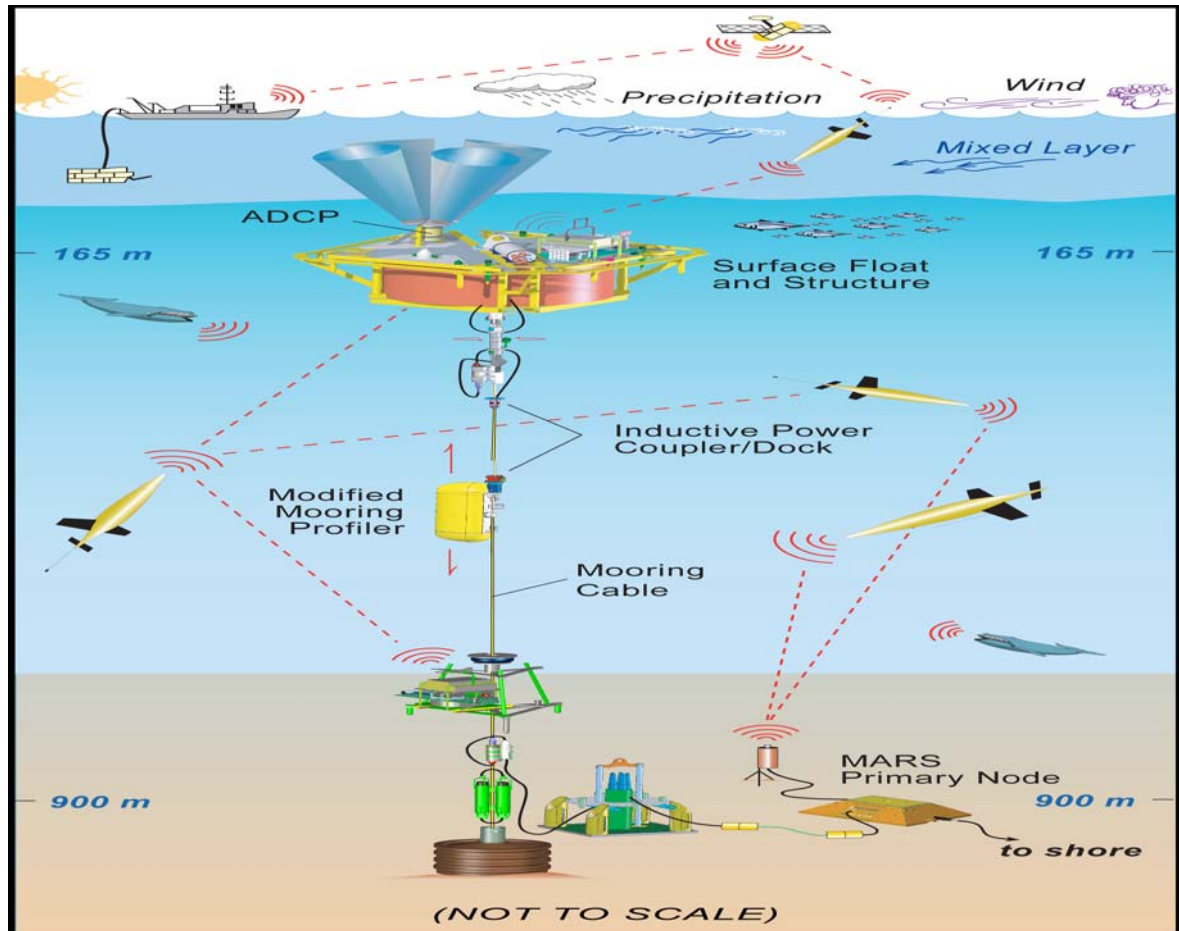




UNIVERSITY OF MACEDONIA  
THESSALONIKI, GREECE

## Μ.Ι.Σ – Δ.Π.Μ.Σ στα Πληροφοριακά Συστήματα ΔΙΚΤΥΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ Διδάσκων: Οικονομίδης Αναστάσιος



## Underwater Mobile Networks

Έρευνα & Συγγραφή:

Μακρίδης Παναγιώτης A.M: 0821

Θεσσαλονίκη , Φεβρουάριος 2009

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	2
2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	3
3. ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΚΑΙ ΣΧΕΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ.....	5
3.1 Υποβρύχια ακουστικά κανάλια.....	5
3.2 Διακρίσεις μεταξύ κινητού UWSN και των δικτύων αισθητήρων βασισμένων στο έδαφος.....	5
3.3 Τρέχοντα υποβρύχια συστήματα δικτύων και οι περιορισμοί τους.....	6
4. ΔΥΟ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΔΙΚΤΥΩΣΗΣ ΓΙΑ ΚΙΝΗΤΟ UWSNs.....	8
4.1 Κινητό UWSN για το μακροπρόθεσμο μη-χρόνο-κρίσιμο υδρόβιο έλεγχο...8	
4.2 Κινητό UWSN για τη βραχυπρόθεσμη χρόνο-κρίσιμη υδρόβια εξερεύνηση.....	10
5. ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΣΤΟ ΚΙΝΗΤΟ ΣΧΕΔΙΟ UWSN.....	12
5.1 Ασφάλεια, ανθεκτικότητα και ευρωστία.....	12
5.2 Αξιόπιστη και σε Πραγματικό Χρόνο μεταφορά στοιχείων.....	13
5.3 Έλεγχος κυκλοφοριακής συμφόρησης.....	14
5.4 Αποδοτική ακουστική δρομολόγηση πολυ-λुकίσκου.....	14
5.5 Διανεμημένος εντοπισμός και χρονικός συγχρονισμός.....	15
5.6 Ακουστικό φυσικό στρώμα.....	16
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	17
7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	18

## 1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το μεγάλης κλίμακας κινητό υποβρύχιο ασύρματο δίκτυο αισθητήρων (UWSN) είναι ένα νέο παράδειγμα δικτύωσης για να ερευνησει τα υδάτινα περιβάλλοντα. Εντούτοις, τα χαρακτηριστικά κινητού UWSN, όπως το χαμηλό εύρος ζώνης επικοινωνίας, η μεγάλη καθυστέρηση διάδοσης, η κινητικότητα κόμβων και η υψηλή πιθανότητα λάθους είναι πολύ διαφορετικά από τα επίγεια ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Σε αυτό το άρθρο, επομένως θα αναθεωρήσουμε αρχικά τα χαρακτηριστικά των ακουστικών καναλιών σχετικά με τα επίγεια ασύρματα δίκτυα αισθητήρων και τα υποβρύχια ακουστικά δίκτυα και θα προσδιορίσουμε τα ευδιάκριτα χαρακτηριστικά γνωρίσματα κινητού UWSN. Κατόπιν προτείνουμε δύο δικτυακές αρχιτεκτονικές: μία για τις χρόνο-κρίσιμες υδρόβιες εφαρμογές εξερεύνησης και άλλη μία για τις μακροπρόθεσμες μη-χρόνο-κρίσιμες υδρόβιες εφαρμογές ελέγχου. Επίσης, σε αυτό το άρθρο υιοθετούμε μια από επάνω προς τα κάτω προσέγγιση για να ερευνήσουμε τις ερευνητικές προκλήσεις στο κινητό σχέδιο UWSN. Κατά μήκος της βαλμένης σε στρώσεις λίστας πρωτοκόλλου, πηγαίνουμε κατά προσέγγιση κάτω από το κορυφαίο στρώμα εφαρμογής στο κατώτατο φυσικό στρώμα. Το συμπέρασμα είναι ότι η ανάπτυξη εξελικτικού κινητού UWSN είναι μια πρόκληση που πρέπει να απαντηθεί από τις διεπιστημονικές προσπάθειες των ακουστικών επικοινωνιών, της επεξεργασίας σήματος και του κινητού ακουστικού σχεδίου πρωτοκόλλου δικτύων.

## 1.ABSTRACT

Large-scale mobile Underwater Wireless Sensor Network (UWSN) is a novel networking paradigm to explore aqueous environments. However, the characteristics of mobile UWSNs, such as low communication bandwidth, large propagation delay, floating node mobility and high error probability are significantly different from ground-based wireless sensor networks. In this article, next we will first review the characteristics of acoustic communications and some related work on ground-based wireless sensor networks and underwater acoustic networks, and identify the distinct features of mobile UWSNs. Then, we propose two network architectures: one for short-term time-critical aquatic exploration applications, and the other for long-term non-time-critical aquatic monitoring applications. In particular, in this article we adopt a top-down approach to explore the research challenges in mobile UWSN design. Along the layered protocol stack, we roughly go down from the top application layer to the bottom physical layer. The conclusion is that building scalable mobile UWSNs is a challenge that must be answered by inter-disciplinary efforts of acoustic communications, signal processing and mobile acoustic network protocol design.

## 2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η γη είναι ένας πλανήτης ύδατος. Η κατά ένα μεγάλο μέρος ανεξερεύνητη απεραντοσύνη του ωκεανού, που καλύπτει τα δύο τρίτα της επιφάνειας της γης, έχει συναρπάσει τους ανθρώπους για μεγάλο χρονικό διάστημα. Πρόσφατα, έχει υπάρξει ένα αυξανόμενο ενδιαφέρον για τον έλεγχο των υδάτινων περιβαλλόντων (συμπεριλαμβανομένων των ωκεανών, ποταμών, λιμνών και δεξαμενών, κ.λπ.) για επιστημονική εξερεύνηση, εμπορική εκμετάλλευση και προστασία από κάθε είδους επίθεση που δέχεται στην εποχή που ζούμε. Το ιδανικό όχημα για αυτόν τον τύπο εκτενούς ελέγχου είναι ένα δικτυωμένο υποβρύχιο ασύρματο διανεμημένο σύστημα αισθητήρων, το υποβρύχιο ασύρματο δίκτυο αισθητήρων (UWSN). Ένα εξελικτικό UWSN παρέχει μια ελπιδοφόρο λύση για να ερευνηθεί αποτελεσματικά και να παρατηρηθεί τα υδάτινα περιβάλλοντα που λειτουργούν κάτω από τους ακόλουθους περιορισμούς. Οι περιορισμοί αυτοί είναι η τηλεκατευθυνόμενη υποβρύχια εξερεύνηση κάτω από την υψηλή πίεση ύδατος, τις απρόβλεπτες υποβρύχιες δραστηριότητες και το απέραντο μέγεθος της περιοχής ύδατος, η εντοπισμένη και ακριβής απόκτηση γνώσης, η υποβρύχια δικτύωση Tetherless, η οποία επιτρέπει την περιορισμένη επικοινωνία μεταξύ ενός υποβρύχιου τόπου συναντήσεως και της επίγειας υποδομής και τέλος ο υποβρύχιος έλεγχος μεγάλης κλίμακας.

Με την ανάπτυξη των εξελικτικών ασύρματων δικτύων αισθητήρων σε τρισδιάστατο υποβρύχιο διάστημα, κάθε υποβρύχιος αισθητήρας μπορεί να ελέγξει και να ανιχνεύσει τα περιβαλλοντικά γεγονότα τοπικά. Αυτά μπορούν να ολοκληρωθούν με τους σταθερούς αισθητήρες θέσης. Εντούτοις, τα υδάτινα συστήματα είναι επίσης δυναμικά και οι διαδικασίες εμφανίζονται μέσα στη μάζα ύδατος όπως αυτά κινούνται και διασκορπίζονται μέσα στο περιβάλλον. Επομένως ένα κινητό και δυναμικό σύστημα παρατήρησης είναι βέλτιστο, και αναφέρουμε το UMSN με τους κινητούς αισθητήρες ως κινητό UWSN.

Σε ένα κινητό UWSN, η κινητικότητα αισθητήρων μπορεί να φέρει δύο σημαντικά οφέλη: (1) οι κινητοί αισθητήρες, που εγγέονται στο ρεύμα σε σχετικά μεγάλο αριθμό, μπορούν να βοηθήσουν ακολουθώντας τις αλλαγές στη μάζα ύδατος και κατά συνέπεια να παρέχουν σε διάστημα και χρόνο την περιβαλλοντική δειγματοληψία. Η δειγματοληψία αυτή απαιτείται από πολλές υδρόβιες μελέτες των συστημάτων, όπως ο έλεγχος εκβολών [D. A. Jay, W. R. Geyer, R. J. Uncles, J. Vallino, J. Largier, and W. R. Boynton.2007]. Η εναλλακτική λύση είναι να δεθούν οι αισθητήρες στις βάρκες ή στα καλώδια και να πραγματοποιηθεί ένας μεγάλος αριθμός επαναλαμβανόμενων πειραμάτων. Αυτή η τελευταία προσέγγιση θα έπαιρνε πολύ περισσότερο χρόνο και θα κόστιζε ενδεχομένως. (2) Οι επιπλέοντες αισθητήρες μπορούν να βοηθήσουν, να διαμορφώσουν τη δυναμική κάλυψη ελέγχου και να αυξήσουν την ικανότητα επαναχρησιμοποίησης συστημάτων. Στην πραγματικότητα, μέσω μιας συσκευής «κύστεων» κάποια μπορεί δυναμικά να ελέγξει το βάθος της επέκτασης αισθητήρων και να ξαναέρθει στην επιφάνεια για την αποκατάσταση δύναμης όταν η μπαταρία είναι χαμηλή ή η αποστολή τελειώνει. Στις παραδοσιακές υδρόβιες εφαρμογές ελέγχου ή επιτήρησης, οι αισθητήρες καθορίζονται συνήθως στον πυθμένα θάλασσας ή συνδέονται με τους στυλοβάτες ή τους σημαντήρες επιφάνειας, και οι αισθητήρες με την υπολογιστική δύναμη είναι συνήθως μεγάλου μεγέθους. Κατά συνέπεια, η αντικατάσταση αισθητήρων και το κόστος

αποκατάστασης είναι πολύ υψηλό, όπως επίσης τα αποτελέσματα στη χαμηλή ικανότητα επαναχρησιμοποίησης συστημάτων.

Συνοψίζοντας , το αυτό-οργανωτικό δίκτυο των κινητών αισθητήρων παρέχει τα καλύτερα στηρίγματα υπό την έννοια της παρακολούθησης, της επιτήρησης, του σχεδιασμού, του υποβρύχιου έλεγχου και την ανοχή ελαττωμάτων. Ως εκ τούτου, είμαστε εξοπλισμένοι με μια καλύτερη τεχνολογία αντίληψης και επιτήρησης για να αποκτήσουμε την ακριβή γνώση για τους ανεξερεύνητους υποβρύχιους τόπους.

Το κινητό UWSN είναι μια νέα τεχνική. Έναντι των επίγειων δικτύων αισθητήρων, το κινητό UWSN πρέπει να χρησιμοποιήσει τις ακουστικές επικοινωνίες, δεδομένου ότι το ραδιόφωνο δεν λειτουργεί καλά στα υποβρύχια περιβάλλοντα. Λόγω των μοναδικών χαρακτηριστικών γνωρισμάτων της μεγάλης λανθάνουσας κατάστασης, του χαμηλού εύρους ζώνης και του υψηλού ποσοστού λάθους, τα υποβρύχια ακουστικά κανάλια φέρνουν πολλές προκλήσεις στο σχέδιο πρωτοκόλλου. Επιπλέον, σε κινητά UWSNs, η πλειοψηφία των υποβρύχιων κόμβων αισθητήρων είναι κινητά λόγω των ρευμάτων ύδατος. Αυτή η κινητικότητα κόμβων είναι ένα άλλο κρίσιμο ζήτημα που εξετάζει στο σχέδιο συστημάτων. Επιπλέον, τα κινητά UWSNs είναι πολύ διαφορετικά από τα υπάρχοντα μικρής κλίμακας υποβρύχια ακουστικά δίκτυα (UANs), το οποίο οφείλεται στη μεγάλη κλίμακα και την πυκνή επέκταση αισθητήρων τους. Αντίστοιχα, μερικοί νέοι στόχοι όπως ο εντοπισμός και η πολλαπλάσια πρόσβαση απαιτούνται σε κινητά UWSNs.

### **3. ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΚΑΙ ΣΧΕΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ.**

#### **3.1 Υποβρύχια ακουστικά κανάλια.**

Τα υποβρύχια ακουστικά κανάλια είναι μεταβλητά στο χώρο λόγω της φύσης των μέσων και σωματικών ιδιοτήτων μετάδοσης των περιβαλλόντων. Η ταχύτητα διάδοσης σημάτων στο υποβρύχιο ακουστικό κανάλι είναι περίπου  $1.5 \times 10^3$  m/sec, η οποία είναι πέντε φορές χαμηλότερη από τη ραδιοταχύτητα διάδοσης ( $3 \times 10^8$  m/sec). Το διαθέσιμο εύρος ζώνης των υποβρύχιων ακουστικών καναλιών είναι περιορισμένο και εξαρτάται εντυπωσιακά και από τη σειρά και από τη συχνότητα μετάδοσης. Η ακουστική ζώνη κάτω από το νερό είναι περιορισμένη λόγω της απορρόφησης, τα περισσότερα ακουστικά συστήματα λειτουργούν κάτω από 30kHz. Σχεδόν καμία έρευνα και εμπορικό σύστημα δεν μπορούν να υπερβούν 40 km x kbps ως μέγιστο εφικτό σειρά x ποσοστό προϊόν[D. B. Kilfoyle and A. B. Baggeroer, January 2000]. Το εύρος ζώνης των υποβρύχιων ακουστικών καναλιών που λειτουργούν πέρα από διάφορα χιλιόμετρα είναι για διάφορες δεκάδες των kbps, ενώ τα περιορισμένου φάσματος συστήματα πέρα από διάφορες δεκάδες των μετρητών μπορούν να φθάσουν στις εκατοντάδες των kbps. Εκτός από αυτές τις έμφυτες ιδιότητες, τα υποβρύχια κανάλια ακουστικής επικοινωνίας επηρεάζονται από πολλούς παράγοντες όπως η απώλεια διαδρομών, ο θόρυβος, οι πολλαπλές διαδρομές και το φαινόμενο Doppler που διαδίδεται.

Εν ολίγοις, τα υποβρύχια ακουστικά κανάλια χαρακτηρίζονται από τη μεγάλη καθυστέρηση διάδοσης, το περιορισμένο διαθέσιμο εύρος ζώνης και την υψηλή πιθανότητα λάθους. Επιπλέον, το εύρος ζώνης των υποβρύχιων ακουστικών καναλιών καθορίζεται και από τη σειρά επικοινωνίας και από τη συχνότητα των ακουστικών σημάτων. Όσο μεγαλύτερη η σειρά επικοινωνίας, τόσο χαμηλότερο το εύρος ζώνης των υποβρύχιων ακουστικών καναλιών.

#### **3.2 Διακρίσεις μεταξύ κινητού UWSN και των δικτύων αισθητήρων βασισμένων στο έδαφος.**

Ένα κινητό UWSN είναι σημαντικά διαφορετικό από οποιοδήποτε επίγειο δίκτυο αισθητήρων σε σχέση με τις ακόλουθες πτυχές:

**Μέθοδος επικοινωνίας** .Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα δεν μπορούν να διαδώσουν πέρα από μια μεγάλη τηλεφωνική απόσταση στα υποβρύχια περιβάλλοντα. Επομένως, τα υποβρύχια δίκτυα αισθητήρων πρέπει να στηριχθούν σε άλλα φυσικά μέσα, όπως οι ακουστικοί ήχοι, για να διαβιβάσουν τα σήματα. Αντίθετα από τις ασύρματες συνδέσεις μεταξύ των επίγειων αισθητήρων, κάθε υποβρύχια ασύρματη σύνδεση χαρακτηρίζει την μεγάλη λανθάνουσα κατάσταση και το χαμηλό-εύρος ζώνης. Λόγω της ευδιάκριτης δυναμικής δικτύων, τα πρωτόκολλα επικοινωνίας που χρησιμοποιούνται στα επίγεια δίκτυα αισθητήρων μπορούν να μην είναι κατάλληλα στα υποβρύχια δίκτυα αισθητήρων. Ειδικά, το χαμηλό εύρος ζώνης και η μεγάλη λανθάνουσα κατάσταση οδηγούν συνήθως στη μακροχρόνια διπλή καθυστέρηση, η

οποία φέρνει τις μεγάλες προκλήσεις στον αξιόπιστο έλεγχο μεταφοράς στοιχείων και κυκλοφοριακής συμφόρησης. Η μεγάλη λανθάνουσα κατάσταση επίσης έχει σημαντικές επιπτώσεις στα πολλαπλάσια πρωτόκολλα πρόσβασης. Παραδοσιακές προσεγγίσεις τυχαίας προσπέλασης στην ασύρματη δύναμη δικτύων ραδιο-κύματα (RF) μπορεί να μην δουλεύουν αποτελεσματικά στα υποβρύχια σενάρια.

**Κινητικότητα κόμβων.** Οι περισσότεροι κόμβοι αισθητήρων στα επίγεια δίκτυα αισθητήρων είναι χαρακτηριστικά στατικοί, αν και είναι δυνατό να εφαρμοστούν οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ αυτών των στατικών κόμβων αισθητήρων και ενός ποσού ορίου κινητών κόμβων. Αντίθετα, η πλειοψηφία των υποβρύχιων κόμβων αισθητήρων, εκτός από μερικούς σταθερούς κόμβους που εξοπλίζονται στους επιφάνεια-ισόπεδους σημαντήρες, είναι με τη χαμηλή ή μέση κινητικότητα λόγω του ρεύματος ύδατος και άλλες υποβρύχιες δραστηριότητες. Από τις εμπειρικές παρατηρήσεις, τα υποβρύχια αντικείμενα μπορούν να κινηθούν με την ταχύτητα 2-3 κόμβων (ή 3-6 χιλιομέτρων ανά ώρα) σε μια χαρακτηριστική υποβρύχια συνθήκη [W. Broecker and T.-H. Peng, 1982]. Επομένως, εάν ένα πρωτόκολλο δικτύων που προτείνεται για τα επίγεια δίκτυα αισθητήρων δεν εξετάζει την κινητικότητα για την πλειοψηφία των κόμβων αισθητήρων, θα αποτύγχανε πιθανώς όταν κλωνοποιείται άμεσα για τις υδρόβιες εφαρμογές.

### 3.3. Τρέχοντα υποβρύχια συστήματα δικτύων και οι περιορισμοί τους.

Ένα εξελικτικό και κινητό δίκτυο αισθητήρων UnderwaterWireless (UWSN) είναι ένα σημαντικό βήμα προς τα εμπρός όσον αφορά τα υπάρχοντα μικρής κλίμακας υποβρύχια ακουστικά δίκτυα (UANs) [E. M. Sozer, M. Stojanovic, and J. G. Proakis, January 2000]. Οι σημαντικότερες διαφορές μεταξύ UANs και κινητού UWSNs βρίσκονται στις ακόλουθες διαστάσεις [J. G. Proakis, E. M. Sozer, J. A. Rice, and M. Stojanovic, November 2001]:

**Εξελιξιμότητα:** Ένα κινητό UWSN είναι ένα εξελικτικό δίκτυο αισθητήρων, το οποίο στηρίζεται στην εντοπισμένη αντίληψη και τη συντονισμένη δικτύωση μεταξύ των μεγάλων αριθμών χαμηλού κόστους αισθητήρων. Αντίθετα, ένα υπάρχον UAN είναι ένα μικρής κλίμακας δίκτυο που στηρίζεται στις στρατηγικές συλλογής στοιχείων όπως τη μακρινή τηλεμετρία ή να υποθέσει ότι η επικοινωνία είναι από σημείο σε σημείο. Στη μακρινή τηλεμετρία, το στοιχείο συλλέγεται μακρινά από τα μεγάλης ακτίνας σήματα. Έναντι της τοπικής αντίληψης, η ακρίβεια αυτής της μεθόδου επηρεάζεται έντονα από τις περιβαλλοντικές συνθήκες, και το κόστος αυτής της μεθόδου μπορεί να είναι αδικαιολόγητα υψηλό για να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις των μεγάλης ακρίβειας εφαρμογών. Σε UANs, όπου η από σημείο σε σημείο επικοινωνία υποτίθεται, οι κόμβοι αισθητήρων είναι συνήθως αραιά διανεμημένοι (σε διάφορα χιλιόμετρα), κατά συνέπεια καμία πολυπροσβάσιμη τεχνική δεν απαιτείται, ενώ σε κινητό UWSN, οι κόμβοι αισθητήρων επεκτείνονται πυκνά προκειμένου να επιτευχθεί η καλύτερη κάλυψη του χώρου, κατά συνέπεια ένα καλά σχεδιασμένο πολυπροσβάσιμο πρωτόκολλο είναι ένας τρόπος για να αποφύγει τη σύγκρουση και να βελτιώνει τη ρυθμοαπόδοση συστημάτων.

**Αυτό-οργάνωση:** Σε UANs, οι κόμβοι καθορίζονται συνήθως ενώ ένα κινητό UWSN είναι ένα αυτό-οργανωτικό δίκτυο. Οι υποβρύχιοι κόμβοι αισθητήρων μπορούν να ανακαταταξινομηθούν και να κινηθούν με τις υδάτινες διαδικασίες της μετατόπισης και της διασποράς. Μετά από τη μεταφορά από τα ρεύματα και τη διασπορά, οι αισθητήρες πρέπει να αναδιοργανώνονται ως δίκτυο προκειμένου να διατηρηθεί η επικοινωνία. Κατά συνέπεια, οι αισθητήρες πρέπει αυτόματα να ρυθμίσουν την πλευστότητά τους, που κινείται πάνω-κάτω βασισμένος στη μετρημένη πυκνότητα στοιχείων. Κατά αυτόν τον τρόπο, οι αισθητήρες είναι κινητοί προκειμένου να ακολουθηθούν τις αλλαγές στη μάζα ύδατος αντί να κάνουν τις παρατηρήσεις σε ένα σταθερό σημείο. Τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται σε UANs δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν άμεσα από κινητό UWSN για να χειριστούν τους αυτο-οργανωμένους αισθητήρες με τα αργά ποσοστά στοιχείων και τα υψηλά ποσοστά διασποράς.

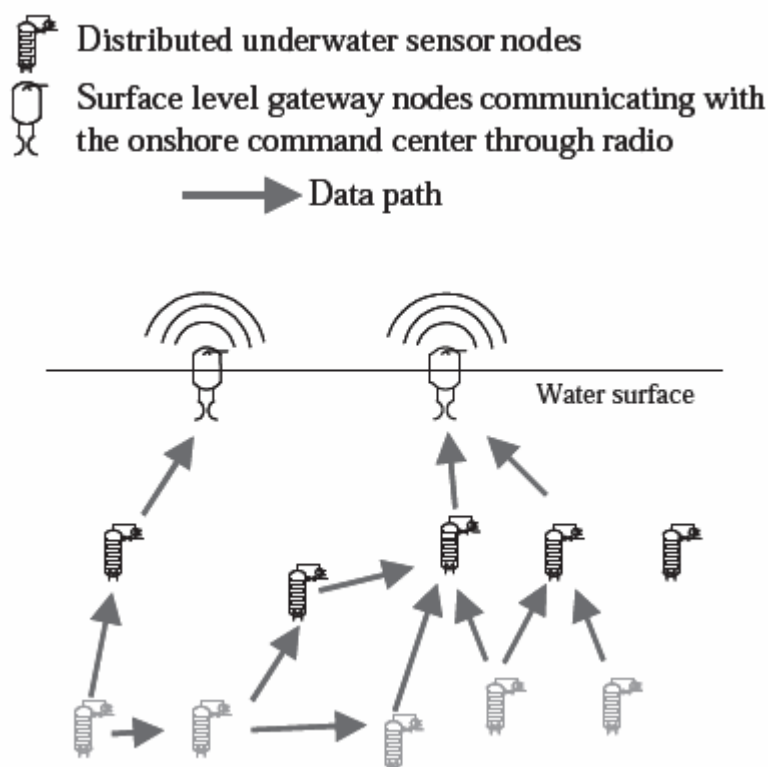
**Εντοπισμός:** Σε UANs, ο εντοπισμός αισθητήρων δεν επιδιώκεται δεδομένου ότι οι κόμβοι καθορίζονται συνήθως, είτε δεμένοι στον πυθμένα θάλασσας είτε συνδεδεμένοι με τους σημαντήρες με τα συστήματα GPS. Εντούτοις, σε κινητά UWSNs, ο εντοπισμός απαιτείται επειδή η πλειονοψηφία των αισθητήρων είναι κινητή με το ρεύμα. Ο καθορισμός των θέσεων των κινητών αισθητήρων στα υδρόβια περιβάλλοντα είναι πολύ προκλητικός. Αφ' ενός, πρέπει να αντιμετωπίσουμε τις περιορισμένες ικανότητες επικοινωνίας των ακουστικών καναλιών και από την άλλη πλευρά, πρέπει να θεωρήσουμε την ακρίβεια εντοπισμού, η οποία θα μπορούσε να επηρεαστεί σημαντικά από την κακή ακουστική ποιότητα καναλιών και την κινητικότητα κόμβων. Συμπερασματικά, οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται σε ένα υπάρχον UAN δεν μπορούν άμεσα να ισχύσουν για ένα κινητό UWSN.



#### 4. ΔΥΟ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΔΙΚΤΥΩΣΗΣ ΓΙΑ ΚΙΝΗΤΟ UWSNs.

Γενικά, ανάλογα με το μόνιμο, εναντίον της κατόπιν παραγγελίας τοποθέτησης των αισθητήρων, των χρονικών περιορισμών που επιβλήθηκαν από τις εφαρμογές και του όγκου του ανάκτησης των στοιχείων, θα μπορούσαμε κατά προσέγγιση να ταξινομήσουμε τα υδρόβια σενάρια εφαρμογής σε δύο ευρείες κατηγορίες: μακροπρόθεσμος μη-χρόνο-κρίσιμος υδρόβιος έλεγχος και βραχυπρόθεσμη χρόνο-κρίσιμη υδρόβια εξερεύνηση. Οι εφαρμογές στην πρώτη κατηγορία περιλαμβάνουν την ωκεανογραφία, τη θαλάσσια βιολογία, την ανίχνευση ρύπανσης, και τον έλεγχο τομέων πετρελαίου/αερίου. Τα παραδείγματα για τη δεύτερη κατηγορία είναι η υποβρύχια ανακάλυψη των φυσικών πόρων, η αποκατάσταση από καταστροφές τυφώνων, η ανθυποβρυχιακή στρατιωτική αποστολή και η ανακάλυψη χαμένων θησαυρών. Παρακάτω, παρουσιάζουμε μια κινητή αρχιτεκτονική UWSN για κάθε τύπο υδρόβιων εφαρμογών, και επισημαίνουμε τα βασικά ζητήματα σχεδίου σε κάθε μια από τις κινητές αρχιτεκτονικές UWSN.

##### 4.1 Κινητό UWSN για το μακροπρόθεσμο μη-χρόνο-κρίσιμο υδρόβιο έλεγχο.



**Εικόνα 1** . Μια απεικόνιση της κινητής αρχιτεκτονικής UWSN για τις μακροπρόθεσμες μη-χρόνο-κρίσιμες υδρόβιες εφαρμογές ελέγχου.

Η εικόνα 1 επεξηγεί την κινητή αρχιτεκτονική UWSN για τις μακροπρόθεσμες μη-χρόνο-κρίσιμες υδρόβιες εφαρμογές ελέγχου. Σε αυτόν τον τύπο δικτύου, οι κόμβοι αισθητήρων επεκτείνονται πυκνά για να καλύψουν έναν συνεχή έλεγχο χώρο. Τα στοιχεία συλλέγονται από τους τοπικούς αισθητήρες, σχετικούς με τους ενδιαμέσους αισθητήρες, και φθάνουν τελικά στους κόμβους επιφάνειας (που εξοπλίζονται και με τους ακουστικούς και διαποδιαμορφωτές RF (ραδιοσυχνότητα)), οι οποίοι μπορούν να μεταδώσουν τα στοιχεία στο χειρσαίο κέντρο εντολής από το ραδιόφωνο.

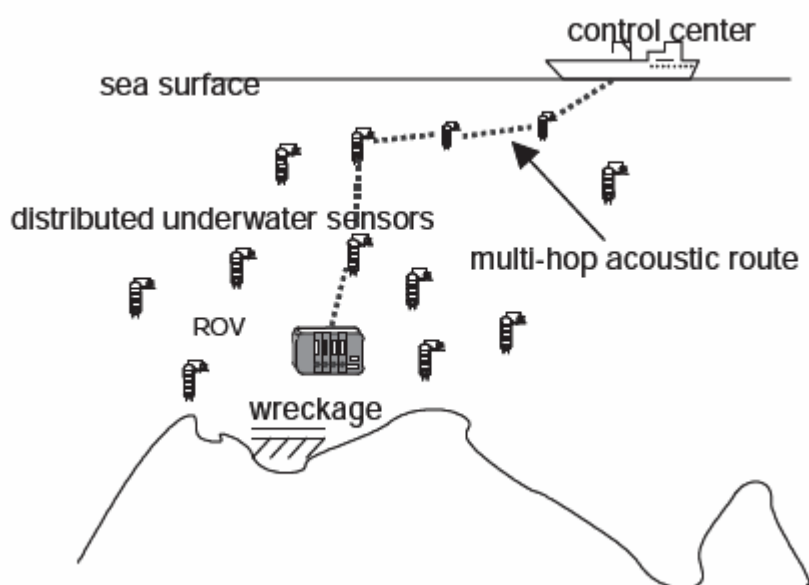
Δεδομένου ότι αυτός ο τύπος δικτύου σχεδιάζεται για το μακροπρόθεσμο στόχο ελέγχου, η αποταμίευση ενέργειας είναι ένα κεντρικό ζήτημα που εξετάζεται στο σχέδιο πρωτοκόλλου. Μεταξύ των τεσσάρων τύπων δραστηριοτήτων αισθητήρων (αντίληψη, διαβίβαση, λήψη, και υπολογισμός), η διαβίβαση είναι η ακριβότερη από άποψη κατανάλωση ενέργειας. Οι αποδοτικές τεχνικές για την πολυ-προσβασιμότητα και η αποστολή στοιχείων διαδραματίζουν έναν σημαντικό ρόλο στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας. Επιπλέον, εξαρτώμενοι από τη συχνότητα δειγματοληψίας στοιχείων, μπορεί να χρειαστούμε τους μηχανισμούς για να ελέγξουμε δυναμικά τον τρόπο αισθητήρων. Κατά αυτόν τον τρόπο, μπορούμε να σώσουμε περισσότερη ενέργεια. Περαιτέρω, όταν οι αισθητήρες ξεμένουν από μπαταρία, πρέπει να είναι σε θέση να φθάσουν μέχρι την επιφάνεια για την επαναφόρτιση.

Σαφώς, στο κινητό UWSN για το μακροπρόθεσμο υδρόβιο έλεγχο, ο εντοπισμός είναι αναγκαίος για να βρεθούν οι κινητοί αισθητήρες, δεδομένου ότι συνήθως μόνο το τοποθετημένο ενήμερο στοιχείο είναι χρήσιμο στον υδρόβιο έλεγχο. Επιπλέον, οι πληροφορίες θέσης αισθητήρων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν, για να βοηθήσουν τα στοιχεία που διαβιβάζονται από την δρομολόγηση, αποδεικνύονται αποδοτικότερες από την καθαρή πλημμύρα. Επίσης, η θέση μπορεί να βοηθήσει και να καθορίσει εάν οι αισθητήρες επιπλέουν στο πέραςμα του ορίου της ενδιαφερόμενης περιοχής. Εάν αυτό συμβαίνει, οι αισθητήρες πρέπει να έχουν μερικούς μηχανισμούς που επανεντοπίζουν ή που φθάνουν μέχρι την επιφάνεια ύδατος για χειροκίνητη ανακατανομή. Ο αυτό-επανεντοπισμός χρειάζεται προφανώς κάποιο έλεγχο πλευστότητας, ο οποίος καταναλώνει πολύ ενέργεια. Κατά συνέπεια, ένα πρακτικό κινητό σχέδιο συστημάτων UWSN πρέπει καλά να εξετάσει την ανταλλαγή μεταξύ της ενεργειακής αποδοτικότητας και του αυτό-αποδοτικότητας.

Ένα άλλο ενδιαφέρον πρόβλημα σε τέτοια κινητά συστήματα UWSN είναι η ενεργειακή συγκομιδή. Δεδομένου ότι οι κόμβοι αισθητήρων επεκτείνονται στα υποβρύχια περιβάλλοντα, τα οποία είναι πολύ διαφορετικά από τα επίγεια περιβάλλοντα, πολλές ερωτήσεις μπορούν να τεθούν: Υπάρχουν οποιαδήποτε νέα μέσα για να παραχθεί εύκολα η δύναμη; Θα μπορούσε η τρέχουσα μετακίνηση ύδατος να χρησιμοποιηθεί για την επαναφόρτιση μπαταριών; Είναι η υδροηλεκτρική γεννήτρια μικροϋπολογιστών δυνατή; Θα μπορούσε η ηλιακή ενέργεια στην επιφάνεια ύδατος να χρησιμοποιηθεί; Λόγω της νέας ηλικίας της υποβρύχιας ασύρματης περιοχής δικτύων αισθητήρων, αυτές οι ενδιαφέρουσες ερωτήσεις πρόκειται να απαντηθούν μελλοντικά.

## 4.2 Κινητό UWSN για τη βραχυπρόθεσμη χρόνο-κρίσιμη υδρόβια εξερεύνηση.

Στην εικόνα 2, παρουσιάζετε ένα σενάριο της κινητής αρχιτεκτονικής UWSN για τις βραχυπρόθεσμες χρόνο-κρίσιμες υδρόβιες εφαρμογές εξερεύνησης. Υποθέστε ότι σε συντρίμια σκαφών και ατυχήματα η ερευνητική επιτροπή θέλει να προσδιορίσει τον τόπο συναντήσεως στόχων. Οι υπάρχουσες προσεγγίσεις χρησιμοποιούν συνήθως τα δεμένα καλώδια σε τηλεχειριζόμενα οχήματα (ROV). Όταν το καλώδιο βλάπτεται το ROV είναι εκτός ελέγχου ή μη ανακτήσιμο. Αντίθετα, με την ανάπτυξη ενός κινητού υποβρύχιου ασύρματου δικτύου αισθητήρων, όπως φαίνεται στην εικόνα 2, η ερευνητική επιτροπή μπορεί να ελέγξει το ROV από μακριά. Το αυτό-επαναβεβαιώσιμο υποβρύχιο δίκτυο αισθητήρων ανέχεται περισσότερα ελαττώματα από την υπάρχουσα δεμένη λύση. Μετά από έρευνα, οι υποβρύχιοι αισθητήρες μπορούν να ανακτηθούν με την έκδοση μιας εντολής για να προκαλέσουν τις συσκευές air-bladder.



**Εικόνα 2.** Μια απεικόνιση της κινητής αρχιτεκτονικής UWSN για τις βραχυπρόθεσμες χρόνο-κρίσιμες υδρόβιες εφαρμογές εξερεύνησης

Στο στρατιωτικό πλαίσιο, η υποβρύχια ανίχνευση είναι ένα παράδειγμα των βραχυπρόθεσμων χρόνο-κρίσιμων υδρόβιων εφαρμογών εξερεύνησης στόχων. Παρά τις φευγαλέες τεχνολογίες κατάστασης προόδου, η ακουστική υπογραφή ενός σύγχρονου υποβρυχίου μπορεί μόνο να προσδιοριστεί μέσα σε έναν περιορισμένο φάσμα. Έναντι της τεχνολογίας τηλεπισκόπησης που έχει περιορίσει την ακρίβεια και την ευρωστία, το αυτοδιαμορφωμένο πλέγμα αισθητήρων μπορεί να προσδιορίσει το υποβρύχιο του εχθρού με την πολύ υψηλή πιθανότητα δεδομένου ότι κάθε μεμονωμένος αισθητήρας είναι ικανός της υποβρύχιας ανίχνευσης, και επιπλέον, η ανίχνευση μπορεί να ενισχυθεί από τις πολλαπλάσιες παρατηρήσεις. Μπορούμε ακόμα να χρησιμοποιήσουμε την εικόνα 2 για να απεικονίσει αυτό το σενάριο εφαρμογής, με το ROV που αντικαθίσταται με το φευγαλέο υποβρύχιο του εχθρού. Το αυτό-επαναβεβαιώσιμο ασύρματο δίκτυο αισθητήρων ανιχνεύει το υποβρύχιο του εχθρού και ειδοποιεί το κέντρο ελέγχου μέσω των ακουστικών διαδρομών πολυ-λυκίσκου.

Αυτός ο τύπος υδρόβιων εφαρμογών απαιτεί τα ποσοστά στοιχείων που κυμαίνονται από πολύ μικρά (π.χ., στείλετε έναν συναγερμό ότι ένα υποβρύχιο ανιχνεύθηκε) σε σχετικά υψηλά (π.χ., στείλετε τις εικόνες, ή ακόμα και ζήστε βίντεο του υποβρυχίου). Όπως περιορίζεται από την ακουστική φυσική και την τεχνολογία κωδικοποίησης, η υψηλή δικτύωση ποσοστού στοιχείων μπορεί μόνο να πραγματοποιηθεί στην υψηλής συχνότητας ακουστική ζώνη στην υποβρύχια επικοινωνία. Καταδείχθηκε από τις εμπειρικές εφαρμογές ότι το εύρος ζώνης συνδέσεων μπορεί να φθάσει μέχρι 0.5Mbps στην απόσταση 60 μέτρων [D. B. Kilfoyle and A. B. Baggeroer, January 2000]. Τέτοιο υψηλό ποσοστό στοιχείων είναι κατάλληλο να παραδώσει ακόμη και τα στοιχεία πολυμέσων.

Έναντι του πρώτου τύπου του κινητού UWSN για το μακροπρόθεσμο μη-χρόνο-κρίσιμο υδρόβιο έλεγχο, το κινητό UWSN για την χρόνο-κρίσιμη υδρόβια εξερεύνηση παρουσιάζει διαφορές στο σχέδιο πρωτοκόλλου. Εντούτοις, η αξιόπιστη, ελαστική, και ασφαλής μεταφορά στοιχείων είναι πάντα ένα επιθυμητό προηγμένο χαρακτηριστικό γνώρισμα και για τους δύο τύπους κινητών UWSNs.

## **5.ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΣΤΟ ΚΙΝΗΤΟ ΣΧΕΔΙΟ UWSN.**

Παρακάτω θα προσδιορίσουμε τις προκλήσεις σχεδίου κατά μήκος της λίστας πρωτοκόλλου δικτύων κατά τρόπο από πάνω προς τα κάτω. Θα δούμε ότι σε κάθε στρώμα υπάρχουν πολλά κρίσιμα προβλήματα που αναμένουν λύσεις. Για την ευκολία της παρουσίασης, σε αυτό το τμήμα, χρησιμοποιούμε «UWSN» για τη στενογραφία «κινήτου UWSN».

### **5.1 Ασφάλεια, ανθεκτικότητα και ευρωστία.**

Ένα αυτό-οργανωτικό δίκτυο αισθητήρων χρειάζεται περισσότερη προστασία από το σύστημα κρυπτογραφίας λόγω της περιορισμένης ενέργειας, του υπολογισμού, και των ικανοτήτων επικοινωνίας των κόμβων αισθητήρων. Ένα κρίσιμο ζήτημα ασφάλειας είναι να υπερασπίσει ενάντια στην αρνητική επίθεση υπηρεσιών, η οποία θα μπορούσε να είναι υπό μορφή (1) μείωσης του πόρου -συσκευών του κόμβου (ειδικά στραγγίζοντας μπαταρία με το να υποστεί τον πρόσθετο υπολογισμό και την επικοινωνία) και (2) αναστατώνοντας τη συνεργασία δικτύων (π.χ., δρομολόγηση, στοιχεία συνάθροιση, εντοπισμός, συγχρονισμός ρολογιών). Τέτοιες επιθέσεις μπορούν να αναστατώσουν ή ακόμα και να θέσουν εκτός λειτουργίας τον ανεξάρτητο δικτύων αισθητήρων της κρυπτογραφικής προστασίας.

Σε ένα UWSN, λόγω των μοναδικών χαρακτηριστικών των υποβρύχιων ακουστικών καναλιών, οι αρνητικές επιθέσεις υπηρεσιών είναι θανατηφόρες. Σε μια επίθεση (στην οποία ένας επιτιθέμενος καταγράφει ένα πακέτο σε μια θέση στο δίκτυο, ανοίγει τα στοιχεία σε μια άλλη θέση, και επαναλαμβάνει το πακέτο εκεί) και οι παραλλαγές του επιβάλλει τη μεγάλη απειλή στις υποβρύχιες ακουστικές επικοινωνίες. Πολλά αντίμετρα που έχουν προταθεί για να σταματήσουν την επίθεση στα ράδιο δίκτυα είναι άκαρπα σε UWSNs. [J. Kong, Z. Ji, W. Wang, M. Gerla, R. Bagrodia, and B. Bhargava, 2005], δείχνουμε ότι οι χαμηλού κόστους συνδέσεις οποιουδήποτε μήκους αναστατώνουν αποτελεσματικά τις υπηρεσίες επικοινωνίας σε UWSNs. Ο αντίπαλος μπορεί να εφαρμόσει περισσότερο από ή κοντύτερα από τη σειρά μετάδοσης ενός λυκίσκου. Επειδή πολλά υπάρχοντα αντίμετρα που προτείνονται για τα ράδιο δίκτυα μόνο εξασφαλίζουν ότι μια συσκευή αποστολής σημάτων και ο δέκτης της είναι φυσικά γείτονες ενός λυκίσκου, δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αντιμετωπίσουν τα υποβρύχια πιο σύντομα από την απόσταση ενός λυκίσκου. Επιπλέον, κανένα σήμα, συμπεριλαμβανομένων εκείνων από τον αντίπαλο, δεν μπορεί να διαδώσει γρηγορότερα από τα ράδιο σήματα στα επίγεια δίκτυα αισθητήρων. Πολλά υπάρχοντα αντίμετρα που προτείνονται για τα ράδιο δίκτυα εκμεταλλεύονται αυτό το γεγονός δεσμεύοντας την απόσταση μεταξύ ενός αποστολέα και του δέκτη του. Κατά συνέπεια, για να προστατεύσουν τις επιθέσεις σε UWSNs, νέες τεχνικές απαιτούνται.

## 5.2 Αξιόπιστη και σε Πραγματικό Χρόνο μεταφορά στοιχείων.

Η αξιόπιστη μεταφορά στοιχείων είναι κρίσιμης σπουδαιότητας. Υπάρχουν χαρακτηριστικά δύο προσεγγίσεις για την αξιόπιστη μεταφορά στοιχείων: end-to-end or hop-by-hop. Η πιο κοινή λύση στο στρώμα μεταφορών είναι TCP (πρωτόκολλο ελέγχου μετάδοσης), το οποίο είναι μια end-to-end προσέγγιση. Αναμένουμε την απόδοση TCP για να είμαστε προβληματισμένοι λόγω των υψηλών ποσοστών λάθους που υφίστανται στις συνδέσεις, οι οποίες αντιμετωπίστηκαν ήδη στα ασύρματα ράδιο δίκτυα. Κάτω από το ύδωρ, εντούτοις, έχουμε ένα πρόσθετο πρόβλημα: ο χρόνος διάδοσης είναι πολύ μεγαλύτερος από το χρόνο μετάδοσης, που θέτει το στάδιο για γνωστό μεγάλο εύρους ζώνης  $x$  καθυστέρηση πρόβλημα προϊόντων. Εξετάζοντας μια πορεία με 20 κόμβους που χωρίζονται κατά διαστήματα κατά 50m είναι με ποσοστό μεγέθους 500Kbps και πακέτων = 1000 μπιτ. Το βέλτιστο παράθυρο TCP είναι επομένως 2000 πακέτα. Η διαχείριση τέτοιων κατ' ασυνήθιστο τρόπο μεγάλων παραθύρων με τα αυστηρά ποσοστά λάθους συνδέσεων είναι μια σημαντική πρόκληση δεδομένου ότι το TCP είναι εκτός χρόνου και δεν θα ήταν σε θέση ποτέ να διατηρήσει το μέγιστο ποσοστό. Υπάρχουν διάφορες τεχνικές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να καταστήσουν την απόδοση TCP αποδοτικότερη. Εντούτοις, η απόδοση αυτών των παραλλαγών TCP σε UWSNs πρέπει ακόμα να ερευνηθεί.

Ένας άλλος τύπος προσέγγισης για την αξιόπιστη μεταφορά στοιχείων είναι hop-by-hop. Η προσέγγιση hop-by-hop ευνοείται στα ασύρματα και είναι επιρρεπής σε λάθη δίκτυα, και θεωρείται καταλληλότερη για τα δίκτυα αισθητήρων. Σε αυτό το πρωτόκολλο, ένας αποστολέας στέλνει το πακέτο στοιχείων στους άμεσους γείτονές του στο πολύ αργό ποσοστό. Όταν ο δέκτης ανιχνεύει μερικές απώλειες πακέτων, πρέπει να προσκομίσει τα χαμένα πακέτα γρήγορα. Στο hop-by-hop, τα πακέτα στοιχείων παραδίδονται τελικά στην πηγή στοιχείων γρήγορα. Σε PSPQ, ARQ (Automatic Repeat Request = αυτόματο αίτημα επανάληψης) χρησιμοποιείται για την επικοινωνία ανά λυκίσκου. Εντούτοις, λόγω της μακροχρόνιας καθυστέρησης διάδοσης των ακουστικών σημάτων, σε UWSNs, το ARQ θα προκαλούσε την πολύ χαμηλή χρησιμοποίηση καναλιών. Μια πιθανή λύση για το πρόβλημα είναι να ερευνηθούν τα σχέδια κωδικοποίησης εξάλειψης, τα οποία, αν και εισάγουν τα πρόσθετα γενικά έξοδα, μπορούν αποτελεσματικά να αποφύγουν την καθυστέρηση αναμετάδοσης. Η πρόκληση είναι να σχεδιαστεί ένα προσαρμοσμένο αποδοτικό σχέδιο κωδικοποίησης για UWSNs.

Όπως αναφέρεται νωρίτερα, η σε πραγματικό χρόνο μεταφορά στοιχείων επιδιώκεται για τις βραχυπρόθεσμες χρόνο-κρίσιμες υδρόβιες εφαρμογές εξερεύνησης. Για να παραχθούν χρονικά περιορισμένες υπηρεσίες είναι ακόμα ένα σκληρό ερευνητικό θέμα στην κοινότητα δικτύων, ακόμη και για το Διαδίκτυο. Στο Διαδίκτυο, το UDP (User Datagram Protocol = πρωτόκολλο διαγραμμάτων δεδομένων χρηστών) ευνοείται συνήθως του TCP για την σε πραγματικό χρόνο υπηρεσία δεδομένου ότι το UDP δεν στραγγαλίζει τις ροές στοιχείων και επιτρέπει στα στοιχεία να τα μεταφέρει όσο το δυνατόν γρηγορότερα. Εντούτοις, προκειμένου να παρασχεθεί η αξιόπιστη μεταφορά στοιχείων επίσης, το UDP κατά προσέγγιση προφανώς δεν εργάζεται. Στα επίγεια ειδικά δίκτυα και τα δίκτυα αισθητήρων, ο πλεονασμός πορειών αξιοποιείται συνήθως για να βελτιώσει την αξιοπιστία. Σε UWSNs, λόγω της υψηλής πιθανότητας λάθους των ακουστικών καναλιών, τα αποδοτικά σχέδια κωδικοποίησης εξάλειψης θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για να βοηθήσουν να επιτύχουν την υψηλή

αξιοπιστία και να μειώσουν συγχρόνως το χρόνο μεταφοράς στοιχείων με την καταστολή της αναμετάδοσης.

### **5.3 Έλεγχος κυκλοφοριακής συμφόρησης.**

Ο έλεγχος συμφόρησης είναι ένα σημαντικό ζήτημα στη μελέτη σε πολλούς τύπους δικτύων. Σε UWSNs, η υψηλή ακουστική καθυστέρηση διάδοσης καθιστά τον έλεγχο συμφόρησης δυσκολότερο. Στα επίγεια δίκτυα αισθητήρων, το πρόβλημα ελέγχου συμφόρησης ερευνάται λεπτομερώς σε CODA (Congestion Detection and Avoidance= ανίχνευση και αποφυγή συμφόρησης) [C.-Y. Wan, S. B. Eisenman, and A. T. Campbell, November 2003]. Σε CODA, υπάρχουν δύο μηχανισμοί για τον έλεγχο και την αποφυγή συμφόρησης: open-loop hop-by-hop backpressure and closed-loop multi-source regulation. Στο open-loop hop-by-hop backpressure τρόπο, ένας κόμβος μεταδίδει ραδιοφωνικά ένα backpressure μήνυμα μόλις ανιχνεύει τη συμφόρηση. Το backpressure μήνυμα θα διαδοθεί προς τα πάνω προς τους κόμβους πηγής. Σε ένα πυκνά επεκταμένο δίκτυο, το backpressure μήνυμα θα είναι πλέον πιθανό να φθάσει στην πηγή άμεσα. Στον πολλών πηγών κανονισμό κλειστών βρόγχων, η πηγή χρησιμοποιεί το ACKs.

Για UWSNs, αναμένουμε έναν συνδυασμό ανοικτού και κλειστού βρόχου να ισχύσει, δεδομένου ότι παρέχει έναν καλό συμβιβασμό μεταξύ της γρήγορης αντίδρασης (με ανοικτό) και του αποδοτικού κανονισμού σταθερού κράτους (με κλειστό). Εξετάζοντας την κακή ποιότητα των ακουστικών καναλιών, μια πτυχή που αξίζει την περαιτέρω έρευνα είναι η διάκριση μεταξύ της απώλειας λόγω της συμφόρησης και της απώλειας λόγω της εξωτερικής παρέμβασης. Τα περισσότερα σχέδια υποθέτουν ότι όλη η απώλεια είναι σχετική συμφόρηση. Όσο υψηλότερη η απώλεια, τόσο χαμηλότερο γίνεται το ποσοστό πηγής. Αυτό θα προκαλέσει τα προβλήματα στα υποβρύχια συστήματα όπου τα τυχαία λάθη και οι απώλειες μπορούν να είναι περισσότερα. Από τις λαμβανόμενες στατιστικές πακέτων και από άλλη τοπική μέτρηση, ο νεροχύτης στοιχείων μπορεί να είναι σε θέση να συμπεράνει την τυχαία απώλεια εναντίον της συμφόρησης και να διατηρήσει το ποσοστό (και να ενισχύσει ενδεχομένως την κωδικοποίηση καναλιών) εάν η απώλεια δεν έχει σχετική συμφόρηση.

### **5.4 Αποδοτική ακουστική δρομολόγηση πολυ-λुकίσκου.**

Όπως στον επίγειο αισθητήρα τα δίκτυα, η αποταμίευση ενέργειας είναι μια σημαντική ανησυχία σε UWSNs. Μια άλλη πρόκληση για τα στοιχεία που διαβιβάζουν σε UWSNs είναι να αντιμετωπιστεί η κινητικότητα κόμβων. Αυτή η απαίτηση κάνει τα περισσότερα υπάρχοντα αποδοτικά ενέργειας στοιχεία προς τα πρωτόκολλα ακατάλληλα για UWSNs. Υπάρχουν πολλά πρωτόκολλα δρομολόγησης που προτείνονται για τα επίγεια δίκτυα αισθητήρων. Σχεδιάζονται κυρίως για τα στάσιμα δίκτυα και υιοθετούν συνήθως την query flooding (πλημμύρα ερώτησης) ως ισχυρή μέθοδο για να ανακαλύψουν τις πορείες παράδοσης στοιχείων. Σε UWSNs, εντούτοις, οι περισσότεροι κόμβοι αισθητήρων είναι κινητοί, και οι «τοπολογίες δικτύων» αλλάζουν εντυπωσιακά ακόμη και με τις μικρές μετατοπίσεις. Κατά

συνέπεια, οι υπάρχοντες αλγόριθμοι δρομολόγησης που χρησιμοποιούν την query flooding που σχεδιάζεται για τα επίγεια δίκτυα αισθητήρων δεν είναι πλέον εφικτοί σε UWSNs.

Υπάρχουν επίσης πολλά πρωτόκολλα δρομολόγησης που προτείνονται για τα επίγεια κινητά ειδικά δίκτυα. Αυτά τα πρωτόκολλα εμπίπτουν γενικά σε δύο κατηγορίες: δυναμική δρομολόγηση και αντιδραστική δρομολόγηση. Στα δυναμικά ειδικά πρωτόκολλα δρομολόγησης, το κόστος της δυναμικής ανίχνευσης γειτόνων θα μπορούσε να είναι πολύ ακριβό λόγω της μεγάλης κλίμακας UWSNs. Αφ' ενός, στη δρομολόγηση απαίτησης, η λειτουργία δρομολόγησης προκαλείται από την απαίτηση επικοινωνίας στις πηγές. Στη φάση ανακάλυψης διαδρομών, η πηγή επιδιώκει να καθιερώσει μια διαδρομή προς τον προορισμό με την πλημμύρα ενός μηνύματος αιτήματος διαδρομών, το οποίο θα ήταν πολύ δαπανηρό στη μεγάλη κλίμακα UWSNs.

Χωρίς τη δυναμική ανίχνευση γειτόνων και με τη λιγότερη πλημμύρα, είναι μια μεγάλη πρόκληση για να εφοδιάσει την υπηρεσία παράδοσης πακέτων πολυ-λुकίσκου σε UWSNs με την απαίτηση κινητικότητας κόμβων. Μια πιθανή κατεύθυνση είναι να χρησιμοποιηθούν οι πληροφορίες θέσης για να κάνει την γεοδρομολόγηση, η οποία αποδεικνύεται πολύ αποτελεσματική στο χειρισμό της κινητικότητας.

## **5.5 Διανεμημένος εντοπισμός και χρονικός συγχρονισμός.**

Στις υδρόβιες εφαρμογές, είναι κρίσιμο για κάθε υποβρύχιο κόμβο να ξέρει την τρέχουσα θέση του και το συγχρονισμένο χρόνο όσον αφορά άλλους κόμβους συντονισμού. Λόγω της γρήγορης απορρόφησης του υψηλής συχνότητας ράδιο κύματος, το Global Positioning System (GPS) δεν λειτουργεί καλά κάτω από το νερό. Μέχρι τώρα, από ό, τι ξέρουμε καλύτερα, σ' ένα χαμηλού κόστους προσδιορισμός θέσης και ένα σύστημα χρόνο-συγχρονισμού, με την υψηλή ακρίβεια όπως το GPS για τον επίγειο αισθητήρα, οι κόμβοι δεν είναι ακόμα διαθέσιμοι στους υποβρύχιους κόμβους αισθητήρων. Κατά συνέπεια, αναμένεται ότι τα UWSNs πρέπει να στηριχτούν στο διανεμημένο GPS -ελεύθερο σχέδιο εντοπισμού ή χρονικού συγχρονισμού, το οποίο αναφέρεται στο συνεταιριστικό εντοπισμό ή το χρονικό συγχρονισμό. Για να πραγματοποιήσει αυτόν τον τύπο προσεγγίσεων σε ένα δίκτυο με την κινητικότητα κόμβων, το βασικό πρόβλημα είναι η διαδικασία μέτρησης σειράς και κατεύθυνσης. Η κοινή GPS - ελεύθερη προσέγγιση που χρησιμοποιείται σε πολλά επίγεια δίκτυα αισθητήρων της μέτρησης της Time-Difference-of-Arrival (TDoA) μεταξύ ενός RF και ενός ακουστικού/σήματος υπερήχου δεν είναι πλέον εφικτή όπως το συνήθως διαθέσιμο σήμα RF αποτυγχάνει κάτω από το ύδωρ. Ο δέκτης-σήμα-δύναμη-δείκτης (receiver-signal-strength-index -RSSI) είναι τρωτός στις ακουστικές παρεμβάσεις όπως το θόρυβο παλίρροιας κοντινών ακτών, τη κοντά στην επιφάνεια συχνότητα θορύβου σκαφών πολλαπλών διαδρομών, και τη συχνότητα Doppler που διαδίδονται. Τα συστήματα Angle-of-Arrival (AoA) απαιτούν τις κατευθυντικές συσκευές μετάδοσης/υποδοχής, οι οποίες θα μπορούσαν να εξερευνηθούν, αν και αναλαμβάνουν συνήθως το μη τετριμμένο πρόσθετο κόστος.



Οι ελπιδοφόρες προσεγγίσεις μπορούν να περιλάβουν μόνο ακουστικά τις προσεγγίσεις Time-of-Arrival (ToA) (π.χ. μετρώντας το μετ' επιστροφής χρόνο ενεργά να αναπηδήσει το ακουστικό σήμα) καθώς επίσης και την ανάπτυξη πολλών επιφάνεια-ισόπεδων ράδιο σημείων αγκύρων (μέσω του GPS για τις στιγμιαίες πληροφορίες θέσης και χρόνου). Επιπλέον, το υποβρύχιο περιβάλλον με την κίνηση του ύδατος, και της παραλλαγής στη θερμοκρασία και την πίεση έχει επιπτώσεις επίσης στην ταχύτητα του ακουστικού σήματος. Η περίπλοκη επεξεργασία σήματος θα απαιτηθεί για να αντισταθμίσει αυτές τις πηγές λαθών λόγω το ίδιο του μέσου ύδατος.

## **5.6 Ακουστικό φυσικό στρώμα.**

Έναντι του αντίστοιχου στα ράδιο κανάλια, οι επικοινωνίες πέρα από τα υποβρύχια ακουστικά κανάλια είναι σοβαρά περιορισμένες στην απόδοση. Αυτό είναι λόγω του έμφυτου περιορισμού εύρους ζώνης των ακουστικών συνδέσεων, της μεγάλης καθυστέρησης που διαδίδονται και της υψηλής χρόνο-μεταβλητότητας λόγω της αργής υγιούς διάδοσης στο υποβρύχιο περιβάλλον. Κατά συνέπεια, αντίθετα από την ταχεία ανάπτυξη των ασύρματων δικτύων πέρα από τα ράδιο κανάλια, στις τελευταίες δύο δεκαετίες υπάρχουν μόνο δύο θεμελιώδεις πρόοδοι στις υποβρύχιες ακουστικές επικοινωνίες. Μία είναι η εισαγωγή των ψηφιακών τεχνικών επικοινωνίας (μη συνεκτική διαμόρφωση μετατόπισης συχνότητας -non-coherent frequency shift keying (FSK)) στην δεκαετία του '80, και η άλλη είναι η εφαρμογή των συνεπών διαμορφώσεων, συμπεριλαμβανομένης της διαμόρφωσης μετατόπισης φάσης (phase shift keying (PSK)) και της διαμόρφωσης εύρους τετραγωνισμού (quadrature amplitude modulation (QAM)) στην δεκαετία του '90. Μετά από την επέκταση των συνεπών συστημάτων, η βελτίωση απόδοσης είναι μέτρια, και συνήθως μόνο στην αύξηση δεκτών. Οι ουσιαστικές καινοτομίες που απαιτούνται στο φυσικό στρώμα είναι η απόδοση συστημάτων που προσφέρουν το σημαντικά υψηλότερο ποσοστό στοιχείων για τα υποβρύχια δίκτυα επικοινωνίας [M. Stojanovic, March 2005.].

## **6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.**

Σε αυτό το κείμενο, δίνουμε προσοχή στην ανάπτυξη ενός εξελικτικού και διανεμημένου κινητού UWSNs για τις υδρόβιες εφαρμογές. Προσδιορίζουμε τα μοναδικά χαρακτηριστικά κινητού UWSNs, και παρουσιάζουμε δύο δικτυακές αρχιτεκτονικές για τους διαφορετικούς τύπους υδρόβιων εφαρμογών, που προσδιορίζουν τις βασικές απαιτήσεις τους στο σχέδιο πρωτοκόλλου. Αναλύουμε περαιτέρω τις προκλήσεις σχεδίου της εφαρμογής των αναγκαίων υποβρύχιων δικτύων. Μετά από μια από επάνω προς τα κάτω προσέγγιση, παρουσιάζουμε τις προκλήσεις σχεδίου κάθε στρώματος στη λίστα πρωτοκόλλου δικτύων. Η μελέτη μας δείχνει ότι ο σχεδιασμός κινητού UWSNs είναι μια διεπιστημονική πρόκληση που απαιτεί την ολοκλήρωση των ακουστικών επικοινωνιών, της επεξεργασίας σήματος και του κινητού σχεδίου δικτύων.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### ΠΗΓΕΣ ΑΠΟ ΑΡΘΡΑ

- [1] I. F. Akyildiz, D. Pompili, and T. Melodia. Challenges for Efficient Communication in Underwater Acoustic Sensor Networks. *ACM SIGBED Review*, Vol. 1(1), July 2004.
- [2] W. Broecker and T.-H. Peng. Tracers in the sea. *Eldigio Press, Lamont Doherty Earth Observatory of Columbia University, Palisades, NY*, page 689, 1982.
- [3] K. Fall. A Delay Tolerant Networking Architecture for Challenged Internets. In *ACM SIGCOMM 2003*, August 2003.
- [4] J. Heidemann, Y. Li, A. Syed, J. Wills, and W. Ye. Underwater sensor networking: Research challenges and potential applications. *USC/ISI Technical Report ISI-TR-2005-603*, 2005.
- [5] D. A. Jay, W. R. Geyer, R. J. Uncles, J. Vallino, J. Largier, and W. R. Boynton. A review of recent developments in estuarine scalar flux estimation. *Estuaries*, 20(2):262–280, 1997.
- [6] D. B. Kilfoyle and A. B. Baggeroer. The State of the Art in Underwater Acoustic Telemetry. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, OE-25(5):4–27, January 2000.
- [7] J. Kong, Z. Ji, W. Wang, M. Gerla, R. Bagrodia, and B. Bhargava. Low-cost Attacks against Packet Delivery, Localization and Synchronization Services in Under-Water Sensor Networks. In *Fourth ACM Workshop on Wireless Security (WiSe)*, 2005.
- [8] J. G. Proakis, E. M. Sozer, J. A. Rice, and M. Stojanovic. ShallowWater Acoustic Networks. *IEEE Communications Magazine*, pages 114–119, November 2001.

[9] E. M. Sozer, M. Stojanovic, and J. G. Proakis. Undersea Acoustic Networks. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, OE-25(1):72–83, January 2000.

[10] M. Stojanovic. Retrofocusing techniques for high rate acoustic communications. *Journal of the Acoustical Society of America*, 117(1):1173–1185, March 2005.

[11] C.-Y. Wan, A. T. Campbell, and L. Krishnamurthy. PSFQ: A Reliable Transport Protocol for Wireless Sensor Networks. In *WSNA'02*, Atlanta, Georgia, USA, September 2002.

[12] C.-Y. Wan, S. B. Eisenman, and A. T. Campbell. CODA: Congestion Detection and Avoidance in Sensor Networks. In *ACM SenSys'03*, Los Angeles, California, USA, November 2003.

## ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ ΑΠΟ ΟΠΟΥ ΑΝΤΛΗΘΗΚΑΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ

[1] <http://www.citeulike.org/user/ilwagoner/article/2358422>

[2] [http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs\\_all.jsp?tp=&arnumber=4509648&isnumber=4509595](http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?tp=&arnumber=4509648&isnumber=4509595)

[3] <http://www2.computer.org/portal/web/csdl/doi/10.1109/MNET.2006.1637927>

[4] <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.119.6213>

[5] <http://www.zdnet.com.au/whitepaper/0,2000063328,22470722p-16001403q,00.htm>

[6] [http://www.kordi.re.kr/uploaded\\_data/project/2007/2007\\_5\\_3.pdf](http://www.kordi.re.kr/uploaded_data/project/2007/2007_5_3.pdf)