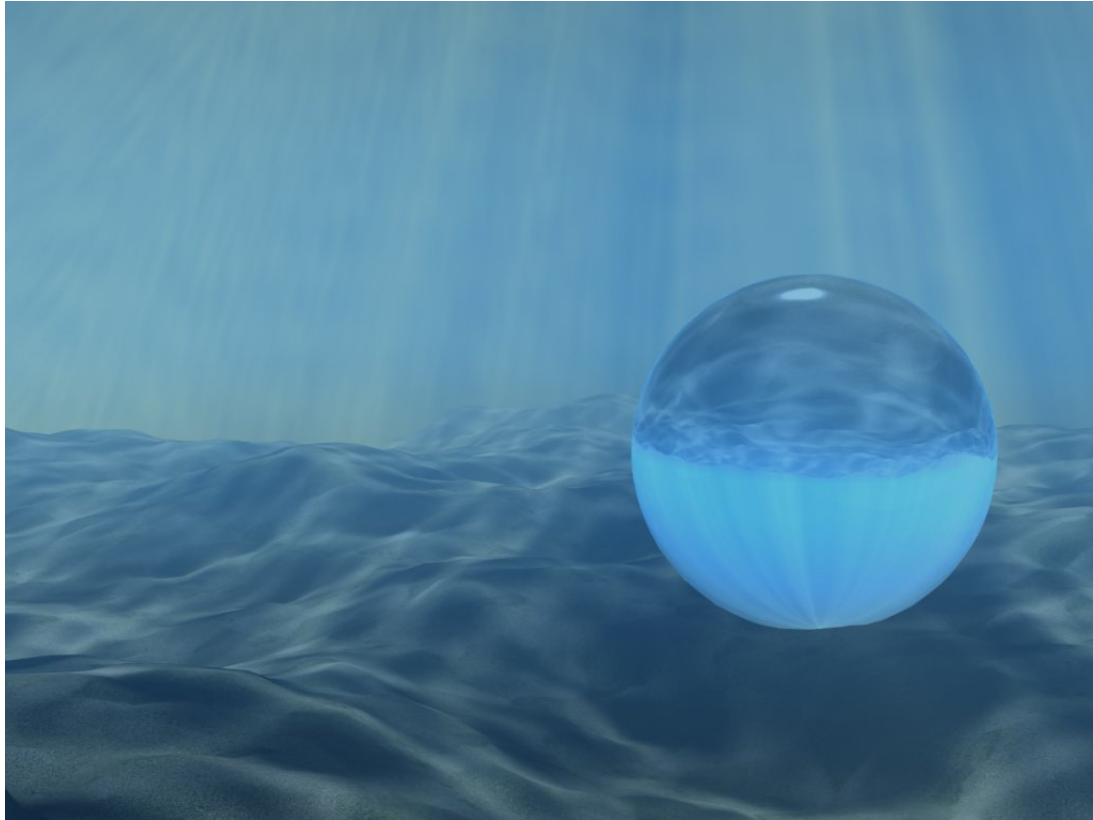


Πανεπιστήμιο Μακεδονίας  
ΔΠΜΣ Πληροφοριακά Συστήματα  
Δίκτυα Υπολογιστών  
Καθηγητής: Α.Α. Οικονομίδης

University of Macedonia  
Master Information Systems  
Computer Networks  
Professor: A.A. Economides



## **Underwater Acoustic Sensor Networks Architectures and Localization Techniques**

**Υποθαλάσσια Δίκτυα Αισθητήρων Ήχου  
Αρχιτεκτονικές και Τεχνικές Εντοπισμού**

**Τζέλου Αλεξάνδρα  
29/05/2012**

## Περίληψη

Τα υποθαλάσσια ακουστικά δίκτυα με αισθητήρες ήχου θεωρούνται ως μια καινοτόμος περιοχή έρευνας στο χώρο της ασύρματης δικτύωσης χάρη στα μοναδικά χαρακτηριστικά του ακουστικού μέσου μετάδοσης. Παρ' όλα αυτά, η μετάδοση δεδομένων σε υποθαλάσσια δίκτυα δεν έχει ερευνηθεί μέχρι στιγμής σε μεγάλο βαθμό. Χρησιμοποιούνται συνήθως για στρατιωτικές, επιστημονικές και περιβαλλοντικές εφαρμογές.

Στην εργασία αυτή θα γίνει αρχικά αναφορά στα ασύρματα ακουστικά δίκτυα αισθητήρων, στις διαφορές τους από τα οπτικά κύματα και στις εφαρμογές τους σε διάφορους τομείς. Ακόμη, θα παρουσιαστεί το περιβάλλον των δικτύων αυτών, οι αρχιτεκτονικές τους καθώς και οι τεχνικές εντοπισμού τους. Τέλος, θα αναφερθούν τα βασικότερα μειονεκτήματα της εφαρμογής τους και θα παρουσιαστούν οι προκλήσεις τόσο για τις αρχιτεκτονικές τους όσο για τις τεχνικές εντοπισμού τους.

Συμπερασματικά, παρά τις δυσκολίες που παρουσιάζονται κατά τη κατασκευή αυτών των δικτύων, μπορούν να δώσουν λύσεις σε περιπτώσεις όπου διαφορετικού είδους δικτύωση είναι δυσκολότερη ή αδύνατη. Έτσι λοιπόν, προτείνεται μελλοντική έρευνα ώστε να βελτιωθούν οι λειτουργίες των υποθαλάσσιων υποβρύχιων δικτύων.

**Abstract**

Underwater acoustic networks are considered to be an innovative area of research in wireless networking due to the unique characteristics of the acoustic physical layer. Despite being a fundamental networking primitive, data broadcasting has so far received little attention in the context of underwater networks. They are usually used for military, scientific or environmental purposes.

In this paper there will initially be a reference at Underwater Wireless Acoustic Sensor Networks (UWASNs), in their differences with optic waves and in their applications in various areas. Moreover, it will be presented their environment, their architectures and also their localization techniques. Finally, the basic disadvantages of their applications will be referenced and in the end will be presented the challenges for their architectures as well as for their localization techniques.

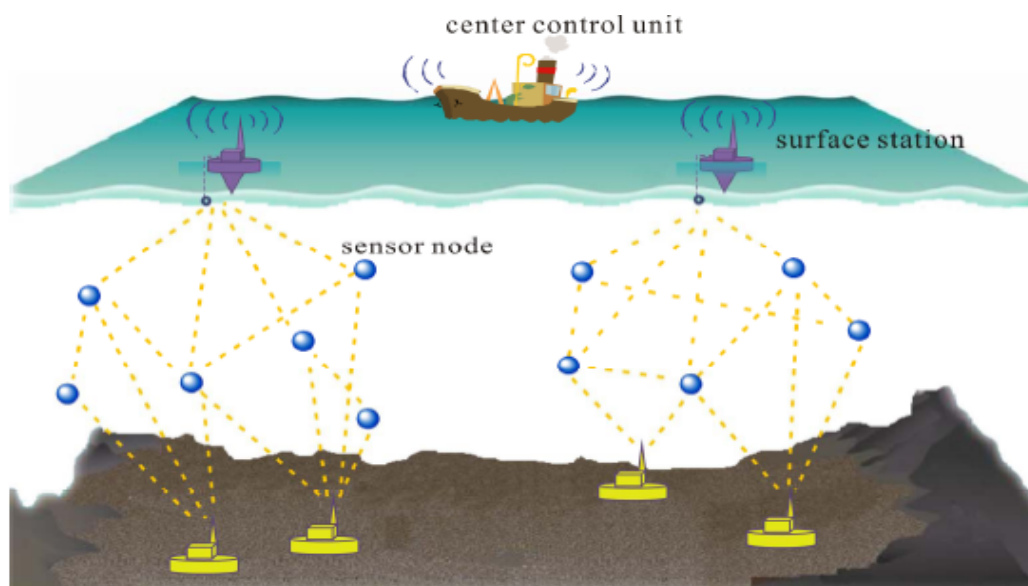
Conclusively, despite the difficulties of underwater acoustic sensor networks' implementation, they can be very useful. Therefore, future research is proposed in order to improve their functions.

## Underwater sensor networks – Υποθαλάσσια δίκτυα αισθητήρων

Τα υποθαλάσσια δίκτυα αισθητήρων είναι μια νέα εφαρμογή των δικτύων αισθητήρων τα οποία χρησιμοποιούνται για ανάπτυξη κατάλληλων συστημάτων επιτήρησης, ανίχνευση υποθαλάσσιων στόχων, μετάδοση σημαντικών πληροφοριών, συλλογή ωκεανογραφικών δεδομένων, παρακολούθηση πληθυσμών, εκμετάλλευση υπογείων κοιτασμάτων και παρεμπόδιση καταστροφών από σεισμική δραστηριότητα ή την εμφάνιση τσουνάμι (tsunami). Βρίσκουν επίσης εφαρμογή και στην ανίχνευση φυσικών ενδείξεων (πχ. περιεκτικότητα σε αλάτι, πίεση και θερμοκρασία) και χημικών-βιολογικών ενδείξεων (πχ. επίπεδα βακτηρίων, επίπεδα μόλυνσης και επικίνδυνοι βιολογικοί ή χημικοί παράγοντες σε πηγάδια και δεξαμενές).

Τα υποθαλάσσια δίκτυα υλοποιούνται με την εγκατάσταση κόμβων αισθητήρων και ειδικών οχημάτων σε ωκεανούς, θάλασσες ή λίμνες. Τα ειδικά οχήματα είτε μη επανδρωμένα (Unmanned Underwater Vehicles – UUVs) είτε αυτόνομα (Autonomous Underwater Vehicles – AUVs), χρησιμοποιούνται για εξερεύνηση και συλλογή επιστημονικών δεδομένων από τους κόμβους. Η επίτευξη επικοινωνίας μεταξύ των υποθαλάσσιων συσκευών, δηλαδή ο συντονισμός της λειτουργίας τους με ανταλλαγή πληροφοριών όπως διαμορφώσεων (configuration), τοποθεσίας (location), μετακίνησης (movement) και τέλος η αναμετάδοση των δεδομένων στο σταθμό ξηράς από τους αισθητήρες κόμβους και τα οχήματα πραγματοποιείται μέσω ακουστικών κυμάτων. Όλα αυτά αποτελούν ένα αυτόνομο δίκτυο το οποίο μπορεί να προσαρμοστεί στα χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος του ωκεανού.

Η τεχνολογία που χρησιμοποιείται για τις εφαρμογές αυτές, ονομάζεται Ασύρματη Υποθαλάσσια Ακουστική Δικτύωση με Αισθητήρες (Underwater Acoustic Sensor Networking – UW-ASNs) (Κουτσοβέλας & Κωστούδης, 2008).



Εικόνα\_1. (Underwater sensor network, 2009)

### Διαφορές Ακουστικών από Οπτικά κύματα

Η επικοινωνία μέσω ακουστικών κυμάτων, είναι τεχνολογία τυπικού φυσικού επιπέδου (physical layer) στα υποθαλάσσια δίκτυα. Τα ραδιοκύματα διαδίδονται σε μεγάλες αποστάσεις όταν το μέσο είναι νερό αλλά σε υπερβολικά χαμηλές συχνότητες, γεγονός που απαιτεί μεγάλες κεραίες και υψηλή ισχύ μετάδοσης.

Από την άλλη μεριά, τα οπτικά κύματα δεν υποφέρουν από τόσο υψηλή εξασθένιση αλλά επηρεάζονται από τη διασκόρπιση. Πιο συγκεκριμένα, η μετάδοση των οπτικών σημάτων απαιτεί υψηλή ακρίβεια στόχευσης της στενής ακτίνας λέιζερ. Έτσι, οι συνδέσεις των υποθαλάσσιων δικτύων στηρίζονται στην ακουστική ασύρματη επικοινωνία (Akyildiz, Pompili & Tommaso Melodia, 2005).

## Εφαρμογές Υποθαλάσσιων Δικτύων με αισθητήρες

**α) Δίκτυα δειγματοληψίας ωκεανού (Ocean Sampling Networks).** Αφορά την συνοπτική δειγματοληψία του 3D παράκτιου περιβάλλοντος, με σκοπό την παρατήρηση και την πρόβλεψη των χαρακτηριστικών του.

**β) Υποβοηθούμενη πλοήγηση (Assisted Navigation).** Αφορά την δημιουργία του βαθυμετρικού προφίλ του πυθμένα της θάλασσας (bathymetry profiling on the seabed), αναγνωρίζοντας κινδύνους, επικίνδυνους βράχους στα ρηχά, αγκυροβολημένα σημεία και ναυάγια.

**γ) Υποθαλάσσιες εξερευνήσεις (Undersea exploration).** Αφορά την ανεύρεση πετρελαιοφόρων περιοχών, για χάραξη εγκατάστασης υποθαλάσσιων καλωδιώσεων και υποβοήθηση στην ανίχνευση πολύτιμων ορυκτών.

**δ) Αποτροπή καταστροφών (Disaster prevention).** Αφορά την μέτρηση της σεισμικής δραστηριότητας απομακρυσμένων περιοχών, παρέχοντας προειδοποιήσεις για τσουνάμι (tsunami) στις παράκτιες περιοχές και την μελέτη των επιδράσεων των υποθαλάσσιων σεισμών.

**ε) Περιβαλλοντική παρακολούθηση (Environmental Monitoring).** Αφορά την παρακολούθηση της μόλυνσης (βιολογική, χημική, πυρηνική) και της ποιότητας του νερού (ρυακιού, λίμνης, ποταμού, ωκεανού).

**στ) Κατανεμημένη τακτική παρακολούθηση (Distributed Tactical Surveillance).** Αφορά την ανίχνευση υποβρυχίων, μικρών οχημάτων και δυτών, μέσω μικρό-αισθητήρων, μηχανικής, ακτινοβολίας, μαγνητικής και ακουστικής απόκρισης. Τα υποθαλάσσια δίκτυα αισθητήρων, έναντι των παραδοσιακών συστημάτων radar / sonar, έχουν υψηλότερη ακρίβεια και επιτρέπουν την ανίχνευση και κατάταξη μικρότερων στόχων, συνδυάζοντας μετρήσεις από διαφορετικούς τύπους αισθητήρων.

**ζ) Αναγνώριση ναρκών (Mine reconnaissance).** Αφορά την ταυτόχρονη λειτουργία πολλαπλών AUVs, με οπτικούς και ακουστικούς αισθητήρες, που μπορούν να επιτύχουν τάχιση περιβαλλοντική αναγνώριση και ανίχνευση αντικειμένων που μοιάζουν με νάρκες.

**η) Ανίχνευση υπερβολικής θερμοκρασιακής κλίσης.** Αφορά την διευκόλυνση της ανίχνευσης συγκεκριμένων μικροοργανισμών που αναπτύσσονται με την υπερβολική αύξηση της θερμοκρασίας.

**θ) Παρακολούθηση των ρευμάτων και ανέμων των ωκεανών.** Αφορά την μελέτη αυτών με σκοπό τις βέλτιστες καιρικές προβλέψεις μέσω των κλιματικών αλλαγών και την κατανόηση και πρόβλεψη της επίδρασης των ανθρώπινων δραστηριοτήτων στο θαλάσσιο οικοσύστημα (Akyildiz, Pompili & Melodia, 2005).

## Περιβάλλον Υποθαλάσσιων Δικτύων με αισθητήρες

Ένα τυπικό παράδειγμα υποθαλάσσιου δικτυακού περιβάλλοντος είναι όπως φαίνεται στην Εικόνα\_2. Το δίκτυο αποτελείται από ένα σύνολο τοπικών υποθαλάσσιων δικτύων ( UW - LAN, γνωστό ως συστάδες ( clusters ) ή κύτταρα ( cells ) ). Κάθε αισθητήρας συνδέεται με την δεξαμενή (sink) μέσω της συστάδας. Οι αισθητήρες μπορούν να συνδεθούν με τις uw - sink μέσω πολλαπλών αλμάτων (multihop) μικρών αποστάσεων. Οι πληροφορίες από την δεξαμενή (sink) κάθε συστάδας μεταφέρονται στο σταθμό επιφάνειας μέσω των κάθετων συνδέσεων. Ο σταθμός στην επιφάνεια είναι εξοπλισμένος με τους ακουστικούς πομποδέκτες που είναι σε θέση να χειρίζονται τις πολλαπλές παράλληλες επικοινωνίες με τις επεκταμένους uw – sinks (Manjula & Manvi, 2011).

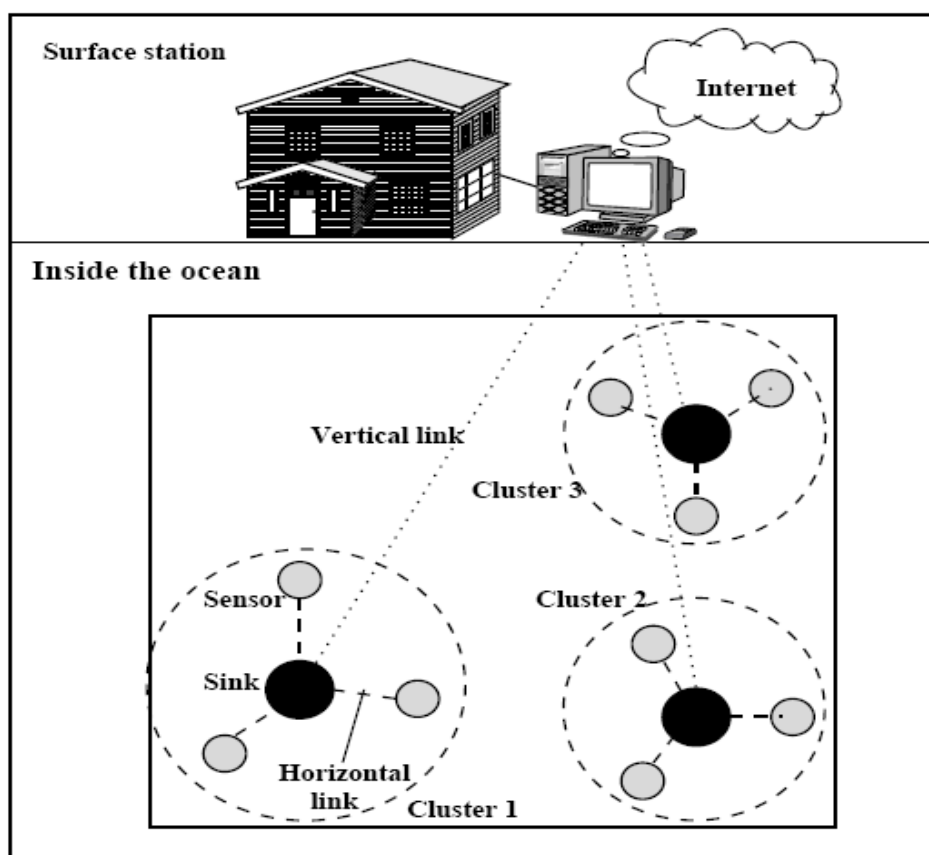


Fig. 1. Underwater Network Environment

Εικόνα\_2. Περιβάλλον υποθαλάσσιων δικτύων



## Αρχιτεκτονικές Υποθαλάσσιων Δικτύων με αισθητήρες

### 2D UW-ASNs παρακολούθησης πυθμένα.

Μια ομάδα κόμβων αισθητήρων αγκυλώνονται στον πυθμένα του ωκεανού και συνδέονται με ένα ή περισσότερους υποθαλάσσιους συσσωρευτές (uw-sinks), μέσω ασύρματης ακουστικής σύνδεσης (Εικόνα\_3). Οι δεξαμενές (sinks) είναι υπεύθυνες για τη μετάδοση των δεδομένων από το δίκτυο του πυθμένα σε ένα σταθμό επιφανείας.

Είναι εφοδιασμένες με δύο ακουστικούς πομπούς, έναν κατακόρυφο και έναν οριζόντιο. Ο οριζόντιος χρησιμοποιείται για την επικοινωνία με τους κόμβους των αισθητήρων με σκοπό:

α) να στέλνονται εντολές και δεδομένα διαμόρφωσης στους αισθητήρες (από συσσωρευτή προς αισθητήρες),

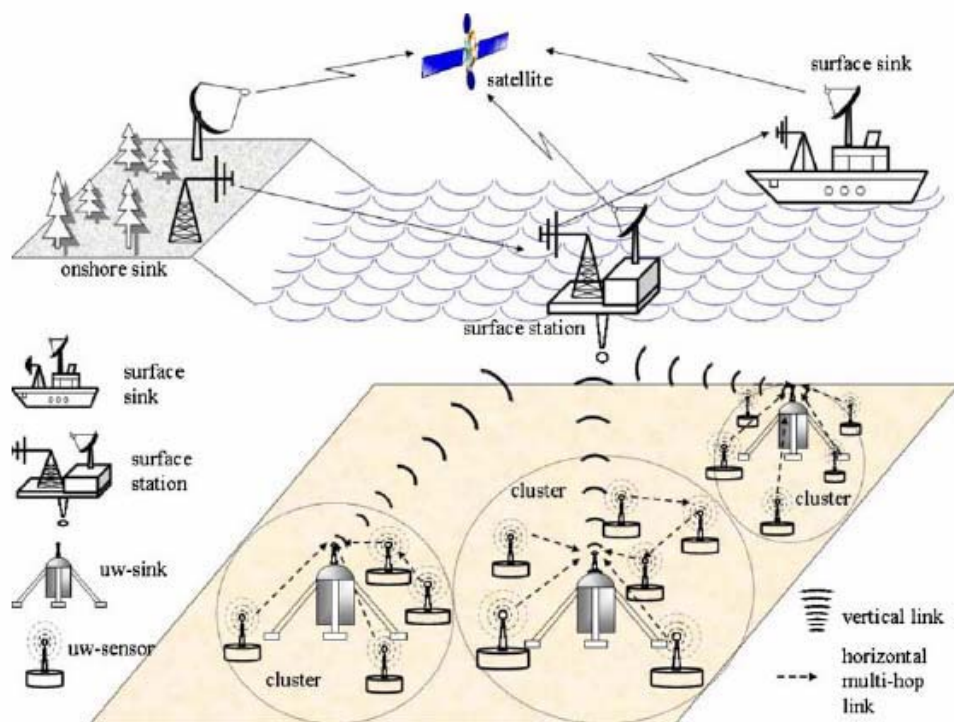
β) να συλλέγονται στοιχεία ελέγχου (από αισθητήρες προς συσσωρευτή).

Η κατακόρυφη σύνδεση επιτυγχάνεται για την εκπομπή των δεδομένων από τους συσσωρευτές προς τους σταθμούς επιφανείας. Λόγω μεγάλου βάθους των ωκεανών, οι κατακόρυφοι πομποί πρέπει να είναι μεγάλης εμβέλειας έως και 10 χιλιομέτρων.

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

Από την άλλη μεριά, στις πολλαπλών αλμάτων διαδρομές (multihop paths), τα παραγόμενα στοιχεία μιας πηγής αισθητήρων, μεταδίδονται μέσω ενδιάμεσων αισθητήρων μέχρι να φτάσουν στο συσσωρευτή (uw-sink). Έτσι, από τη μια εξασφαλίζεται ενεργειακή επάρκεια και αυξημένη δικτυακή χωρητικότητα αλλά από

την άλλη έχουμε αυξημένη πολυπλοκότητα της λειτουργίας δρομολόγησης. Σκοπός είναι να παραδοθούν στοιχεία γεγονότων εξερευνώντας τις διαδρομές πολλαπλών αλμάτων και να ελαχιστοποιηθεί το «signaling overhead», απαραίτητο για την κατασκευή υποθαλάσσιων διαδρομών την ίδια χρονική στιγμή.



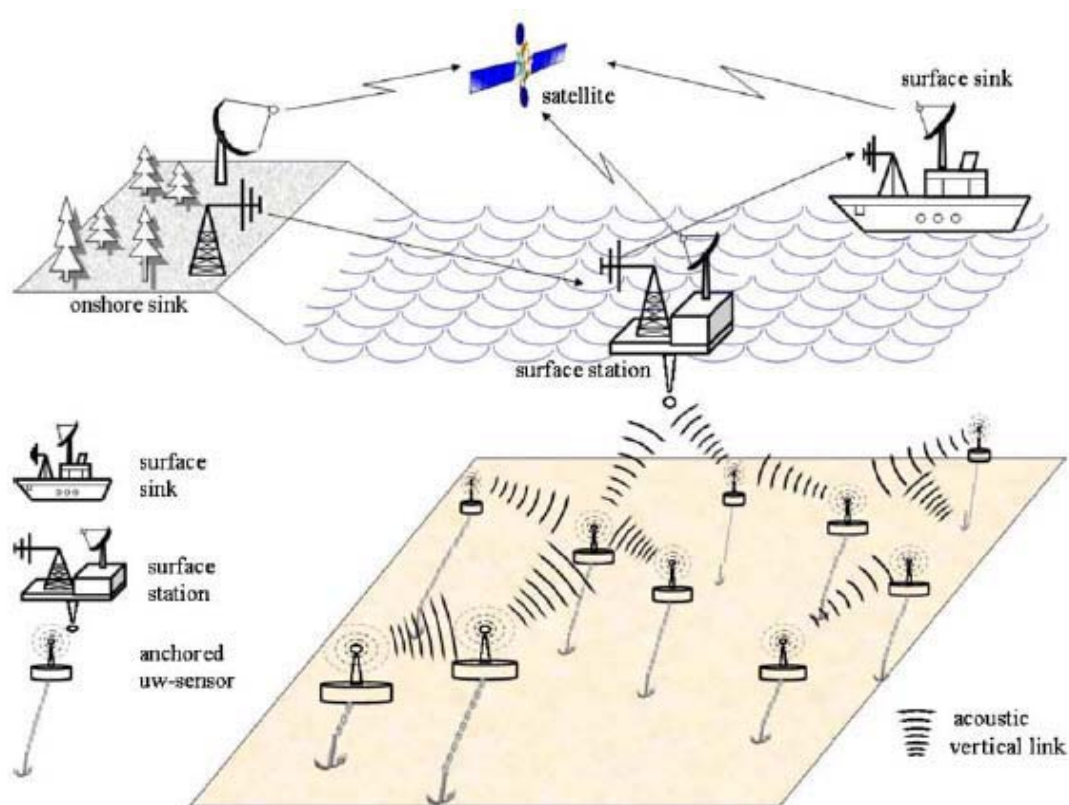
Εικόνα\_3. Αρχιτεκτονική 2D UW-ASNs

### 3D UW-ASNs παρακολούθησης κατακόρυφης στήλης.

Χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση και την παρατήρηση φαινομένων που δεν μπορούν να παρατηρηθούν επαρκώς από τα 2D. Σε αυτήν την περίπτωση, οι αισθητήριιοι κόμβοι κινούνται σε διάφορα βάθη με σκοπό την παρατήρηση ενός συγκεκριμένου φαινομένου. Η εγκατάστασή τους γίνεται με στερέωση κάθε αισθητήριου κόμβου σε μια επιφανειακή σηματοδύρα, με ρυθμιζόμενο καθ' ύψος σύρμα, για την αντίστοιχη ρύθμιση βάθους ελέγχου του αισθητήρα. Έτσι όμως είτε τίθεται πρόβλημα εμπόδισης πλεύσης των πλοίων είτε γίνονται εύκολα αντιληπτά

από εχθρούς κατά τη διάρκεια στρατιωτικών εφαρμογών είτε τα ίδια είναι ευάλωτα στις καιρικές συνθήκες.

Για την αποφυγή των παραπάνω προβλημάτων γίνεται η αγκύλωση των αισθητήρων στον πυθμένα του ωκεανού (Εικόνα\_4), οι οποίοι εξοπλίζονται με μια επιπλέουσα σημαδούρα, η οποία φουσκώνει με αντλία. Η σημαδούρα ωθεί τον αισθητήρα προς την επιφάνεια του ωκεανού και το βάθος του, ρυθμίζεται με τη ρύθμιση του μήκους του σύρματος (με ηλεκτρονικό τρόπο), που συνδέει τον αισθητήρα με την αγκύλωση.



Εικόνα\_4. Αρχιτεκτονική 3D UW-ASNs

### 3D UW-ASN για AUVs

Τα αυτόνομα υποθαλάσσια οχήματα μπορούν να λειτουργήσουν χωρίς σύρματα, σχοινιά ή τηλεχειριζόμενο έλεγχο, συνεπώς έχουν ευρύ πλάτος εφαρμογών στην ωκεανογραφία, παρακολούθηση περιβάλλοντος και μελέτη υποθαλάσσιων πηγών.

Εξοπλισμένα με αισθητήρες, μπορούν να φτάσουν σε οποιοδήποτε βάθος, δοκιμάζοντας έτσι τις δυνατότητες ενός UWASN. Η προσαρμογή αισθητήρων όμως σε ένα AUV, απαιτεί νέο δικτυακό συντονισμό αλγορίθμων όπως:

**α) Προσαρμοσμένη δειγματοληψία (Adaptive Sampling).** Εμπεριέχει στρατηγικές ελέγχου για την καθοδήγηση του οχήματος όπου τα δεδομένα θα είναι εξαιρετικά χρήσιμα.

**β) Αυτό – διαμόρφωση (Self-configuration).** Εμπεριέχει διαδικασίες ελέγχου προς ανίχνευση και επιδιόρθωση τρυπών στη σύνδεση λόγω βλάβης κόμβων ή εξασθένισης καναλιού. Το όχημα τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε για την εγκατάσταση και συντήρηση της δομής του δικτύου των αισθητήρων είτε για να τοποθετήσει καινούριους. Ακόμη, μπορούν να χρησιμοποιηθούν προσωρινά ως αναμεταδότες κόμβων για την αποκατάσταση της σύνδεσης.

Σκοπός τους, να είναι το λιγότερο δυνατό εξαρτημένα από τις επικοινωνίες με τις ακτές. Διαθέτουν συστήματα ηλιακής ενέργειας για αυξημένη διάρκεια ζωής. Υπάρχουν οχήματα που λειτουργούν ως μικρού μεγέθους υποβρύχια και οχήματα που απλά παρασύρονται από τα ρεύματα του ωκεανού μετακινούμενα κατακόρυφα για τη συλλογή των πληροφοριών. Άλλα οχήματα κινούνται με μπαταρία, χρησιμοποιώντας υδραυλικές αντλίες για τη μεταβολή του όγκου τους και συνεπώς μεταβολής ύψους παρακολούθησης. Κατά την άφιξη στην επιφάνεια της θάλασσας, χρησιμοποιούν GPS για τον εντοπισμό τους. Κινούνται σε βάθη μεταξύ 200 και 1500 μέτρων ενώ η διάρκεια ζωής τους είναι από μερικές βδομάδες ως μερικούς μήνες (Akyildiz, Pompili & Melodia, 2005).

## Μειονεκτήματα

Η παραδοσιακή προσέγγιση παρακολούθησης του ωκεανού οριζοντίως και καθέτως, απαιτεί την τοποθέτηση – εξάπλωση υποθαλάσσιων αισθητήρων, συσκευών, που καταγράφουν δεδομένα κατά τη διάρκεια της αποστολής και τέλος γίνεται ανάκτηση των συσκευών. Αυτή η μέθοδος όμως μπορεί να αντιμετωπίσει σημαντικά μειονεκτήματα της υποθαλάσσιας επικοινωνίας, όπως:

**α) Μειωμένη αντοχή σε σφάλματα.** Ενδέχεται κάποιοι αισθητήριοι κόμβοι να αποτύχουν ή να μπλοκαριστούν εξαιτίας είτε της έλλειψης ενέργειας, είτε μιας φυσικής καταστροφής, είτε εξαιτίας περιβαλλοντικών εφαρμογών.

**β) Μεγάλο κόστος δικτύου.** Το κόστος ενός αισθητήριου κόμβου παίζει σημαντικό ρόλο σε ένα δίκτυο αισθητήρων. Σε περίπτωση που το κόστος του δικτύου είναι πιο μεγάλο από το κόστος εγκατάστασης παραδοσιακών αισθητήρων τα δίκτυα αισθητήρων δεν συμφέρουν οικονομικά.

**γ) Περιορισμοί υλικού κατασκευής.** Ένας αισθητήριος κόμβος αποτελείται από μία μονάδα αισθήσεως, μία μονάδα ενέργειας, έναν πομποδέκτη, μία μονάδα επεξεργασίας κ.α. Όλες αυτές οι υπομονάδες καλούνται να χωρέσουν σε ένα χώρο μεγέθους σπιρτόκουτου.

**δ) Περιορισμένη κατανάλωση ενέργειας.** Η μπαταρία των υποθαλάσσιων κόμβων έχει μικρή χρονική διάρκεια και καθώς αδυνατεί να επαναφορτιστεί ή να αντικατασταθεί απαιτείται χαμηλή κατανάλωση ενέργειας.

**ε) Καθυστέρηση μετάδοσης δεδομένων.** Η καθυστέρηση διάδοσης στο νερό είναι 5 φορές σε μέγεθος μεγαλύτερη από ότι στη ραδιοσυχνότητα των επίγειων καναλιών και τρομερά ευμετάβλητη.

**στ) Περιορισμένο εύρος ζώνης.**

ζ) **Εξασθένιση σήματος (signal fading).** Παρατηρείται μείωση του υποθαλάσσιου καναλιού.

η) **Ζώνες σκίασης.** Λόγω των ιδιόμορφων χαρακτηριστικών των υποθαλάσσιων καναλιών, κάνουν την εμφάνισή τους ζώνες σκίασης (Shadow zones—temporary losses of connectivity) και high bit error rates.

θ) **Περιορισμένη αποθηκευτική δυνατότητα.** Περιορισμένη δυνατότητα αποθήκευσης καταγραφής δεδομένων, λόγω των ανάλογων δυνατοτήτων του εξοπλισμού (μνήμες, σκληροί δίσκοι κ.τ.λ.).

## Προκλήσεις

Οι προκλήσεις που πρέπει να ξεπεραστούν για τη αποδοτική λειτουργία ενός UWASN, είναι:

- Η αποτυχία ή η καταστροφή κάποιων αισθητήριων κόμβων δεν θα πρέπει να επηρεάζει τον συνολικό σκοπό του δικτύου (αντοχή σε σφάλματα).
- Απαιτείται η ανάπτυξη αποδοτικής υποθαλάσσιας επικοινωνίας και η χρήση διαδικτυακών τεχνικών λόγω ελάχιστης κατανάλωσης ισχύος.
- Απαιτείται δυνατότητα διάδρασης μεταξύ των συστημάτων ελέγχου και των συσκευών παρακολούθησης με σκοπό την διαμόρφωση των συστημάτων σε πραγματικό χρόνο (Παπουτσιδάκης, 2009).

*Συνεπώς, οι προκλήσεις που καλείται να αντιμετωπίσει ένα UWASN για να είναι αξιόπιστο, είναι να αντιμετωπίζει όλα τα παραπάνω. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με σύνδεση των συσκευών μεταξύ τους με ασύρματους συνδέσμους, βασισμένους στην ακουστική επικοινωνία.*

## Τεχνικές Εντοπισμού Υποθαλάσσιων Δικτύων με αισθητήρες

### Προκλήσεις για το σχεδιασμό των Τεχνικών Εντοπισμού -

Τα παραπάνω μειονεκτήματα έχουν θέσει επίσης σοβαρές προκλήσεις έναντι του σχεδιασμού των συστημάτων εντοπισμού (localization) οι οποίες εκπληρώνουν τις ακόλουθες ιδιότητες:

- **Υψηλή Ακρίβεια.** Η τοποθεσία του αισθητήριου κόμβου πρέπει να είναι ακριβής και σαφής με σκοπό την ουσιαστική ερμηνεία των δεδομένων. Τα πρωτόκολλα εντοπισμού ελαχιστοποιούν την απόσταση μεταξύ των εκτιμώμενων και πραγματικών τοποθεσιών.
- **Γρήγορη Σύγκλιση.** Δεδομένου ότι οι κόμβοι μπορεί να μετατοπίστηκαν λόγω θαλάσσιων ρευμάτων, η διαδικασία εντοπισμού θα πρέπει να γίνεται τόσο γρήγορα, έτσι ώστε να αναφερθεί η πραγματική θέση, όταν τα δεδομένα είναι ανιχνεύσιμα.
- **Ευρεία Κάλυψη.** Το σύστημα εντοπισμού θα πρέπει να εξασφαλίζει τη δυνατότητα εντοπισμού κάθε κόμβου στο δίκτυο.
- **Καλή Επεκτασιμότητα.** Η μεγάλη καθυστέρηση διάδοσης και η σχετικά υψηλή εξασθένιση δύναμης το υποθαλάσσιο ακουστικό κανάλι δημιουργεί πρόβλημα επεκτασιμότητας όπου η απόδοση έχει επηρεαστεί ιδιαίτερα από τον αριθμό των κόμβων του δικτύου. Συμπερασματικά, ένα υποθαλάσσιο πρωτόκολλο εντοπισμού πρέπει βασίζεται σε όσο το δυνατόν λιγότερους κόμβους αναφοράς.

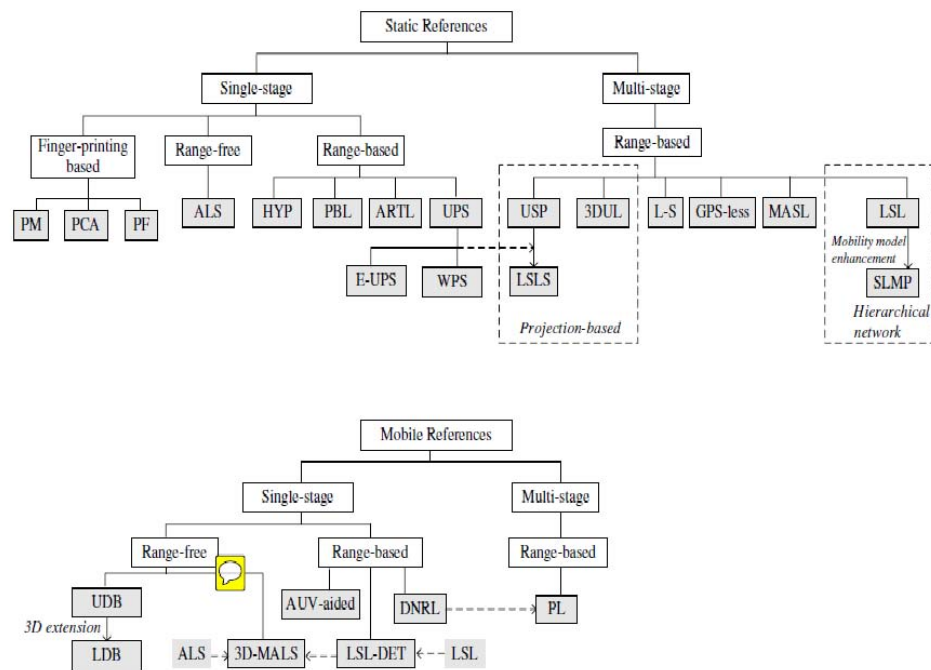
### Τεχνικές Εντοπισμού - Localization Techniques

Γενικότερα, τα συστήματα εντοπισμού στα υποθαλάσσια ασύρματα δίκτυα με αισθητήρες μπορούν να ταξινομηθούν σε 3 κατηγορίες:

1. **Range-based Underwater Localization (Υποθαλάσσιος Εντοπισμός με βάση το Εύρος).** Κάθε συνηθισμένος αισθητήριος κόμβος βασίζεται σε πληροφορίες που βασίζονται στο χρόνο ώστε να αξιολογήσει την απόστασή

του από άλλους κόμβους αναφοράς (με γνωστές θέσεις) στο σύστημα. Έπειτα χρησιμοποιεί «multilateration/angulation» για να υπολογίσει τη δική του τοποθεσία..

2. **Proximity Approache (Κατά Προσέγγιση Αναφορά).** Κάθε κόμβος διαχέει δεδομένα κατά προσέγγιση σε κόμβους αναφοράς έτσι ώστε να επιτευχθεί εκτενής εντοπισμός π.χ., σε μία περιοχή αντί για μια συγκεκριμένη τοποθεσία.
3. **Scene Analysis Approach (Προσέγγιση Ανάλυσης Τοπίου).** Ανακτούνται πληροφορίες εντοπισμού αναλύοντας «εικόνες» που έχουν παρθεί από τους αισθητήριους κόμβους και συγκρίνοντας τις εικόνες αυτές με προηγούμενα διαθέσιμα δείγματα εικόνων (training data).



Εικόνα\_5. Ταξινόμηση των συστημάτων Εντοπισμού για Υποθαλάσσια Δίκτυα Αισθητήρων.

Παρόλο που οι τεχνικές εντοπισμού για τα επίγεια ασύρματα δίκτυα αισθητήρων έχουν μελετηθεί ευρέως, οι υπάρχουσες τεχνικές δεν μπορούν να εφαρμοστούν απευθείας σε UWSNs λόγω των προκλήσεων που σχετίζονται με τα δίκτυα αυτά.



## Επίλογος

Τα δίκτυα που αναλύθηκαν στην εργασία αυτή παρέχουν αρκετά πλεονεκτήματα όσον αφορά την παρακολούθηση, την επιτήρηση και τον σχεδιασμό του υποθαλάσσιου έλεγχου. Έτσι λοιπόν, είμαστε εξοπλισμένοι με μια καλύτερη τεχνολογία αντίληψης και επιτήρησης για να αποκτήσουμε την ακριβή γνώση για τους ανεξερεύνητους υποθαλάσσιους τόπους. Παρόλα αυτά όμως δεν πρέπει να θεωρηθεί πως δεν υπάρχουν περιθώρια βελτίωσης. Τα υποθαλάσσια δίκτυα βρίσκονται σε στάδιο ανάπτυξης όπου τίθενται πολλά θέματα προκλήσεων οπού καλούνται να ξεπεράσουν προκειμένου να μπορέσουν να γίνουν τόσο εφαρμόσιμα όσο και αποδοτικά.

## Αναφορές

- 1) Κουτσοβέλας Δ. & Κωστούδης Η. (2008). *Ασφάλεια σε δίκτυα ad hoc και δίκτυα αισθητήρων ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ*. Retrieved from [http://artemis.cslab.ntua.gr/el\\_thesis/artemis.ntua.ece/DT2008-0266/DT2008-0266.pdf](http://artemis.cslab.ntua.gr/el_thesis/artemis.ntua.ece/DT2008-0266/DT2008-0266.pdf)
- 2) Γιαντσής Χ. (2009). *Υποθαλάσσια & υπόγεια δίκτυα αισθητήρων*. Retrieved from [http://conta.uom.gr/conta/ekpaideysh/metaptyxiaka/technologies\\_diktywn/ergasies/2009/Underwater%20and%20underground%20sensor%20networks.pdf](http://conta.uom.gr/conta/ekpaideysh/metaptyxiaka/technologies_diktywn/ergasies/2009/Underwater%20and%20underground%20sensor%20networks.pdf)
- 3) Akyildiz I., Pompili D. & Melodia T. (2005). Ad Hoc Networks 3. *Underwater acoustic sensor networks: research challenges*, 257–279. Retrieved from [http://www.ece.rutgers.edu/~pompili/paper/Akyildiz\\_AdHoc05.pdf](http://www.ece.rutgers.edu/~pompili/paper/Akyildiz_AdHoc05.pdf)
- 4) Manjula B. & Manvi S. (2011). International Journal of Computer and Electrical Engineering. *Issues in Underwater Acoustic Sensor Networks*, Vol.3, No.1, 1793-8163. Retrieved from <http://www.ijcee.org/papers/299-E753.pdf>
- 5) Παπουτσιδάκης Α. (2009). *Τεχνολογίες Ανίχνευσης Επιθέσεων στα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων*. Retrieved from [http://support.inf.uth.gr/vasi/upload/apostolos\\_papoutsidakis.pdf](http://support.inf.uth.gr/vasi/upload/apostolos_papoutsidakis.pdf)
- 6) Tan H., Diamant R., Seah W. & Waldmeyer M. (2010). *A Survey of Techniques and Challenges in Underwater Localization*. Retrieved from <http://ecs.victoria.ac.nz/twiki/pub/Main/TechnicalReportSeries/ECSTR11-03.pdf>

- 7) Hu F., Tilghman P., Malkawi Y. & Xiao Y. (2007). International Journal of Sensor Networks. *A prototype underwater acoustic sensor network platform with topology-aware MAC scheme*, Vol. 2, No.5/6, pp 386-398. Retrieved from [http://www.inderscience.com/search/index.php?action=record&rec\\_id=14363&prevQuery=&ps=10&m=or](http://www.inderscience.com/search/index.php?action=record&rec_id=14363&prevQuery=&ps=10&m=or)
- 8) Dag G. (2009). *Sensor networks of freely drifting Autonomous Underwater Explorers*. Retrieved from <http://www.robaid.com/robotics/sensor-networks-of-freely-drifting-autonomous-underwater-explorers.htm>
- 9) Akyildiz I., Pompili D. & Melodia T. (n.d). *Challenges for Efficient Communication in Underwater Acoustic Sensor Networks*. Retrieved from <http://www.ece.gatech.edu/research/labs/bwn/papers/2004/j11.pdf>
- 10) Pompili D. & Melodia T. (n.d). An Architecture for Ocean Bottom Underwater Acoustic Sensor Networks (UWASN). Retrieved from <http://www.eng.buffalo.edu/~tmelodia/papers/mhposter.pdf>
- 11) Isik M. & Ozgur B. (2009). IEEE TRANSACTIONS ON WIRELESS COMMUNICATIONS. *A Three Dimensional Localization Algorithm for Underwater Acoustic Sensor Networks* VOL. 8, NO. 9. Retrieved from <http://www.ee.sunysb.edu/~snjhong/ese501/05285165.pdf>
- 12) Erol M., Vieira L. & Gerla M. (n.d). *AUV-Aided Localization for Underwater Sensor Networks*. Retrieved from <http://nrlweb.cs.ucla.edu/publication/download/433/Erol-AuvAidedLocalizationUWSN.pdf>
- 13) Liu L., Zhou S. & Cui J. (n.d). *Prospects and Problems of Wireless Communication for Underwater Sensor Networks*. Retrieved from [http://www.engr.uconn.edu/~jcui/UWSN\\_papers/wireless-overview\\_wcmc\\_2008\\_v1.pdf](http://www.engr.uconn.edu/~jcui/UWSN_papers/wireless-overview_wcmc_2008_v1.pdf)

- 14) Χρηστίδης Κ. (2009 – 2010). *Acoustic Underwater Data Broadcasting and Performance Evaluation in Environments with Locality of Demand*. Retrieved from  
<http://invenio.lib.auth.gr/record/114642/files/Acoustic%20Underwater%20Data%20Broadcasting%20and%20Performance%20Evaluation%20in%20Environments%20with%20Locality%20of%20Demand.pdf?version=1>
  
- 15) Natalizio E. & Loscri V. (n.d). *Controlled Mobility in Mobile Sensor Networks: Advantages, Issues and Challenges*. Retrieved from  
[http://inria.academia.edu/EnricoNatalizio/Papers/928367/Controlled\\_Mobility\\_in\\_Mobile\\_Sensor\\_Networks\\_Advantages\\_Issues\\_and\\_Challenges](http://inria.academia.edu/EnricoNatalizio/Papers/928367/Controlled_Mobility_in_Mobile_Sensor_Networks_Advantages_Issues_and_Challenges)
  
- 16) Μακρίδης Π. (2009). *Underwater Mobile Networks*. Retrieved from  
[http://conta.uom.gr/conta/ekpaideysh/metaptyxiaka/technologies\\_diktywn/ergasies/2009/Underwater%20Mobile%20Networks.pdf](http://conta.uom.gr/conta/ekpaideysh/metaptyxiaka/technologies_diktywn/ergasies/2009/Underwater%20Mobile%20Networks.pdf)
  
- 17) Macias E., Suarez A., Chiti F., Sacco A. & Fantacci R. (2011). OPEN ACCESS Sensors ISSN 1424-8220 *A Hierarchical Communication Architecture for Oceanic Surveillance Applications*. 10.3390/s111211343.