μοντέλα κυκλοφορίας, θα πρέπει να απεικονισθεί με κατάλληλο τρόπο ώστε να δοθεί η δυνατότητα στις αρχές αλλά και εν γένει στους τελικούς χρήστες ενός θαλάσσιου παρατηρητηρίου να αξιοποιήσουν τα αποτελέσματα τόσο σε άμεσο χρόνο (περίπτωση π.χ. ρύπανσης μιας περιοχής) ή σε μελλοντικό χρόνο. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (Geographical Information Systems) τα οποία μπορούν να απεικονίσουν τα τελικά δεδομένα σε γεωγραφικούς χάρτες, ενσωματώνοντας στατικές και δυναμικές πληροφορίες με τρόπο άμεσα αξιοποιήσιμο από μη έμπειρους τελικούς χρήστες.

5. Ευχαριστίες

Η εργασία υποστηρίχτηκε από τα προγράμματα EMSO-HELLAS της Γ.Γ.Ε.Τ και ACMAC του Πανεπιστημίου Κρήτης.

6. Αναφορές

- [1] M.D. Collins and W.A. Kuperman "Inverse problems in ocean acoustics" *Inverse Problems* 10, pp 1023-1040, (1994).
- [2] M.I. Taroudakis "Inverse problems in underwater acoustics" in *Proceedings of the 2nd EAA International Symposium on Hydroacoustics*, edited by A Stepnowski et al. pp 281-290 (1999).
- [3] W. Munk, P. Worcester and C. Wunsch *Ocean Acoustic Tomography*, Cambridge University Press, Cambridge, 1995.
- [4] E.C. Shang, "Ocean acoustic tomography based on adiabatic mode theory" *J.Acoust.Soc.Am.* 85, pp 1531-1537 (1989).
- [5] M.I. Taroudakis and J.S. Papadakis "Modal inversion schemes for ocean acoustic tomography" *J. Comput. Acoust.*, 1, pp 395-421 (1993).
- [6] M.I. Taroudakis "A comparison of modal-phase and modal-travel time approaches for ocean acoustic tomography" in *Proceedings of the 2nd European Conference on Underwater Acoustics*, edited by Leif Bjorno, pp 1057-1062 (1994).
- [7] E.K. Skarsoulis, G.A. Athanassoulis and U.Send. "Ocean acoustic tomography based on peak arrivals" *J.Acoust.Soc.Am.* 100, pp 797-813 (1996).
- [8] M.I. Taroudakis and C. Smaragdakis: "On the use of Genetic Algorithms and a statistical characterization of the acoustic signal for tomographic and bottom geoacoustic inversions" *Acta Acustica united with Acustica* Vol. 95, No 5, pp 814-822 (2009).