Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής τ.ε.
Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Δυτικής Ελλάδας

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Θέμα: Μελέτη ενός υποθαλάσσιου δικτύου αισθητήρων (UWSN) τοποθετημένων σε ρηχές περιοχές.

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΧΡΗΣΤΟΣ ΑΝΤΙΟΧΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΗΛΙΑΣ ΑΣΑΡΙΔΗΣ

ΑΝΤΙΡΡΙΟ 2018

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή

Αντίρριο, / /

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

1. Ονοματεπώνυμο, Υπογραφή
2. Ονοματεπώνυμο, Υπογραφή
3. Ονοματεπώνυμο, Υπογραφή

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο χώρος των ασύρματων δικτύων έχει αναπτυχθεί σε πολύ μεγάλο βαθμό τα τελευταία χρόνια και έχει καταστεί ένας από τους πιο ταχέως αναπτυσσόμενους τομείς της βιομηχανίας των τηλεπικοινωνιών. Ασύρματα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα όπως τα κυψελικά (cellular), τα ασύρματα και δορυφορικά τηλέφωνα, τα ασύρματα τοπικά δίκτυα (Wireless Local Area Networks, WLAN), αλλά και τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (Wireless Sensors Networks, WSN), χρησιμοποιούνται ευρέως και έχουν γίνει απαραίτητο εργαλείο στη καθημερινή ζωή πολλών ανθρώπων. Αυτή η δημοτικότητα των ασύρματων δικτύων οφείλεται στα πλεονεκτήματα τους έναντι των ενσύρματων. Το πιο σημαντικό από αυτά είναι η έννοια των <<3A>>: επικοινωνία οπουδήποτε (Anywhere), οποτεδήποτε (Anytime), και με οποιονδήποτε (Anyone).

Το όραμα των ασύρματων επικοινωνιών να υποστηρίξουν ανταλλαγή πληροφορίας μεταξύ ανθρώπων ή συσκευών είναι στο επίκεντρο των τηλεπικοινωνιών γενικότερα για τις επόμενες δεκαετίες και πολλά βήματα ήδη έχουν γίνει προς αυτήν την κατεύθυνση.

Τα δίκτυα αισθητήρων (WSNs) έχουν προσελκύσει έντονο ερευνητικό ενδιαφέρον τα τελευταία χρόνια με αποτέλεσμα την πραγματοποίηση πολλών σχετικών μελετών που πραγματεύονται ποικίλα θέματα (π.χ. ασφάλεια, αλγόριθμοι δρομολόγησης , τρόπο εξοικονόμησης ενέργειας των κόμβων, εύρεση κατάλληλων πρωτοκόλλων μεταφοράς δεδομένων κ.λπ.). Παρόλα αυτά πολλοί τομείς παραμένουν ακόμη ανοιχτοί για έρευνα. Αυτό οφείλεται κυρίως στην ενδογενή αδόμητη αρχιτεκτονική των WSNs που φέρνει στο προσκήνιο πλήθος ιδιαιτεροτήτων σε σύγκριση με άλλες δικτυακές τεχνολογίες.

Η χρήση δικτύων αισθητήρων χρησιμοποιείται εκτενώς σε εφαρμογές στρατιωτικές, περιβαλλοντικές, υγείας και άλλες διάφορες εμπορικές εφαρμογές (ασφάλεια, βιομηχανία κ.λπ.). Η χρήση των WSNs δεν περιορίζεται φυσικά μόνο στους παραπάνω τομείς αλλά επεκτείνεται σε ένα ευρύτερο φάσμα δραστηριοτήτων της σύγχρονης ζωής.

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία θα μελετήσουμε ένα υποθαλάσσιο δίκτυο αισθητήρων. Πιο συγκεκριμένα θα δοθεί έμφαση στην εξασθένιση που αντιμετωπίζει ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα (ΗΜ) κατά τη διάδοση του στο θαλασσινό νερό.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Αν και έχει ιστορία μεγαλύτερη από έναν αιώνα, η ασύρματη μετάδοση έχει εφαρμοστεί ευρέως στο πεδίο των τηλεπικοινωνιακών συστημάτων τα τελευταία 15 με 20 χρόνια. Ο τομέας των ασύρματων επικοινωνιακών συστημάτων αποτελεί σήμερα έναν από τους ταχύτερα αναπτυσσόμενους τομείς της βιομηχανίας των τηλεπικοινωνιών. Τα ασύρματα επικοινωνιακά συστήματα, όπως τα κυψελικά (cellular), τα ασύρματα (cordless) και τα δορυφορικά τηλέφωνα, αλλά και τα ασύρματα τοπικά δίκτυα (WLAN), χρησιμοποιούνται ευρέως και αποτελούν χρήσιμο εργαλείο στην προσωπική και επαγγελματική ζωή πολλών ανθρώπων. Ένα σημαντικό παράδειγμα της δυναμικής της αγοράς των ασύρματων επικοινωνιακών συστημάτων αποτελεί η εκτίμηση ότι στα προσεχή χρόνια το πλήθος των συνδρομητών ασύρματων δικτύων θα υπερβεί το αντίστοιχο των συνδρομητών ενσύρματων δικτύων. Η εξάπλωση αυτή των ασύρματων συστημάτων οφείλεται σε διάφορα πλεονεκτήματα, με πιο σημαντικά την κινητικότητα (mobility) και το χαμηλό κόστος. [Ασύρματα Δίκτυα]

Οι πρόσφατες τεχνολογικές εξελίξεις έχουν τροφοδοτήσει την έρευνα στους τομείς των δικτύων αισθητήρων (Wireless Sensors Networks, WSN) που έχουν εφαρμογές σε στρατιωτικές, περιβαλλοντικές, ιατρικές, και εμπορικές εφαρμογές. Από τις προοπτικές εφαρμογών, τα ασύρματα δίκτυα είναι χρήσιμα για καταστάσεις που απαιτούν γρήγορη ή χωρίς υποδομή ανάπτυξη τοπικού δικτύου, όπως αντίδραση σε κρίσεις, συναντήσεις συνεδρίων, στρατιωτικές εφαρμογές και ενδεχομένως οικιακά και δίκτυα γραφείων. Για παράδειγμα, ενδυνάμωση του ιατρικού προσωπικού και του κρατικού μηχανισμού να συντονίζουν καλύτερα τις προσπάθειές τους κατά τη διάρκεια μεγάλων καταστάσεων έκτακτης ανάγκης που θέτουν εκτός λειτουργίας τα δίκτυα υποδομών, όπως οι επιθέσεις της 11ης Σεπτεμβρίου ή το ‘’blackout’’ του 2003 στη βορειοανατολική περιοχή των Ηνωμένων Πολιτειών. [Wireless Ad Hoc and Sensor Networks]

Τα τελευταία χρόνια οι υποβρύχιες επικοινωνίες έχουν προσελκύσει το ενδιαφέρον της επιστημονικής, της επιχειρηματικής κοινότητας καθώς και των κρατικών υπηρεσιών. Οι επιστήμονες πλέον μπορούν να έχουν ασφαλή δεδομένα για μετεωρολογικές έρευνες, ωκεανογραφικές μελέτες, εξερεύνηση του βυθού και συλλογή δεδομένων από αφιλόξενο περιβάλλον που η φυσική παρουσία είναι δύσκολη ή και αδύνατη. Στον επιχειρηματικό τομέα η εισαγωγή των δικτύων αισθητήρων κάνει τον έλεγχο και την ασφάλεια ευκολότερη. Χαρακτηριστικό παράδειγμα χρήσης UWSN είναι στις πλατφόρμες εξόρυξης. Η τοποθέτηση τους παρέχει άμεση πληροφόρηση για τις συνθήκες που επικρατούν στον βυθό και έλεγχο για τυχόν διαρροές πετρελαίου/αερίου, παρέχοντας έτσι ασφαλές περιβάλλον εργασίας. Τέλος οι κρατικοί φορείς θα έχουν πια την δυνατότητα να έχουν κεντρικό έλεγχο και πληροφόρηση των θαλάσσιων ακτών, του υδροφόρου ορίζοντα (λίμνες, ποτάμια), για ό,τι συμβαίνει σε αυτά. Εφικτός θα είναι επίσης ο εντοπισμός, η παρακολούθηση και η χρήση υποβρυχίων αποστολών σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης και διασώσεις.

Γνωρίζοντας ότι το νερό είναι χειρότερο μέσο μετάδοσης από τον αέρα, ένα UWSN θα χαρακτηρίζεται από μεγάλη καθυστέρηση διάδοσης, περιορισμένη χωρητικότητα καναλιού, μικρό bandwidth, μεγαλύτερο αριθμό χαμένων πακέτων καθώς και το φαινόμενο της πολυόδευσης (πολλαπλά σήματα του ιδίου σήματος φτάνουν στον δέκτη, κυρίως από ανακλάσεις). Λαμβάνοντας υπόψιν τις παραμέτρους γίνεται σαφές πως η επιλογή τις βέλτιστης τεχνικής μετάδοσης δεν πρόκειται για κάτι απλό. Διαθέσιμες επιλογές για τη μετάδοση είναι τα ακουστικά κύματα, τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα και τα οπτικά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΑΣΥΡΜΑΤΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ

1.1. ΓΕΝΙΚΑ - ΑΣΥΡΜΑΤΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ

Ο G. Marconi υλοποίησε για πρώτη φορά το 1897 ένα σύστημα ασύρματης μετάδοσης (τηλέγραφος) βασιζόμενος στη θεωρία που είχε αναπτύξει πριν από αρκετά χρόνια ο Maxwell. Οι πρώτες μεταδόσεις τηλεγραφικών μηνυμάτων σε μεγάλες αποστάσεις πραγματοποιήθηκαν από το Marconi στις αρχές του εικοστού αιώνα, ενώ η ασύρματη μετάδοση φωνής σε μεγάλες αποστάσεις κατά τη δεκαετία του 1905-1915.

Η αλματώδης ανάπτυξη της ηλεκτρονικής και της πληροφορικής, σε συνδυασμό με την αντίστοιχη αύξηση του όγκου της πληροφορίας που διακινείται παγκοσμίως έχουν επιφέρει και αναμένεται να δώσουν ακόμη μεγαλύτερη ώθηση στον τομέα των ασύρματων επικοινωνιών.

Η ασύρματη μετάδοση βασίζεται στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και χρησιμοποιεί κεραίες για την εκπομπή και λήψη των σημάτων. Η επίδοση ενός ασύρματου τηλεπικοινωνιακού συστήματος δεν εξαρτάται μόνο από τους διάφορους τύπους κεραιών που χρησιμοποιούνται αλλά και από φαινόμενα που επηρεάζουν τη διάδοση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Η διάδοση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων στο γήινο περιβάλλον χαρακτηρίζεται από φαινόμενα ανάκλασης, διάθλασης, σκέδασης και απορρόφησης που οφείλονται στην ανομοιογένεια της επιφάνειας της γης και της ατμόσφαιρας που την περιβάλει. Η γήινη επιφάνεια δεν είναι επίπεδη και εμφανίζει αγωγιμότητα με τιμή που ποικίλη από υψηλή (θαλάσσια ύδατα) έως αμελητέα (έρημοι) και διηλεκτρικές ιδιότητες που διαρκώς μεταβάλλονται επηρεαζόμενες από τη θερμοκρασία και την υγρασία. Τέλος, η ηλιακή δραστηριότητα και το γήινο μαγνητικό πεδίο επιδρούν σε ορισμένες περιπτώσεις δραστικά στη διάδοση των ραδιοκυμάτων. [Κεραίες Ασύρματες Ζεύξεις]

1.2 Τι είναι τα ασύρματα δίκτυα

Ένα ασύρματο δίκτυο είναι το σύνολο των χρηστών, υπολογιστών ή και αισθητήρων που επικοινωνούν μεταξύ τους, χρησιμοποιώντας ως μέσο διάδοσης τον ατμοσφαιρικό αέρα μια καθορισμένη ζώνη συχνοτήτων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα ασύρματου δικτύου αποτελεί το ψηφιακό δίκτυο κινητών επικοινωνιών, με το οποίο οι χρήστες μπορούν να είναι σε διαρκή επικοινωνία με οποιονδήποτε άλλο χρήστη, οπουδήποτε και αν βρίσκονται (σπίτι, εργασία) ακόμα και εν κινήσει. [*Το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας GSM*]

Στα ασύρματα δίκτυα μπορούν να συγκαταλεχθούν τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, οι δορυφορικές επικοινωνίες, τα ασύρματα προσωπικά δίκτυα WPANs(Wireless Personal Area Networks), τα ασύρματα τοπικά δίκτυα WLANs (Wireless Local Area Networks), τα ασύρματα μητροπολιτικά δίκτυα WMAN (Wireless Metropolitan Area Networks) και τα ασύρματα δίκτυα ευρείας περιοχής WWAN (Wireless Wide Area Networks). Το ραδιόφωνο και η τηλεόραση δεν μπορούν να χαρακτηριστούν σαν ασύρματα δίκτυα καθώς η εκπομπή γίνεται από μόνιμη σταθερή βάση και η εκπομπή είναι συνήθως αναλογική. [*Wireless Communications-Goldsmith*]

1.3 Σύγκριση ασύρματης - ενσύρματης δικτύωσης

Στον παρακάτω πίνακα 1. μπορούμε να παρατηρήσουμε αναλυτικά τις διαφορές και τα πλεονεκτήματα κάθε υλοποίησης του δικτύου μας, είτε αυτή είναι ασύρματη είτε είναι ενσύρματη.

No	Χαρακτηριστικά	Ενσύρματα	Ασύρματα
1	Εγκατάσταση	Δύσκολη (απαιτούνται πολλά καλώδια)	Εύκολη
2	Ορατότητα κόμβου με κόμβου στο ίδιο δίκτυο	Κάθε κόμβος σε ενσύρματο δίκτυο μπορεί να ακούσει τους υπόλοιπους	Πολύ κόμβοι δεν μπορούν να ακούσουν άλλους κόμβους του δικτύου
3	Ορατότητα από Δίκτυο σε Δίκτυο	Τα δίκτυα είναι αόρατα σε άλλα ενσύρματα δίκτυα. Η παρουσία ενός ενσύρματου δικτύου δεν επηρεάζει την απόδοση άλλου ενσύρματου δικτύου	Τα ασύρματα δίκτυα είναι συχνά ορατά σε άλλα ασύρματα δίκτυα. Ένα ασύρματο δίκτυο μπορεί να επηρεάσει την απόδοση άλλων ασύρματων δικτύων.
4	Χρόνος εγκατάστασης	Περισσότερα (λόγω σύνδεσης κάθε υπολογιστή στο δίκτυο)	Λιγότερο (δεν υπάρχουν καλωδιακές συνδέσεις)
5	Κόστος	Λιγότερο (τέτοια Ethernet, καλώδια, switches δεν είναι δαπανηρά)	Περισσότερα (ασύρματοι προσαρμογείς και σημεία πρόσβασης είναι αρκετά ακριβά)
6	Συνδεσιμότητα χρήστη	Η δυνατότητα σύνδεσης είναι δυνατή μόνο προς ή από τις φυσικές τοποθεσίες όπου εκτείνεται η καλωδίωση δικτύου	Η δυνατότητα σύνδεσης είναι δυνατή πέρα από τα όρια της καλωδίωσης φυσικού δικτύου
7	Κινητικότητα	Περιορισμένη (επειδή λειτουργεί μόνο σε συνδεδεμένους υπολογιστές με το δίκτυο)	Εξαιρετική (επιτρέπει στον ασύρματο χρήστη σύνδεση στο δίκτυο και επικοινωνία με άλλους χρήστες οποιαδήποτε στιγμή, οπουδήποτε)

8	Αξιοπιστία	Υψηλή (καλώδια Ethernet, swithes είναι αξιόπιστα επειδή οι κατασκευαστές έχουν βελτιωμένη τεχνολογία για αρκετές δεκαετίες)	Λογικά υψηλό (επειδή, εάν το κύριο τμήμα όπως ο δρομολογητής καταρρεύσει ολόκληρο το δίκτυο θα επηρεαστεί)
9	Ταχύτητα και εύρος ζώνης	Υψηλή έως 100 mbps	Χαμηλή έως 54 mbps(εξαρτάται από το πρωτόκολλο)
10	Καλώδια	Ethernet, χαλκό και οπτικές ίνες	Λειτουργεί στα ραδιοκύματα και μικροκύματα
11	Hubs και switches	Ναι	Όχι
12	Ασφάλεια	Καλή (χρησιμοποιώντας κάποιο λογισμικό, όπως λογισμικό firewall κ.λπ.)	Αδύναμο (επειδή τα σήματα ασύρματης επικοινωνίας ταξιδεύουν στον αέρα και μπορούν εύκολα να υποκλαπούν αλλά βελτιώνονται κρυπτογράφηση)
13	Τύποι	Local Area Network(LAN) Metropolitan Area network(MAN) Wide Area Network(WAN)	1.Με συγκρότηση και αρχιτεκτονική δικτύου • Δομημένα • Αδόμητα 2. Με την περιοχή κάλυψης • Wireless Local Area Network(WLAN) • Wireless metropolitan Area network(WMAN) • Wireless Wide Area Network(WWAN) • • Wireless Personal Area Network(WPAN) 3. Με την τεχνολογία προσπέλασης • GSM Network • TDMA Networks • CDMA Networks Τύποι ασύρματων δικτύων

			• Wi-Fi (802.11) Networks • Hyperlan2 Networks • Bluetooth Networks • Infrared Networks
14	Πρότυπα	802.3	• 802.11a • 802.11b • 802.11g • 802.11n • 802.11ac
15	Απώλεια σήματος και Εξασθένιση	Λιγότερο (επειδή στις ενσύρματες συνδέσεις οι παρεμβολές θα είναι λιγότερες)	Περισσότερο (λόγω περισσότερης παρεμβολής, απορρόφησης, διάθλαση και ανάκλαση κ.λπ.)
16	Παρεμβολή	Λιγότερο (Τα δίκτυα είναι αόρατα σε άλλα ενσύρματα δίκτυα. Η παρουσία ενός ενσύρματου δικτύου δεν επηρεάζει την απόδοση άλλου ενσύρματο δίκτυο)	Υψηλότερη (πιθανότητα ραδιοπαρεμβολών που οφείλεται σε καιρικές συνθήκες, άλλες ασύρματες συσκευές ή εμπόδια όπως οι τοίχοι)
17	Χρόνος εγκαθίδρυσης σύνδεσης	Λιγότερο	Περισσότερο
18	Quality of Service	Καλύτερο	Φτωχότερο (εξαιτίας υψηλού jitter, Καθυστέρηση)

Πίνακας 1 [COMPARISONS OF WIRED AND WIRELESS NETWORKS]

1.4 Από τον Τηλέγραφο στις Σύγχρονες Ασύρματες Επικοινωνίες

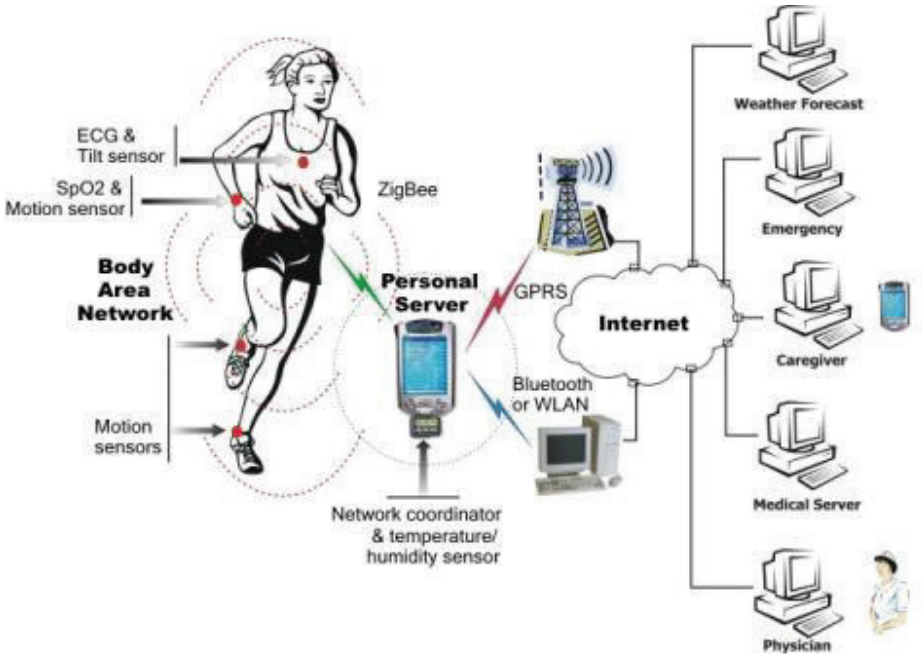
Η ασύρματη μετάδοση εμφανίζεται πολύ παλιά στην ιστορία της ανθρωπότητας. Ακόμη και στα αρχαία χρόνια, οι άνθρωποι χρησιμοποίησαν πρωτόγονα συστήματα επικοινωνιών, τα οποία μπορούν να χαρακτηριστούν ασύρματα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι οι φρυκτωρίες στην αρχαία Ελλάδα, όπου με τη χρήση μεγάλων φωτιών στις κορυφές υψωμάτων γινόταν αντιληπτό το μήνυμα. Όταν ο γειτονικός σταθμός αντιλαμβάνονταν το μήνυμα το επαναλάμβανε ανάβοντας τη δική του φωτιά. Χρησιμοποιώντας το σύστημα αυτό, γινόταν δυνατή η μετάδοση σε μεγάλες αποστάσεις. Ανάλογα συστήματα αναπτύχθηκαν και από άλλους πολιτισμούς.

Η προέλευση των ασύρματων δικτύων όπως τα γνωρίζουμε σήμερα , ξεκινά με την πρώτη ραδιομετάδοση. Αυτή πραγματοποιήθηκε το 1895 από τον G.Marconi, μεταξύ της νήσου Wight και ενός ρυμουλκού πλοίου που βρισκόταν σε απόσταση 18 μιλίων. Δύο χρόνια αργότερα από τον ίδιο υλοποιείται ο τηλέγραφος. Οι πρώτες μεταδόσεις πραγματοποιήθηκαν στις αρχές του εικοστού αιώνα, ενώ η ασύρματη μετάδοση φωνής σε μεγάλες αποστάσεις κατά τη δεκαετία 1905-1915. Από τότε μέχρι σήμερα έχουν πραγματοποιηθεί τεράστια άλματα στην ανάπτυξη των ασύρματων επικοινωνιών, με αποτέλεσμα να έχει εξαπλωθεί σε πολύ μεγάλο βαθμό η ασύρματη μεταφορά δεδομένων στην καθημερινή ζωή. Άξιος συνεχιστής της εφεύρεσης του τηλέγραφου αποτελεί η ψηφιακή κυψελική τηλεφωνία. Οι εξελίξεις στην τεχνολογία το κατέστησαν το πιο επιτυχημένο ασύρματο δίκτυο επικοινωνιών μέχρι τις μέρες μας. [Ασύρματα Δίκτυα]

1.5 Κατηγορίες Ασύρματων Δικτύων

Ασύρματα σωματικά δίκτυα (Wireless Body Area Networks - WBANs).

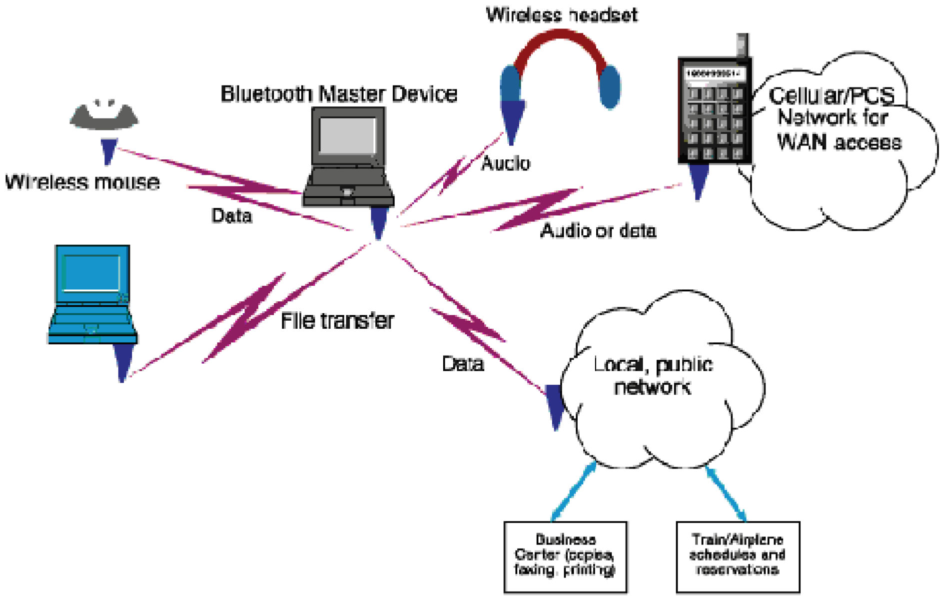
Τα WBAN αποτελούνται από έναν αριθμό αισθητήρων. Αυτοί οι αισθητήρες τοποθετούνται σε διάφορα τμήματα του σώματος και μπορούν να φορεθούν ή να εμφυτευθούν κάτω από το δέρμα του χρήστη. Κάθε ένας από αυτούς έχει ειδικές απαιτήσεις και χρησιμοποιείται για διάφορες αποστολές. Αυτές οι συσκευές χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση των αλλαγών σε ζωτικά σημάδια των ασθενών και την ανίχνευση συναισθημάτων ή ανθρώπινων καταστάσεων, όπως φόβο, άγχος, ευτυχία κλπ. Επικοινωνούν με έναν ειδικό κόμβο συντονιστή, ο οποίος είναι γενικά λιγότερο περιορισμένος από την ενέργεια και έχει περισσότερες ικανότητες επεξεργασίας. [Wireless Body Area Networks: Applications and Technologies]



Εικόνα 1

Ασύρματα προσωπικά δίκτυα (Wireless Personal Area Networks - WPANs).

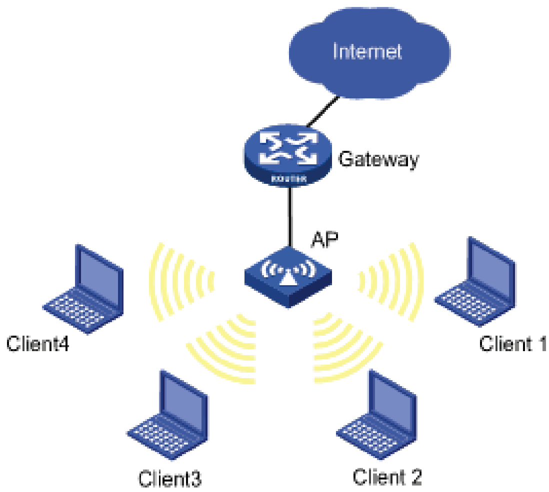
Τα δίκτυα προσωπικής περιοχής (Wireless Personal Area Networks - WPANs) είναι δίκτυα με μικρή γεωγραφική κάλυψη. Χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές που απαιτείται μικρή εμβέλεια (συνήθως λίγων μέτρων). Η πρώτη προσπάθεια να καθοριστούν πρότυπα για PAN ήταν από την Ericsson ενώ αργότερα ονομάστηκε Bluetooth. Στις μέρες είναι πλέον ένα ανοιχτό βιομηχανικό πρότυπο που έχει υιοθετηθεί ευρέως από τις εταιρίες και γνωρίζει μεγάλη εμπορική επιτυχία. Τέλος λειτουργεί στην περιοχή συχνοτήτων ISM των 2,4 GHz, με εμβέλεια έως 10 μέτρα και περιλαμβάνεται στην ομάδα εργασίας 802.15. [Ασύρματα Δίκτυα]



Εικόνα 2

Ασύρματα τοπικά δίκτυα (Wireless Local Area Networks - WLANs).

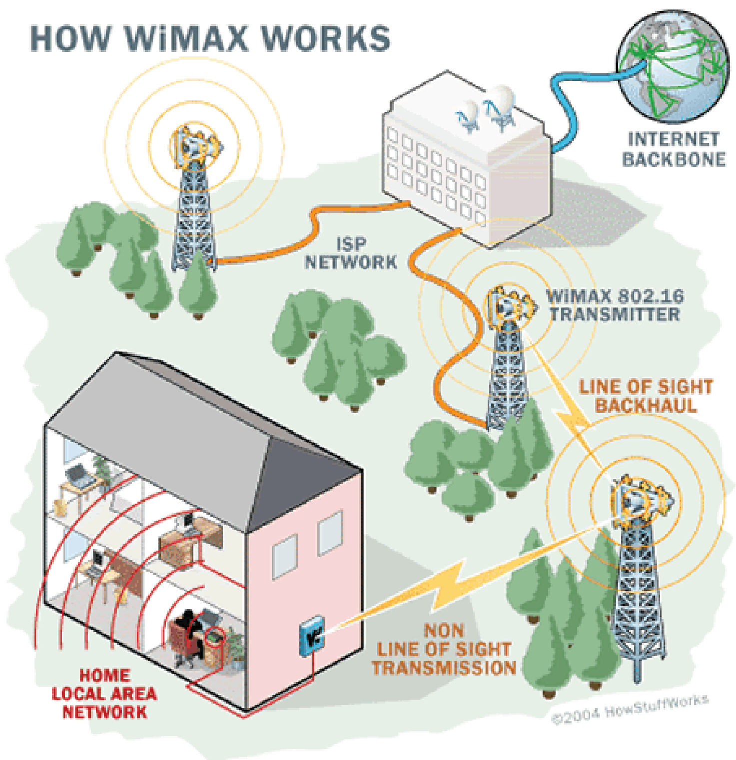
Τα ασύρματα τοπικά δίκτυα (Wireless Local Area Networks - WLANs) παρέχουν υψηλές ταχύτητες μετάδοσης σε σχετικά μικρές περιοχές, όπως ένα μικρό κτήριο ή μια πανεπιστημιούπολη. Η ανάπτυξη του ξεκίνησε το 1980 και διαμορφώθηκε από την ομάδα εργασίας 802.11, η οποία είναι αρμόδια για τον καθορισμό των προτύπων φυσικού επιπέδου και υποεπιπέδου πρόσβασης μέσων σε ασύρματα τοπικά δίκτυα. Χρησιμοποιεί εύρος ζώνης συχνοτήτων ISM στα 2,4 GHz και 5 GHz. [Ασύρματα Δίκτυα]



Εικόνα 3

Ασύρματα μητροπολιτικά δίκτυα (Wireless Metropolitan Area Networks - WMANs).

Τα WMAN δίκτυα καλύπτουν γεωγραφικές περιοχές πχ. μικρών πόλεων ή αποστάσεις μερικών χιλιομέτρων. Το WMAN είναι το επίσημο εμπορικό σήμα που προστατεύεται από την ομάδα εργασίας IEEE 802.16 για τα πρότυπα ευρυζωνικής ασύρματης πρόσβασης (BWA) για το ασύρματο μητροπολιτικό δίκτυο.
Αν και η οικογένεια προτύπων 802.16 αποκαλείται επισήμως ως WirelessMAN, η έκφραση WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) από μια βιομηχανική ομάδα που ονομάζεται WiMAX Forum χρησιμοποιείται συχνά. Ο στόχος του WiMAX είναι να παρέχει ευρυζωνική σύνδεση στο διαδίκτυο για δίκτυα WLAN και LAN με το σημείο ασύρματης πρόσβασης. Η πρώτη αναθεώρηση του προτύπου 802.16 ολοκληρώθηκε το 2001 και δημοσιεύθηκε το 2002. Τα δίκτυα αυτά ταιριάζουν με τις απαιτήσεις μεταφοράς δεδομένων, VoIP, τηλεδιάσκεψης και QoS. [Bandwidth Efficiency of Wireless Networks of WPAN, WLAN, WMAN and WWAN]

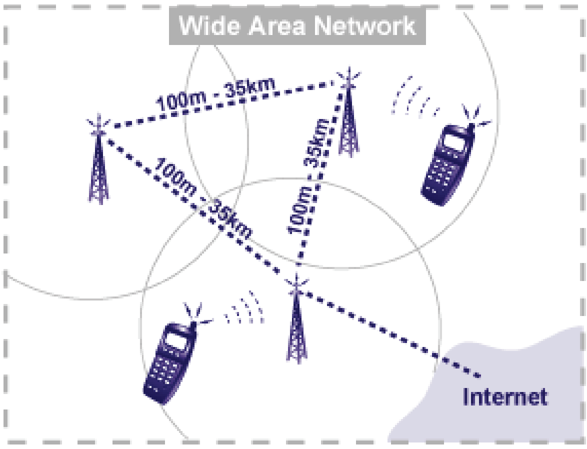


Εικόνα 4

Ασύρματα δίκτυα ευρείας περιοχής (Wireless Wide Area Networks - WWANs).

Τα WWAN καλύπτουν περιοχές μιας ή περισσοτέρων χωρών και είναι ευρέως διαδεδομένα στην κινητή τηλεφωνία και παρέχουν την δυνατότητα μεταφοράς δεδομένων. Τα WWAN είναι γνωστά επίσης και ως 3G και 4G δίκτυα.

[http://www8.hp.com/h30458/ww/en/smb/927462.html]



Εικόνα 5

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΔΙΚΤΥΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ

2.1 Η ανίχνευση

Η ανίχνευση είναι μια τεχνική που χρησιμοποιείται για τη συλλογή πληροφοριών σχετικά με ένα φυσικό αντικείμενο ή διαδικασία, περιλαμβανομένης της εμφάνισης γεγονότων (δηλ. αλλαγές στην κατάσταση όπως πτώση της θερμοκρασίας ή πίεση). Ένα αντικείμενο που εκτελεί μια τέτοια αίσθηση εργασίας ονομάζεται αισθητήρας. Για παράδειγμα, το ανθρώπινο σώμα είναι εξοπλισμένο με αισθητήρες που είναι σε θέση να συλλάβει οπτικές πληροφορίες από το περιβάλλον (μάτια), ακουστικές πληροφορίες όπως ήχοι (αυτιά), και μυρωδιές (μύτη). Αυτά είναι παραδείγματα απομακρυσμένων αισθητήρων, δηλαδή δεν χρειάζεται να αγγίζουν το αντικείμενο που παρακολουθείται για τη συλλογή πληροφοριών. Από τεχνική άποψη, ο αισθητήρας είναι μια συσκευή που μεταφράζει παραμέτρους ή συμβάντα στον φυσικό κόσμο σε σήματα που μπορούν να μετρηθούν και να αναλυθούν. Ένας άλλος συνήθως χρησιμοποιημένος όρος είναι ο μετατροπέας, ο οποίος χρησιμοποιείται συχνά για να περιγράψει μια συσκευή που μετατρέπει την ενέργεια από τη μια μορφή στην άλλη. Ένας αισθητήρας, τότε, είναι ένας τύπος μορφοτροπέα που μετατρέπει ενέργειας στον φυσικό κόσμο σε ηλεκτρική ενέργεια που μπορεί να περάσει σε ένα σύστημα επεξεργασίας ή τον ελεγκτή. Φαινόμενα στον φυσικό κόσμο παρατηρούνται από μια συσκευή αισθητήρων. Τα ηλεκτρικά σήματα που προκύπτουν συχνά δεν είναι έτοιμα για άμεση επεξεργασία, επομένως περνούν μέσα από ένα στάδιο «κλιματισμού». Εδώ, μια ποικιλία λειτουργιών μπορεί να εφαρμοστεί στο σήμα αισθητήρων για να το προετοιμάσει για περαιτέρω χρήση. Παραδείγματος χάριν, τα σήματα απαιτούν συχνά την ενίσχυση (ή τη μείωση) για να αλλάξουν το μέγεθος σήματος για να ταιριάζει καλύτερα με το εύρος των ακόλουθων αναλογικών-σε-ψηφιακή μετατροπή. Περαιτέρω, η προετοιμασία σημάτων εφαρμόζει συχνά τα φίλτρα στο σήμα για να αφαιρέσει τον ανεπιθύμητο θόρυβο μέσα σε ορισμένα εύρη συχνοτήτων (π.χ., τα φίλτρα highpass μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αφαίρεση 50 ή 60 Hz θορύβου που μαζεύεται από τις περιβάλλουσες γραμμές ισχύος). Μετά την προετοιμασία, το αναλογικό σήμα μετατράπηκε σε ψηφιακό σήμα με τη χρήση αναλογικού σε ψηφιακό μετατροπέα (ADC). Το σήμα τώρα είναι διαθέσιμο σε ψηφιακή μορφή και είναι έτοιμη για περαιτέρω επεξεργασία, αποθήκευση ή οπτικοποίηση.
[Fundamentals of Wireless Sensor Networks Theory and Practice]

2.2 Ταξινόμηση αισθητήρων

Οι αισθητήρες που πρέπει να επιλέγονται για μια εφαρμογή εξαρτώνται από τη φυσική ιδιότητα που παρακολουθούν, για παράδειγμα, οι ιδιότητες αυτές περιλαμβάνουν τη θερμοκρασία, την πίεση, το φως, ή την υγρασία. Η εικόνα 6 συνοψίζει ορισμένες κοινές φυσικές ιδιότητες, όπως παράδειγμα τεχνολογίες αισθητήρων που χρησιμοποιούνται για την καταγραφή τους. Εκτός από τις φυσικές ιδιότητες, η ταξινόμηση των αισθητήρων μπορούν να βασιστούν σε διάφορες άλλες μεθόδους, για παράδειγμα, εάν απαιτούν εξωτερική παροχή ηλεκτρικού ρεύματος. Εάν οι αισθητήρες απαιτούν εξωτερική ισχύ, αναφέρονται ως ενεργοί αισθητήρες. Δηλαδή, πρέπει να εκπέμπουν κάποιο είδος ενέργειας (π.χ., μικροκύματα, φως, ήχος) για να να προκαλέσει μια απόκριση ή να ανιχνεύσει μια αλλαγή στην ενέργεια του εκπεμπόμενου σήματος. Από την άλλη οι παθητικοί αισθητήρες ανιχνεύουν την ενέργεια στο περιβάλλον και αντλούν τη δύναμή τους από αυτή την εισαγωγή ενέργειας – για παράδειγμα, οι αισθητήρες παθητικών υπερύθρων (PIR), μετρούν το υπέρυθρο φως που ακτινοβολεί από αντικείμενα στην εγγύτητα.

Type	Examples
Temperature	Thermistors, thermocouples
Pressure	Pressure gauges, barometers, ionization gauges
Optical	Photodiodes, phototransistors, infrared sensors, CCD sensors
Acoustic	Piezoelectric resonators, microphones
Mechanical	Strain gauges, tactile sensors, capacitive diaphragms, piezoresistive cells
Motion, vibration	Accelerometers, gyroscopes, photo sensors
Flow	Anemometers, mass air flow sensors
Position	GPS, ultrasound-based sensors, infrared-based sensors, inclinometers
Electromagnetic	Hall-effect sensors, magnetometers
Chemical	pH sensors, electrochemical sensors, infrared gas sensors
Humidity	Capacitive and resistive sensors, hygrometers, MEMS-based humidity sensors
Radiation	Ionization detectors, Geiger–Mueller counters

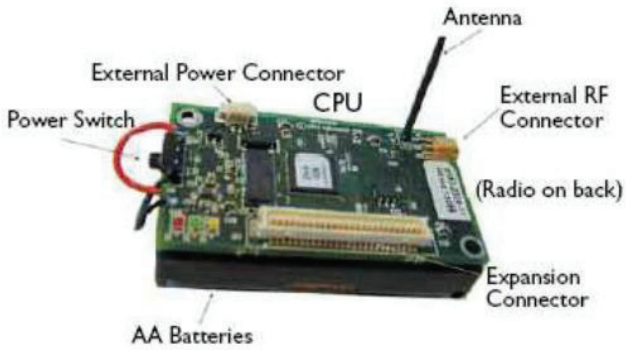
Εικόνα 6

[Fundamentals of Wireless Sensor Networks Theory and Practice]

2.3 Περιγραφή των Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων

Σήμερα, τα έξυπνα σπίτια, τα έξυπνα δίκτυα ύδρευσης, οι έξυπνες μεταφορές είναι συστήματα υποδομής που συνδέουν τον κόσμο μας περισσότερο από ό, τι πιστεύαμε ποτέ. Μέσω της χρήσης αισθητήρων, ολόκληρη η υλική υποδομή συνδέεται στενά με τεχνολογίες πληροφοριών και επικοινωνιών, όπου μπορεί να επιτευχθεί έξυπνη παρακολούθηση και διαχείριση μέσω της χρήσης δικτυακών ενσωματωμένων συσκευών. Σε ένα τόσο εξελιγμένο δυναμικό σύστημα, οι συσκευές διασυνδέονται για να μεταδίδουν χρήσιμες πληροφορίες μέτρησης και οδηγίες ελέγχου μέσω δικτύων κατανεμημένων αισθητήρων. Το θεωρούμε δεδομένο, αλλά υπάρχουν αισθητήρες στα οχήματα μας, στα έξυπνα τηλέφωνα, στα εργοστάσια που ελέγχουν τις εκπομπές CO2, στη θάλασσα για περιβαλλοντική μελέτη, ακόμη και στο έδαφος για την παρακολούθηση των συνθηκών εδάφους π.χ. στους αμπελώνες. Παρόλο που φαίνεται ότι οι αισθητήρες εμφανίστηκαν πρόσφατα, η έρευνα για ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (WSNs) ξεκίνησε τη δεκαετία του 1980 και μόνο από το 2001 οι WSNs δημιούργησαν ένα αυξημένο ενδιαφέρον από βιομηχανικές και ερευνητικές προοπτικές. Αυτό οφείλεται στη διαθεσιμότητα οικονομικών, χαμηλής κατανάλωσης μικροσκοπικών εξαρτημάτων όπως επεξεργαστές, ραδιόφωνα και αισθητήρες που συχνά ενσωματώνονταν σε ένα ενιαίο τσιπ (σύστημα σε chip (SoC))

Ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων (WSN) είναι ένα δίκτυο που αποτελείται από μεγάλο αριθμό κόμβων αισθητήρων όπου κάθε κόμβος είναι εξοπλισμένος με αισθητήρα για την ανίχνευση φυσικών φαινομένων όπως το φως, τη θερμότητα, την πίεση κλπ. Τα WSN θεωρούνται ως μια επαναστατική μέθοδος συλλογής πληροφοριών για τη δημιουργία του συστήματος πληροφοριών και επικοινωνιών που θα βελτιώσει σημαντικά την αξιοπιστία και την αποτελεσματικότητα των συστημάτων υποδομής. Σε σύγκριση με την ενσύρματη λύση, τα WSN διαθέτουν ευκολότερη ανάπτυξη και καλύτερη ευελιξία των συσκευών. Με την ταχεία τεχνολογική εξέλιξη των αισθητήρων, τα WSNs θα γίνουν η βασική τεχνολογία για το Διαδίκτυο.



Εικόνα 7

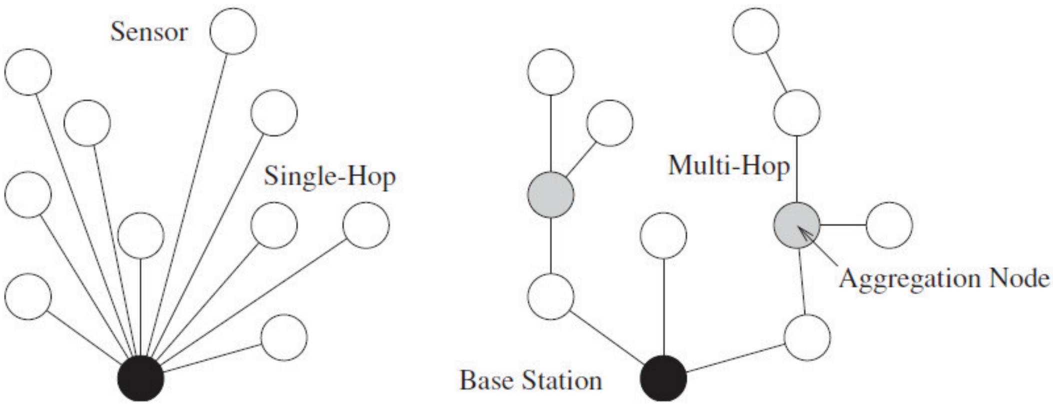
Αναλυτικότερα ο κόμβος αισθητήρας είναι ένα από τα κύρια μέρη ενός WSN. Το υλικό ενός κόμβου αισθητήρα περιλαμβάνει γενικά τέσσερα μέρη: τη μονάδα ελέγχου ισχύος και την πηγή ενέργειας, έναν αισθητήρα, έναν μικροεπεξεργαστή και έναν ασύρματο πομποδέκτη, βλέπε Εικόνα 6. Η μονάδα ισχύος παρέχει την αξιόπιστη ισχύ που απαιτείται για το σύστημα. Ο αισθητήρας ενός κόμβου WSN μπορεί να αντιληφθεί την κατάσταση του περιβάλλοντος, του ίδιου του εξοπλισμού και είναι υπεύθυνος για τη συλλογή και τη μετατροπή των σημάτων, όπως το φως και δονήσεις, σε ηλεκτρικά σήματα και στη συνέχεια τη μεταφορά τους στον μικροεπεξεργαστή. Ο μικροεπεξεργαστής λαμβάνει τα δεδομένα από τον αισθητήρα και επεξεργάζεται τα δεδομένα ανάλογα. Ο ασύρματος πομποδέκτης (μονάδα RF) μεταφέρει τα δεδομένα, έτσι ώστε να επιτευχθεί η φυσική επικοινωνία.
Είναι σημαντικό ότι ο σχεδιασμός όλων των τμημάτων ενός κόμβου WSN προϋποθέτει χαρακτηριστικά μικρού μεγέθους και περιορισμένης ισχύος επιμέρους τμημάτων.

Τέλος, ως προς την τοπολογία και την ανάπτυξη του δικτύου αισθητήρων , αυτό αποτελείται από έναν αριθμό κόμβων δικτύου αισθητήρων και μια πύλη για τη σύνδεση στο διαδίκτυο ή σε μια βάση δεδομένων (DB). Η γενική διαδικασία ανάπτυξης ενός WSN έχει ως εξής: πρώτον, οι κόμβοι δικτύου αισθητήρων μεταδίδουν την κατάστασή τους στο περιβάλλον και λαμβάνουν την κατάσταση από άλλους κόμβους για να ανιχνεύσουν ο ένας τον άλλον. Δεύτερον, οι κόμβοι δικτύου αισθητήρων είναι οργανωμένοι σε ένα συνδεδεμένο δίκτυο σύμφωνα με μια συγκεκριμένη τοπολογία (γραμμική, αστέρι, δέντρο, πλέγμα κλπ.). Επομένως, υπολογίζονται κατάλληλες διαδρομές στο κατασκευασμένο δίκτυο για την επιτυχή μετάδοση των δεδομένων στον προορισμό.

[Internet of Things: Wireless Sensor Networks]

2.4 Η επικοινωνία στα WSNs

Η πασίγνωστη οικογένεια προτύπων IEEE 802.11 εισήχθη το 1997 και είναι η μεγαλύτερη κοινή τεχνολογία ασύρματης δικτύωσης για κινητά συστήματα. Χρησιμοποιεί διαφορετική συχνότητα, για παράδειγμα, η ζώνη 2,4 GHz χρησιμοποιείται από τα IEEE 802.11b και IEEE 802.11g, ενώ το πρωτόκολλο IEEE 802.11a χρησιμοποιεί τη ζώνη συχνοτήτων 5 GHz. Το IEEE 802.11 χρησιμοποιήθηκε συχνά σε πρώιμα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων και μπορούν ακόμα να βρεθούν σε τρέχοντα δίκτυα όταν οι απαιτήσεις για το εύρος ζώνης είναι υψηλές (π.χ. για τους αισθητήρες πολυμέσων).



Εικόνα 8

Ωστόσο, τα γενικά υψηλό ενεργειακό κόστος κατανάλωσης των δικτύων που βασίζονται στο IEEE 802.11 καθιστούν αυτό το πρότυπο ακατάλληλο για δίκτυα αισθητήρων χαμηλής ισχύος. Οι τυπικές απαιτήσεις ταχύτητας δεδομένων στα δίκτυα αισθητήρων είναι συγκρίσιμες με το παρεχόμενο εύρος ζώνης modems μέσω τηλεφώνου, επομένως οι ρυθμοί δεδομένων που παρέχονται από το IEEE 802.11 είναι τυπικά πολύ υψηλότεροι από το αναγκαίο. Αυτό έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη μιας ποικιλίας πρωτοκόλλων που ικανοποιούν καλύτερα την ανάγκη των δικτύων για χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και χαμηλές ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων. Για παράδειγμα, το πρωτόκολλο IEEE 802.15.4 (Gutierrez et al., 2001) έχει σχεδιαστεί ειδικά για παραμετροποίηση επικοινωνιών σε δίκτυα αισθητήρων χαμηλής κατανάλωσης και υποστηρίζεται από τους περισσότερους ακαδημαϊκούς και εμπορικούς κόμβους αισθητήρων.

Όταν οι περιοχές εκπομπής των ραδιοπομπών όλων των κόμβων αισθητήρων είναι αρκετά μεγάλες και η οι αισθητήρες μπορούν να μεταδώσουν τα δεδομένα τους απευθείας στον σταθμό βάσης, μπορούν να σχηματίσουν μια τοπολογία αστέρα. Σε αυτή την τοπολογία, κάθε κόμβος αισθητήρα επικοινωνεί άμεσα με το σταθμό βάσης να χρησιμοποιεί ένα μόνο hop. Ωστόσο, τα δίκτυα αισθητήρων συχνά καλύπτουν μεγάλες γεωγραφικές περιοχές, οι περιοχές και η ισχύς εκπομπής ραδιοσυχνοτήτων θα πρέπει να διατηρούνται στο ελάχιστο προκειμένου να διατηρηθεί ενέργεια. Κατά συνέπεια, η επικοινωνία πολλαπλών hop είναι η συνηθέστερη περίπτωση για δίκτυα αισθητήρων (που φαίνεται στην Εικόνα 7). Σε αυτή την τοπολογία πλέγματος, οι κόμβοι των αισθητήρων δεν πρέπει μόνο συλλαμβάνουν και διαδίδουν τα δικά τους δεδομένα, αλλά χρησιμεύουν επίσης ως ρελέ για άλλους κόμβους αισθητήρων, δηλαδή, πρέπει να συνεργάζονται για τη διάδοση δεδομένων αισθητήρων προς το σταθμό βάσης. Αυτή το πρόβλημα δρομολόγησης, δηλαδή, το να βρούμε μια διαδρομή πολλαπλών διαδρομών από έναν κόμβο αισθητήρα στη βάση, είναι μια από τις σημαντικότερες προκλήσεις και έχει λάβει τεράστια προσοχή την ερευνητική κοινότητα. Όταν ένας κόμβος λειτουργεί ως ρελέ για πολλαπλές διαδρομές, έχει συχνά τη δυνατότητα ανάλυσης και προεπεξεργασίας των δεδομένων αισθητήρων στο δίκτυο, τα οποία μπορούν να οδηγήσουν στην εξάλειψη περιττών πληροφοριών ή τη συγκέντρωση δεδομένων που μπορεί να είναι μικρότερα από το αρχικά δεδομένα [Fundamentals of Wireless Sensor Networks Theory and Practice]

2.5 Χρονικός Συγχρονισμός

Μια ακριβής και συνεπής αίσθηση χρόνου είναι απαραίτητη στα δίκτυα αισθητήρων, ειδικά στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Τα δίκτυα κατανεμημένων ασύρματων αισθητήρων χρειάζονται συγχρονισμό των ρολογιών τους για τον συντονισμό της επικοινωνίας, του υπολογισμού, της ανίχνευσης και της ενεργοποίησης των κατανεμημένων κόμβων.

Οι παραδοσιακές τεχνικές συγχρονισμού που έχουν χρησιμοποιηθεί σε ενσύρματα δίκτυα δεν είναι κατάλληλες για ασύρματα δίκτυα. Το Δικτυακό Χρονικό Πρωτόκολλο (NTP), το οποίο χρησιμοποιείται ευρέως στο Διαδίκτυο, είναι υπερβολικά περίπλοκο για την υλοποίησή του και δεν είναι ενεργειακά αποδοτικό. Το GPS, από την άλλη πλευρά, δεν είναι πρακτικό, αφού η συσκευή που χρειάζεται να συνδεθεί με τον κόμβο του δικτύου είναι μεγάλη και δαπανηρή. Επίσης, δεδομένου ότι οι αισθητήρες αναπτύσσονται συνήθως σε σκληρά περιβάλλοντα, τα σήματα GPS είναι συχνά απρόσιτα. Οι τεχνικές συγχρονισμού χρόνου που χρησιμοποιούνται σε αυτά τα επίγεια WSN δεν μπορούν να εφαρμοστούν απευθείας στα Υποθαλάσσια Δίκτυα Αισθητήρων (UWSN). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα UWSNs παρουσιάζουν διαφορετικά χαρακτηριστικά, όταν τα συγκρίνουμε με τα επίγειο WSNs. Σε αυτά τα χαρακτηριστικά περιλαμβάνονται: η κινητικότητα των κόμβων, η μεγάλη καθυστέρηση διάδοσης, το περιορισμένο εύρος ζώνης, τον περιορισμένο ρυθμό μετάδοσης, το υψηλό ποσοστό σφαλμάτων bit (BER) κ.λπ. Στην περίπτωση επίγειου WSN η καθυστέρηση διάδοσης των κόμβων αισθητήρων θεωρείται αμελητέα. Αλλά στην περίπτωση UWSN πάσχει από τη χαμηλή ταχύτητα διάδοσης των σημάτων. Τα UWSNs απαιτούν μεγάλες καθυστερήσεις διάδοσης λόγω της χαμηλής ταχύτητας μετάδοσης του ήχου στο νερό. Για τα κινητά UWSN, οι καθυστερήσεις στη διάδοση μεταξύ αυτών των κόμβων αισθητήρων είναι μεταβαλλόμενες χρονικά λόγω της κινητικότητας των κόμβων αισθητήρων. Οι ασύρματες μεταδόσεις πρέπει να είναι ενεργειακά αποδοτικές καθώς απαιτούν περισσότερη ισχύ. Όλοι αυτοί οι λόγοι στους UWSNs δημιουργούν νέες προκλήσεις για αλγόριθμους συγχρονισμού χρόνου.

[A Survey On Various Time Synchronization Techniques In Underwater Sensor Networks]

Απαιτήσεις σχετικά με τα συστήματα συγχρονισμού για δίκτυα αισθητήρων:

Κατά το σχεδιασμό αλγόριθμου συγχρονισμού χρόνου, οι περιορισμοί του ασύρματου δικτύου επιβάλλουν ορισμένες απαιτήσεις που πρέπει να πληρούνται. Συνήθως χρησιμοποιούνται οι παρακάτω μετρήσεις για την αξιολόγηση κάθε τεχνικής συγχρονισμού:

- Ακρίβεια (Accuracy): Η ακρίβεια της τεχνικής συγχρονισμού εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την εφαρμογή.
- Ανθεκτικότητα (Robustness): Οι κόμβοι του δικτύου ενδέχεται να πεθάνουν ή να εξέρχονται από το πεδίο εφαρμογής λόγω του σκληρού περιβάλλοντος στο οποίο αναπτύσσονται. Κάθε σχέδιο συγχρονισμού πρέπει να προσαρμόζεται σε τέτοιες αλλαγές στο δίκτυο και να λειτουργεί σε όλες τις περιπτώσεις.
- Ευελιξία (Scalability): Σε ορισμένες εφαρμογές, δεκάδες χιλιάδες αισθητήρες μπορεί να αναπτυχθούν. Κάθε τεχνική συγχρονισμού πρέπει να λειτουργεί καλά με οποιονδήποτε αριθμό κόμβων στο δίκτυο.
- Διάρκεια ζωής (Longevity): Με βάση την εφαρμογή, ο συγχρονισμός χρόνου μπορεί να είναι στιγμιαία, π.χ. όταν συμβαίνει κάποιο συμβάν ή μπορεί να διαρκέσει όσο λειτουργεί το δίκτυο.
- Ενεργειακή απόδοση (Energy efficiency): Οι κόμβοι δικτύου έχουν περιορισμένους ενεργειακούς πόρους. Όλα τα πρωτόκολλα δικτύου, συμπεριλαμβανομένων των συγχρονισμών, πρέπει να λαμβάνουν υπόψη αυτόν τον περιορισμό.
- Κόστος (Cost): Λόγω των προηγμένων τεχνολογιών, οι κόμβοι δικτύου γίνονται τόσο μικροί και φθηνότεροι. Οποιοσδήποτε αλγόριθμος συγχρονισμού δεν πρέπει να προσθέτει κόστος ή να αυξάνει το μέγεθος του κόμβου δικτύου.
- Πεδίο εφαρμογής (Scope): Ο αλγόριθμος συγχρονισμού ώρας παρέχει έναν κοινό χρόνο για όλους τους κόμβους του δικτύου, που κοστίζει περισσότερη ενέργεια και χρόνο ή παρέχει έναν κοινό χρόνο μόνο για τους κόμβους που κλείνουν στο χώρο.

- Καθυστέρηση (Delay): Πολλές εφαρμογές, όπως ανίχνευση διαρροής αερίου, απαιτούν άμεση ανταπόκριση. Για τέτοιου είδους εφαρμογές, ο συνολικός απαιτούμενος χρόνος συγχρονισμού του δικτύου πρέπει να είναι όσο το δυνατόν χαμηλότερος.

[Time Synchronization in Wireless Sensor Networks: A Survey]

2.6 Εντοπισμός και παρακολούθηση

Η κύρια πρόκληση του εντοπισμού και της παρακολούθησης είναι η εφαρμογή και το κόστος των πόρων για την παροχή πληροφοριών θέσης. Για παράδειγμα, η κατοχή ενός δέκτη GPS παρέχει σε κάθε κόμβο απόλυτες συντεταγμένες θέσης. Ωστόσο, η παροχή στους κόμβους των πληροφοριών θέσης δεν είναι χωρίς κόστος. Για τον εξοπλισμό όλων των κόμβων με δέκτες GPS υφίσταται σημαντικό χρηματικό κόστος και προκαλεί υψηλότερη κατανάλωση ενέργειας στους κόμβους. Οι αποδοτικότερες τεχνικές εντοπισμού περιλαμβάνουν την ένταση του σήματος (Signal Strength) ή τις μετρήσεις χρόνου-πτήσης (time-of-flight) μαζί με τον τοπικό τριγωνισμό για να παρέχουν στους κόμβους πληροφορίες σχετικής θέσης. Οι μέθοδοι υβριδικού εντοπισμού συνδυάζουν την απόλυτη ικανότητα τοποθέτησης του GPS με προσιτές και ενεργειακά αποδοτικές τεχνικές εντοπισμού. Για παράδειγμα, ένα δίκτυο θα μπορούσε να περιλαμβάνει μερικούς κόμβους με δέκτες GPS που παρέχουν πληροφορίες απόλυτης τοποθεσίας και να ενεργούν ως διακομιστές τοποθεσίας. Άλλοι κόμβοι υπολογίζουν τη θέση τους σε σχέση με τους κόμβους που είναι εξοπλισμένοι με το GPS, προκειμένου τελικά να συμπεράνουν τις δικές τους απόλυτες πληροφορίες θέσης. [Wireless Ad Hoc and Sensor Networks]

2.7 Ενέργεια – Έλεγχος δικτύου & Επικοινωνιών

Οι υποβρύχιοι κόμβοι αισθητήρων αναπτύσσονται συνήθως πυκνά, με απόσταση μεταξύ δεκάδων και εκατοντάδων μέτρων. Ο σημαντικότερος στόχος του σχεδιασμού για τέτοια δίκτυα υποβρύχιων αισθητήρων είναι να επιλυθεί η κατανάλωση ενέργειας. Αυτό συμβαίνει επειδή οι κόμβοι αισθητήρων στα υποβρύχια δίκτυα αισθητήρων τροφοδοτούνται συνήθως από μπαταρίες και είναι δύσκολο να αλλάξετε ή να επαναφορτίσετε αυτές τις μπαταρίες σε σκληρά υποβρύχια περιβάλλοντα.

Τα υποβρύχια ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (UWSN) και τα επίγεια ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (WSN) μοιράζονται κοινές ιδιότητες, αλλά έχουν και πολλές διαφορές. Η ισχύς είναι σημαντική διαφορά, δεδομένου ότι οι υποβρύχιες επικοινωνίες απαιτούν μεγαλύτερη ισχύ από το επίγειο δίκτυο. Δεδομένου ότι ο χρόνος ζωής οποιουδήποτε μεμονωμένου αισθητήρα στο UWSN είναι περιορισμένος, ο αριθμός των κόμβων αισθητήρα που σταματούν να λειτουργούν λόγω της απώλειας ισχύος αυξάνει σε σχέση με το χρόνο, επομένως η περιοχή κάλυψης του WSN θα συρρικνωθεί. Είναι προφανές ότι

το ζήτημα των περιορισμένων πόρων της μπαταρίας είναι ιδιαίτερα σημαντικό και αποτελεί πρόκληση για τους ερευνητές να αποκτήσουν μεγάλο χρόνο λειτουργίας χωρίς να θυσιάζονται οι επιδόσεις του συστήματος.
[R-MAC: An Energy-Efficient MAC Protocol for Underwater Sensor Networks]

2.8 Επικοινωνιακά Πρωτόκολλα Εξοικονόμησης Ενέργειας

Τα υποβρύχια δίκτυα αισθητήρων διαφέρουν σημαντικά από τα επίγεια δίκτυα αισθητήρων, καθώς σήματα πολύ χαμηλών συχνοτήτων (VLF) και ακουστικά χρησιμοποιούνται κυρίως ως μέσο επικοινωνίας. Η μεγάλη καθυστέρηση διάδοσης και το περιορισμένο εύρος ζώνης αυτών των καναλιών καθιστούν τα υπάρχοντα πρωτόκολλα MAC σχεδιασμένα για ασύρματα δίκτυα είτε μη πρακτικά είτε όχι ενεργειακά αποδοτικά για υποβρύχια δίκτυα αισθητήρων.

Λόγω της πυκνής ανάπτυξης του δικτύου και του κοινόχρηστου μέσου επικοινωνίας, ένα αποτελεσματικό πρωτόκολλο ελέγχου πρόσβασης μεσαίας πρόσβασης (MAC) είναι πολύ σημαντικό για την τελική απόδοση υποβρύχιων δικτύων αισθητήρων. Οι διαφορετικές εφαρμογές έχουν διαφορετικές απαιτήσεις στα πρωτόκολλα MAC. Αυτός ο τύπος εφαρμογών δημιουργεί σποραδική κυκλοφορία άνισα κατανεμημένη χωρικά και χρονικά και δεν είναι ευαίσθητος στην καθυστέρηση από άκρο σε άκρο. Για τέτοιες εφαρμογές, οι κόμβοι αισθητήρων αναπτύσσονται συνήθως πυκνά, με απόσταση μεταξύ δεκάδων και εκατοντάδων μέτρων. Ο σημαντικότερος στόχος του σχεδιασμού MAC για τέτοια υποβρύχια δίκτυα αισθητήρων είναι η αποτελεσματική αντιμετώπιση της σύγκρουσης πακέτων δεδομένων (data packet collision) από την άποψη της κατανάλωσης ενέργειας. Αυτό συμβαίνει επειδή οι κόμβοι αισθητήρων στα υποβρύχια δίκτυα αισθητήρων τροφοδοτούνται συνήθως από μπαταρίες. Η δικαιοσύνη (fairness) είναι ένας άλλος στόχος του πρωτοκόλλου MAC μας, καθώς είναι πολύ σημαντικό για την επεξεργασία δεδομένων εντός δικτύου. Δεδομένου ότι τα δεδομένα παράγονται συνήθως από τους γειτονικούς κόμβους αισθητήρων που σχετίζονται πολύ χρονικά, είναι επιθυμητό να παραδίδονται χρονικά συναφή δεδομένα σε κάποιον κόμβο ταυτόχρονα για επεξεργασία εντός δικτύου. Άλλες ιδιότητες όπως η καθυστέρηση (delay) από άκρο σε άκρο, η απόδοση και η χρήση του καναλιού είναι επιθυμητές αλλά όχι αυστηρές απαιτήσεις στο σχεδιασμό μας.
[R-MAC: An Energy-Efficient MAC Protocol for Underwater Sensor Networks]

2.9 Ασφάλεια και Έλεγχος συμφόρησης

Η ασφάλεια αποτελεί πρόκληση για τα συστήματα και τα δίκτυα υπολογιστών για αρκετές δεκαετίες, κατά τη διάρκεια των οποίων οι τύποι επιθέσεων και τα μέτρα ασφαλείας και οι μηχανισμοί για την αντιμετώπιση έχουν προχωρήσει και αναπτυχθεί σημαντικά, ιδίως λόγω της ταχείας ανάπτυξης του Διαδικτύου. Σε σύγκριση με τις παραδοσιακές επιθέσεις και τους μηχανισμούς ασφαλείας που αναπτύχθηκαν για το Διαδίκτυο, τα WSNs παρουσιάζουν μια ποικιλία μοναδικών προκλήσεων που πρέπει να εξεταστούν, αντιμετωπίζοντας τις ανησυχίες ασφαλείας που μπορεί να προκύψουν στις εφαρμογές δικτύου αισθητήρων:

1. Περιορισμοί πόρων: Οι παραδοσιακοί μηχανισμοί ασφαλείας που έχουν υψηλά γενικά έξοδα δεν είναι κατάλληλοι για WSNs με περιορισμένους πόρους. Πολλοί μηχανισμοί ασφαλείας είναι υπολογιστικά δαπανηρές ή απαιτούν επικοινωνία με άλλους κόμβους ή "απομακρυσμένες" συσκευές (π.χ., για σκοπούς αδειοδότησης), οδηγώντας έτσι σε γενικά δαπάνη ενέργειας. Μικρές συσκευές αισθητήρων περιορίζονται επίσης στη διαθέσιμη χωρητικότητα μνήμης και αποθήκευσης. Κοινός οι αισθητήρες έχουν πολύ περιορισμένες ποσότητες μνήμης, για παράδειγμα, οι συσκευές TelosB έχουν μόνο 10 kbytes RAM και 48 kbytes μνήμη flash. Αλγόριθμοι παραδοσιακής ασφάλειας που απαιτούν σημαντική ποσότητα μνήμης και αποθηκευτικού χώρου είναι ως εκ τούτου ανέφικτη για τέτοιους αισθητήρες.

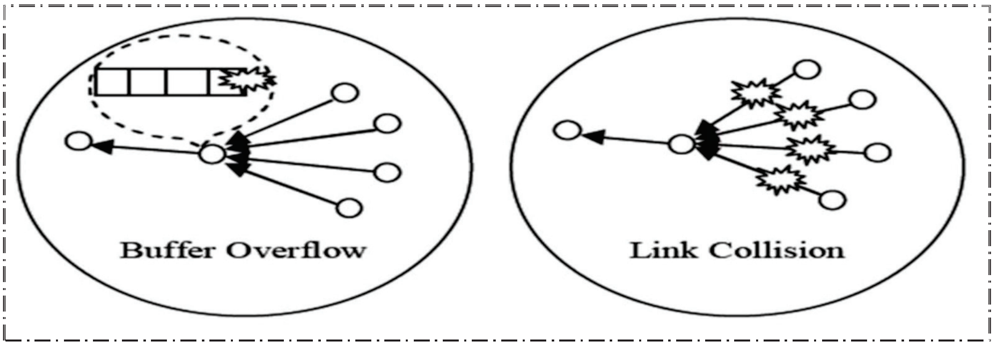
2. Έλλειψη κεντρικού ελέγχου: Είναι συχνά ανέφικτο να έχουμε ένα κεντρικό σημείο ελέγχου στο δίκτυο αισθητήρων, για παράδειγμα, λόγω της μεγάλης κλίμακας, των περιορισμών πόρων και τη δυναμική δικτύου (αλλαγές τοπολογίας, διαμέριση δικτύου). Ως εκ τούτου, θα πρέπει να λύσεις ασφάλειας να είναι αποκεντρωμένες και οι κόμβοι πρέπει να συνεργάζονται για την επίτευξη ασφάλειας.

3. Απομακρυσμένη τοποθεσία: Η πρώτη γραμμή άμυνας κατά των επιθέσεων ασφαλείας είναι να παρέχει μόνο ελεγχόμενη φυσική πρόσβαση σε έναν κόμβο αισθητήρα. Πολλά WSN παραμένουν χωρίς επιτήρηση, επειδή λειτουργούν σε απομακρυσμένες και δύσκολα προσβάσιμες τοποθεσίες που αναπτύσσονται σε περιβάλλοντα ανοικτά σε δημόσια πρόσβαση, ή τόσο εκτενής που θα ήταν ανέφικτη συνεχής παρακολούθηση και προστασία των αισθητήρων από τις επιθέσεις. Αυτές οι προκλήσεις καθιστούν δύσκολη την αποτροπή μη εξουσιοδοτημένων στη φυσική πρόσβαση και την ανίχνευση παραβίασης των συσκευών αισθητήρων, ιδιαίτερα από το χαμηλό κόστος πολλών κόμβων αισθητήρων που μπορεί να μην περιλαμβάνει προηγμένα (και δαπανηρά) προστατευτικά μέτρα.

4. Επικοινωνία επιρρεπής σε σφάλματα: Τα πακέτα σε WSNs μπορεί να χαθούν ή να αλλοιωθούν λόγω μιας ποικιλίας από λόγους, συμπεριλαμβανομένων των σφαλμάτων καναλιού, των σφαλμάτων δρομολόγησης και των συγκρούσεων. Αυτό μπορεί να επηρεάσει με κάποιους μηχανισμούς ασφαλείας ή την ικανότητά τους να αποκτούν αναφορές κρίσιμων συμβάντων. Επιπλέον, αυτό μπορεί να δυσχεράνει τη διάκριση των "καλοηθών" εσφαλμένων επικοινωνιών ή αποτυχίες κόμβων και συνδέσμων από κακόβουλες επιθέσεις.
[Fundamentals of Wireless Sensor Networks Theory and Practice]

Στα ενσύρματα και ασύρματα δίκτυα προκαλείται συμφόρηση όταν η κίνηση των δεδομένων ξεπερνά τη χωρητικότητα του δικτύου σε οποιοδήποτε σημείο του. Ο έλεγχος της συμφόρησης (congestion control) στα ενσύρματα δίκτυα γίνεται συνήθως χρησιμοποιώντας μηχανισμούς από άκρο σε άκρο (end-to-end), σε συνδυασμό με μηχανισμούς επιπέδου δικτύου.

Πολλές εφαρμογές ασύρματων δικτύων αισθητήρων απαιτούν να αποθηκεύονται οι αναγνώσεις ή οι παρατηρήσεις που συλλέγονται από αισθητήρες σε κάποια κεντρική θέση. Η συμφόρηση μπορεί να συμβεί κατά τη συλλογή των δεδομένων και την αποστολή τους προς την κεντρική θέση πάνω από το ασύρματο δίκτυο αισθητήρων. Η συμφόρηση συμβαίνει κυρίως στην κατεύθυνση των αισθητήρων προς την κατεύθυνση του κόμβου συλλογής όταν τα πακέτα μεταφέρονται με πολλούς τρόπους. Η συμφόρηση στα δίκτυα WSN έχει αρνητικές επιπτώσεις στην απόδοση του δικτύου και στο στόχο της εφαρμογής, δηλαδή απώλεια πακέτων, αυξημένη καθυστέρηση πακέτων και σπατάλη ενέργειας κόμβου. Ο σκοπός του ελέγχου συμφόρησης WSN είναι να βελτιωθεί η απόδοση του δικτύου και να μειωθεί ο χρόνος της καθυστερημένης μεταφοράς δεδομένων. Υπό αυτές τις συνθήκες, η ενέργεια κόμβου, το εύρος ζώνης επικοινωνιών, η υπολογιστική χωρητικότητα δικτύου και άλλοι πόροι είναι γενικά περιορισμένοι. Είναι δυνατό να βελτιωθεί η απόδοση του δικτύου μέσω του σχεδιασμού πρωτοκόλλων, επιλογής αλγορίθμου διαδρομής, ενσωμάτωσης δεδομένων και εξισορρόπησης φορτίου κ.ο.κ.



1- Node-level congestion 2 - Link-level congestion

[Congestion in Wireless Sensor Networks and Mechanisms for Controlling Congestion]

2.10 Δρομολόγηση δεδομένων και Διαχείριση Τοπολογίας

Ένα WSN που έχει εγκατασταθεί σε ένα δυσπρόσιτο μέρος, μπορεί να χάσει, κάτω από ακραίες συνθήκες, σχετικά εύκολα ένα μεγάλο μέρος από τα SNs του λόγω δυσλειτουργιών των τελευταίων, πράγμα που δυσκολεύει τη διατήρηση της τοπολογίας του δικτύου και τη δρομολόγηση των δεδομένων εντός αυτού. Η διαχείριση τοπολογίας είναι ένα σημαντικό ζήτημα, διότι ο μόνος τρόπος εξοικονόμησης της κατανάλωσης ενέργειας στο υποσύστημα επικοινωνίας είναι να απενεργοποιηθούν τελείως οι ραδιοεπικοινωνίες του κόμβου, καθώς ο τρόπος λειτουργίας σε κατάσταση αναμονής είναι σχεδόν τόσο ενεργοβόρος όσο η λειτουργία εκπομπής. Ωστόσο, μόλις ο κόμβος απενεργοποιήσει τελείως τις ραδιοεπικοινωνίες του, αποσυνδέεται ουσιαστικά από την υπόλοιπη τοπολογία του δικτύου και επομένως δεν μπορεί πλέον να πραγματοποιεί μεταγωγή πακέτων. Παρόλο που η τοπολογία είναι κυρίως μια πτυχή του στρώματος δικτύου, ορισμένα πρωτόκολλα χρησιμοποιούν πληροφορίες τοπολογίας για λήψη καλύτερων αποφάσεων στο MAC επίπεδο. Η Αξιοποίηση πληροφοριών σχετικών με τη τοπολογία στο επίπεδο MAC είναι ένα παράδειγμα στο οποίο ο διαστρωματικός σχεδιασμός μπορεί να βελτιώσει την απόδοση.

Τα δίκτυα αισθητήρων ενδέχεται να περιλαμβάνουν κόμβους με διαφορετικές δυνατότητες και πόρους. Οι κόμβοι μπορεί επίσης να είναι κινητοί, επομένως η τοπολογία ενός ενεργού δικτύου μπορεί να αλλάζει συχνά. Ως εκ τούτου, ένα αποτελεσματικό πρωτόκολλο είναι αυτό που προϋποθέτει όσο το δυνατόν γενικευμένη την τοπολογία. Το δίκτυο πρέπει επίσης να είναι σε θέση να προσαρμόζεται σε ετερογενείς δυνατότητες κόμβων με τρόπο που βελτιστοποιεί την απόδοση και ελαχιστοποιεί την κατανάλωση ενέργειας. Η τοπολογία δικτύου μπορεί τυπικά να περιγραφεί από άποψη ιεραρχίας και "αλμάτων" (hops). Ένα δίκτυο θα μπορούσε να έχει μια συγκεντρωτική, ή επίπεδη τοπολογία. Στην κεντρική περίπτωση, ελέγχει ένας μοναδικός κόμβος ή σταθμός βάσης (centralized) και διαχειρίζεται όλους τους άλλους κόμβους στο δίκτυο. Ομαδοποιημένες τοπολογίες (clustered) υποδεικνύουν έναν κόμβο σε κάθε ομάδα κόμβων για χειρισμό τοπικού κεντρικού ελέγχου της ομάδας. Οι επίπεδες τοπολογίες θεωρούν μια πλήρως κατανεμημένη προσέγγιση, όπου όλοι είναι αμφότεροι κόμβοι και δρομολογητές και η έννοια του κεντρικού ελέγχου απουσιάζει.

Κάνουμε έναν περαιτέρω χαρακτηρισμό των τοπολογιών πρωτοκόλλου εξετάζοντας τα "hop" ενός δικτύου. Ορισμένα πρωτόκολλα υποθέτουν ότι οι κόμβοι χρειάζεται μόνο για να επικοινωνούν με τους γείτονες που φθάνουν, και αναφέρονται ως single hop πρωτόκολλα. Άλλα πρωτόκολλα υποθέτουν ότι οι κόμβοι πρέπει να επικοινωνούν πέρα από τους προσβάσιμους γείτονές τους και ότι μερικές φορές ένα πακέτο πρέπει να μεταδοθεί μέσω πολλών ενδιάμεσων κόμβων για να φτάσει στον προορισμό του. Αναφερόμαστε σε αυτά τα πρωτόκολλα ως multihop. Τα single hop πρωτόκολλα είναι απλά αλλά περιοριστικά αφού παρέχουν περιορισμένη υποστήριξη σε μεγαλύτερα δίκτυα. Τα multihop πρωτόκολλα είναι πιο γενικά ως προς το πεδίο εφαρμογής τους και πιο κλιμακωτά, αν και εισάγουν πρόσθετη πολυπλοκότητα σε μηχανισμούς πρόσβασης καναλιών. [Wireless Ad Hoc and Sensor Networks]

ΚΕΦΑΛΑΙΑ 3 - ΥΠΟΒΡΥΧΙΑ ΔΙΚΤΥΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ (UWSNs)

3.1 Σύντομη Ιστορία των UWSNs

Είναι γεγονός ότι τα δίκτυα αισθητήρων δεν έχουν ιδιαίτερα μεγάλη ιστορία. Αυτό συνέβαινε γιατί υπήρχαν δυσκολίες στις τηλεπικοινωνιακές δυνατότητες του νερού και στη στασιμότητα των εξελίξεων στις δικτυακές υποδομές. Μοναδική εξαίρεση αποτελούσαν τα υποβρύχια δίκτυα για την μεταξύ των στρατιωτικών υποβρυχίων επικοινωνία. [Wireless Ad Hoc and Sensor Networks]

Για πολλά χρόνια, η παραδοσιακή προσέγγιση για την παρακολούθηση των ωκεανών ήταν η ανάπτυξη υποβρύχιων έξυπνων συστημάτων αισθητήρων που ήταν σε θέση να καταγράφουν δεδομένα και στη συνέχεια να τα ανακτούν στην επιφάνεια μετά τη συλλογή τους. Η προσέγγιση αυτή περιλάμβανε πολλούς περιορισμούς: α) είχε τα μειονεκτήματα ότι δεν επέτρεπε την ζωντανή (online) επεξεργασία των πληροφοριών που αποκτήθηκαν, β) ήταν αδύνατη η επικοινωνία κλειστού βρόχου / αμφίδρομης επικοινωνίας και η αναδιάταξη της αποστολής και γ) οι αποτυχίες και δυσλειτουργίες δεν εντοπίζονται τη στιγμή που έλαβαν χώρα. Η στρατιωτική εμπειρία με αυτή την τεχνολογία οδήγησε σε αυξημένο ενδιαφέρον για πολιτικές εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένης της ανάπτυξης υποβρύχιων δικτύων αισθητήρων (UWSNs). Το κύριο κίνητρο για υποβρύχια δίκτυα αισθητήρων (UWSNs) είναι η σχετική εύκολη ανάπτυξής τους, καθώς εξαλείφουν την ανάγκη για καλώδια και δεν παρεμβαίνουν στη ναυτιλιακή δραστηριότητα. Σήμερα η επέκταση των δικτύων αισθητήρων (WSNs) στα υποθαλάσσια δίκτυα αισθητήρων (UWSNs) έχει αναδείξει νέες δυνατότητες καθώς αυτά τα δίκτυα επιτρέπουν την ανάπτυξη έξυπνων, αναδιαμορφώσιμων και ανεκτικών σε σφάλματα κόμβων που έχουν τα ίδια πλεονεκτήματα με τα επίγεια WSNs. [A Survey on Underwater Wireless Sensor Networks and Applications, Wireless Ad Hoc and Sensor Networks]

3.2 Εφαρμογές των UWSNs

Υπάρχει ένα αρκετά ευρύ φάσμα εφαρμογών για υποβρύχια τα δίκτυα αισθητήρων, ενώ αυτά θα μπορούσαν να ταξινομηθούν όπως:

Δίκτυα δειγματοληψίας Ωκεανών. Δίκτυα αισθητήρων και AUV (Αυτόνομα Υποβρύχια Οχήματα, Autonomous Underwater Vehicle), όπως τα AUV κατηγορίας Odyssey [5], μπορούν να εκτελέσουν συνοπτική, συνεταιριστική προσαρμοστική δειγματοληψία του 3D παράκτιου ωκεάνιου περιβάλλοντος. Πειράματα όπως το πείραμα Monterey Bay [33] τον Αύγουστο του 2003 κατέδειξαν τα πλεονεκτήματα της συγκέντρωσης εξελιγμένων νέων ρομποτικών οχημάτων με προηγμένα μοντέλα ωκεανών για τη βελτίωση της ικανότητάς μας να παρατηρούμε και να προβλέπουμε τα χαρακτηριστικά του ωκεάνιου περιβάλλοντος.

- **Παρακολούθηση του περιβάλλοντος** όπως η παρακολούθηση της ρύπανσης (χημικές, βιολογικές, κ.λπ.), την παρακολούθηση των ωκεάνιων ρευμάτων και ανέμων, βελτιωμένη πρόγνωση καιρού, ανίχνευση της κλιματικής αλλαγής, η κατανόηση και η πρόβλεψη της επίδρασης των ανθρώπινων δραστηριοτήτων στα θαλάσσια οικοσυστήματα, η βιολογική παρακολούθηση, όπως η παρακολούθηση των ψαριών ή των μικροοργανισμών, είναι άλλες πιθανές εφαρμογές. Για παράδειγμα, στο περιγράφεται ο σχεδιασμός και η κατασκευή ενός απλού υποβρύχιου δικτύου αισθητήρων για τον εντοπισμό ακραίων κλίσεων θερμοκρασίας (thermoclines), που θεωρούνται χώρος αναπαραγωγής για ορισμένους θαλάσσιους μικροοργανισμούς.
- **Πρόληψη καταστροφών.** Τα δίκτυα αισθητήρων που μετράνε η σεισμική δραστηριότητα από απομακρυσμένες τοποθεσίες παρέχουν προειδοποιήσεις στις παράκτιες περιοχές για τσουνάμι και παρακολουθούν συνεχώς τα υποβρύχια ηφαίστεια. Συγκεκριμένα, τον Ιούλιο και τον Αύγουστο του 2011, εξερευνώντας το Axial Seamount, ένα τρίμηνο μετά την ηφαιστειακή έκρηξη στα ανοικτά των ακτών του Όρεγκον, το ρομπότ χαρτογράφησης πυθμένα του MBARI τεκμηριώνει μια τεράστια κάλυψη ροής λάβας σε μεγάλες εκτάσεις του πυθμένα. Επίσης, οι συχνές σεισμικές

η παρακολούθηση έχουν μεγάλη σημασία στις πλατφόρμες εξόρυξης πετρελαίου, λόγω της προκλητικής φύσης της.

- **Υποβοηθούμενη πλοήγηση.** Μπορούν να χρησιμοποιηθούν αισθητήρες για τον εντοπισμό επικίνδυνων βράχων ή κοπάδια σε ρηχά νερά, θέσεις αγκυροβόλησης και ναυάγια.
- **Κατανεμημένη τακτική επιτήρηση**. AUVs και σταθεροί οι υποβρύχιοι αισθητήρες μπορούν να παρακολουθούν από κοινού τις περιοχές για επιτήρηση, αναγνώριση, στόχευση και ανίχνευση εισβολών. Για παράδειγμα, στο [8], ένα 3D υποβρύχιο ο δίκτυο αισθητήρων έχει σχεδιαστεί για μια τακτική επιτήρηση που είναι σε θέση να ανιχνεύει και να ταξινομεί υποβρύχια, μικρά οχήματα παράδοσης (SDVs) και δύτες με βάση τα δεδομένα που ανιχνεύονται από μηχανικούς, ακτινοβολικούς, μαγνητικούς και ακουστικούς μικροαισθητήρες. Όσον αφορά τα παραδοσιακά συστήματα ραντάρ / σόναρ, τα υποβρύχια δίκτυα αισθητήρων μπορούν να επιτύχουν υψηλότερη ακρίβεια και να επιτρέψουν την ανίχνευση και την ταξινόμηση των στόχων χαμηλής υπογραφής συνδυάζοντας επίσης μέτρα από διαφορετικούς τύπους αισθητήρων.
- **Αναγνώριση ορυχείων.** Η ταυτόχρονη λειτουργία πολλαπλών μονάδων AUV με ακουστικούς και οπτικούς αισθητήρες χρησιμοποιούνται για την ταχεία εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων και την ανίχνευση αντικειμένων που μοιάζουν με ορυχεία. [A Survey on Underwater Wireless Sensor Networks and Applications]

3.3 Βέλτιστη τοποθέτηση των UWSNs

Τα UWSNs μπορούν είτε να διασπαρθούν τυχαία σε μια περιοχή ή χώρο, είτε να τοποθετηθούν σε συγκεκριμένες προκαθορισμένες θέσεις. Μερικοί μέθοδοι εγκατάστασης των UWSNs είναι οι παρακάτω:

- Τοποθέτηση ένα προς ένα από άνθρωπο ή ρομπότ.
- Διασπορά από σκάφος επιφάνειας ή αεροσκάφος.
- Διασπορά από ένα βλήμα ή πύραυλο που θα τα μεταφέρει.

Η περιοχή που μπορεί να καλύψει ένα UWSN εξαρτάται από τον αριθμό των αισθητήρων του, τα γεωμορφολογικά και περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά του και τη συχνότητα μετάδοσης. Για την επαρκή και μέγιστη δυνατή κάλυψη ενός χώρου, λαμβάνοντας υπόψη και τη μεγίστη απόσταση επικοινωνίας των αισθητήρων, πρέπει να υπάρχει ένα σχέδιο για το πώς πρέπει να τοποθετηθούν στο χώρο που πρέπει να καλυφθεί. Έτσι επιτυγχάνεται οικονομία στον αριθμό των χρησιμοποιούμενων αισθητήρων και περιορισμός του κόστους, μειώνεται η συμφόρηση δεδομένων και αποφεύγονται ανεπιθύμητα φαινόμενα όπως η ύπαρξη πολλών αλληλεπικαλυπτόμενων αισθητήρων σε μια περιοχή και η ύπαρξη σχετικά λίγων σε μια άλλη. [Wireless Ad Hoc and Sensor Networks]

3.4 Οι προκλήσεις σχεδιασμού UWSN

Ο σχεδιασμός ενός υποβρύχιου δικτύου αισθητήρων (UWSN) περιλαμβάνει αρκετές προκλήσεις. Παρακάτω θα αναφέρουμε μερικούς από τους διαφορετικούς παράγοντες που επηρεάζουν τη διαδικασία σχεδιασμού.

α. Εύρος ζώνης **(**Bandwidth): λόγο της απορρόφησης το εύρος ζώνης είναι περιορισμένο.

β. Καθυστέρηση διάδοσης (Propagation delay): Η καθυστέρηση διάδοσης στο υποβρύχιο περιβάλλον είναι πέντε τάξεις μεγέθους υψηλότερη από των RF. Επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τις εφαρμογές πραγματικού χρόνου των UWSN.

γ. Ζώνες σκίασης: Μπορεί να οριστεί ως περιοχή με υψηλά ποσοστά σφάλματος (BER) και προσωρινές απώλειες συνδεσιμότητας λόγω των ακραίων χαρακτηριστικών του υποθαλάσσιου καναλιού. Η αλμυρότητα, η πυκνότητα και οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας του νερού μπορούν να επηρεάσουν την επικοινωνία, όπως προσωρινές απώλειες συνδεσιμότητας.

δ. Ενέργεια: Η ισχύς της μπαταρίας είναι περιορισμένη επειδή οι υποβρύχιες μπαταρίες είναι εξαιρετικά δύσκολο να επαναφορτιστούν. Σε αντίθεση με τα επίγεια WSN, το UWSN δεν μπορεί να χρησιμοποιήσει ηλιακή ενέργεια για να επαναφορτίσει τις μπαταρίες.

ε. Βλάβη: Οι υποβρύχιοι αισθητήρες είναι επιρρεπείς σε βλάβη λόγω ρύπανσης και διάβρωσης.

στ. Εξασθένιση: Η εξασθένηση είναι η ελάττωση του πλάτους και της έντασης ενός σήματος.

[A Survey Of Underwater Wireless Sensor Networks]

3.5 Οι διαφορές με τα επίγεια δίκτυα αισθητήρων

Παρόλο που τα WSN και UWSN είναι διαφορετικά, κυρίως λόγω των μοναδικών χαρακτηριστικών του νερού, ορισμένες πτυχές της έρευνας των WSN μπορούν να εφαρμοστούν στα UWSN. Οι κυριότερες διαφορές μεταξύ των επίγειων και υποθαλάσσιων δικτύων αισθητήρων είναι οι εξής:

α. Μέθοδος επικοινωνίας: Τα UWSN χρησιμοποιούν κυρίως ακουστικά και ΗΜ σήματα ενώ τα WSN χρησιμοποιούν ραδιοκύματα.

β. Κόστος: Ενώ οι επίγειοι κόμβοι αισθητήρων αναμένεται να γίνουν όλο και πιο φθηνοί, οι υποβρύχιοι αισθητήρες είναι δαπανηρές συσκευές. Εξαιτίας της πολυπλοκότητας των UWSN και της αυξημένης προστασίας που απαιτείται από το υλικό

γ. Ισχύς: Τα UWSN χρειάζονται περισσότερη ισχύ επειδή χρησιμοποιούν χαμηλής συχνότητας σήματα και καλύπτουν μεγαλύτερη απόσταση. Σε σύγκριση με το ακουστικό σήμα, τα RF χρειάζονται λιγότερη ενέργεια, καθώς η επεξεργασία στους δέκτες δεν είναι τόσο περίπλοκη.

δ. Μνήμη: Η σύνδεση ενός υποβρύχιου σήματος μπορεί να διακοπεί από ειδικές υποβρύχιες καταστάσεις, όπως ζώνες σκιάς. Λόγω αυτού, οι υποβρύχιοι αισθητήρες πρέπει να αποκτήσουν περισσότερα δεδομένα για να αποτρέψουν την απώλεια δεδομένων. Ωστόσο, αυτό δεν αποτελεί πρόβλημα για τους επίγειους αισθητήρες.

ε. Πυκνότητα: Στις εφαρμογές επίγειων αισθητήρων, όπως τα συστήματα παρακολούθησης, οι αισθητήρες μπορούν να αναπτυχθούν πυκνά. Ένας υποβρύχιος αισθητήρας είναι πιο ακριβός από τον επίγειο αισθητήρα και θα κοστίσει περισσότερα χρήματα για να αναπτυχθεί πυκνά.

Στην πραγματικότητα, αυτές οι διαφορές είναι οι ενδείξεις για την ανάπτυξη νέας γενιάς UWSN. Πρώτον, θα πρέπει να δημιουργήσουμε κάποια νέα αισθητήρια για τη μείωση του κόστους. Επίσης, είναι απαραίτητο να δημιουργηθούν περιοδικοί μηχανισμοί καθαρισμού κατά της διάβρωσης, οι οποία μπορεί να επηρεάσει τη διάρκεια ζωής των υποβρύχιων συσκευών. Επιπλέον, το αναπτυγμένο δίκτυο θα πρέπει να είναι ιδιαίτερα αξιόπιστο, ώστε να αποφεύγεται η αποτυχία των αποστολών παρακολούθησης λόγω βλάβης απλών ή πολλαπλών αισθητήρων. Δεύτερον, πρέπει να κάνουμε έναν νέο αλγόριθμο ελέγχου ισχύος για το UWSN. "Πολλοί σύνθετοι αλγόριθμοι ελέγχου ισχύος που χρησιμοποιούν το RTS-CTS-ACK έχουν προταθεί στο παρελθόν για ασύρματα επίγεια δίκτυα". Ωστόσο, αυτοί οι αλγόριθμοι δεν μπορούν να προσαρμοστούν στο UWSN λόγω των χαρακτηριστικών του υποθαλάσσιου καναλιού και των σημαντικών καθυστερήσεων διάδοσης. Τρίτον, το πρωτόκολλο δικτύου είναι ένας ζωτικής σημασίας παράγοντας για την εξοικονόμηση ενέργειας και την παροχή αξιόπιστης σύνδεσης χρησιμοποιώντας αραιά υποβρύχια αισθητήρια. Σήμερα έχουν αναπτυχθεί πολλά διαφορετικά πρωτόκολλα για τα επίγεια WSN. Ωστόσο, δεν μπορούν να λειτουργήσουν στο UWSN. Όχι μόνο οι αρχιτεκτονικές του UWSN επηρεάζουν την ανάπτυξη ενός νέου πρωτοκόλλου, αλλά και τα χαρακτηριστικά του υποβρύχιου περιβάλλοντος. Είναι ένα άλλο διαφορετικό μέρος με τα επίγεια δίκτυα αισθητήρων. Ως εκ τούτου, μπορούμε να αναπτύξουμε διαφορετικά είδη πρωτοκόλλων σύμφωνα με τις αρχιτεκτονικές του UWSN.

[A Survey Of Underwater Wireless Sensor Networks]

3.6 Τρόποι μετάδοσης στο νερό

Η υποβρύχια έρευνα ασύρματων επικοινωνιών εστιάζεται στη χρήση ακουστικών, οπτικών και ηλεκτρομαγνητικών σημάτων. Η ποικιλία των διαθέσιμων συστημάτων αντικατοπτρίζει την ισχυρή εξάρτηση απόδοσης με τους περιορισμούς του μέσου. Κάθε διαμόρφωση και τεχνική συστήματος παρέχει λύσεις για συγκεκριμένες εφαρμογές, όπου η ανταλλαγή απόστασης και ρυθμού δεδομένων αποτελεί πρότυπο.

Αναλυτικά:

Α. Ακουστικά

Τα ακουστικά κύματα χρησιμοποιούνται ευρέως για υποβρύχιες επικοινωνίες σε μεγάλα βάθη διότι μπορούν να διαδίδονται σε μεγαλύτερες αποστάσεις. Σε ρηχά όμως νερά, επηρεάζονται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες και τον περιβαλλοντικό θόρυβο. Οι πολύ χαμηλές συχνότητες που χρησιμοποιούνται στα ακουστικά κύματα, έχουν ως αποτέλεσμα χαμηλό ρυθμό δεδομένων, υψηλή καθυστέρηση διάδοσης και υψηλό Bit Error Rate (BER).

Β. Οπτικά

Τα οπτικά συστήματα επικοινωνιών δεν αποτελούν τη βέλτιστη λύση για υποθαλάσσιες επικοινωνίες αφού η χαμηλή διαύγεια του νερού περιορίζει πολύ την ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων. Επιπλέον εμπόδιο αποτελεί και απαίτηση της πολύ καλής ευθυγράμμισης οπτικής-πηγής και οπτικού-δέκτη κάτι που στο υποθαλάσσιο περιβάλλον δεν είναι εύκολο.

Γ. Ηλεκτρομαγνητικά

Τα ΗΜ κύματα έχουν καλύτερες επιδόσεις σε ρηχά νερά και από τα ακουστικά και από τα οπτικά κύματα. Είναι ανεκτικά στον περιβαλλοντικό θόρυβο, στην χαμηλή διαύγεια του νερού και στις αλλαγές τις θερμοκρασίας. Επιπλέον επιτρέπουν χαμηλότερη καθυστέρηση διάδοσης και υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων της τάξης των Mbps σε σχέση με τα ακουστικά. Αυτές οι ιδιότητες των ΗΜ κυμάτων τα κάνουν την ιδανική λύση για real-time εφαρμογές όπου διαφορετικά είδη δεδομένων μπορούν να μεταδοθούν (κείμενο, εικόνα, βίντεο).

[Prospects and Problems of Wireless Communication for Underwater Sensor Networks]

3.7 Ηλεκτρικές ιδιότητες του θαλασσινού νερού

Η διάδοση των ΗΜ κυμάτων στο θαλασσινό νερό είναι σημαντικά διαφορετική από αυτή στον αέρα, επειδή το θαλασσινό νερό έχει διακριτές ηλεκτρικές ιδιότητες που επηρεάζουν σοβαρά τη διάδοση του σήματος. Έτσι, προκειμένου να αναπτυχθεί ένα ρεαλιστικό μοντέλο απωλειών διαδρομής για τα ΗΜ κύματα διάδοσης στο θαλασσινό νερό, αυτές οι ιδιότητες πρέπει να αναφερθούν.

Α. Αγωγιμότητα (Conductivity).

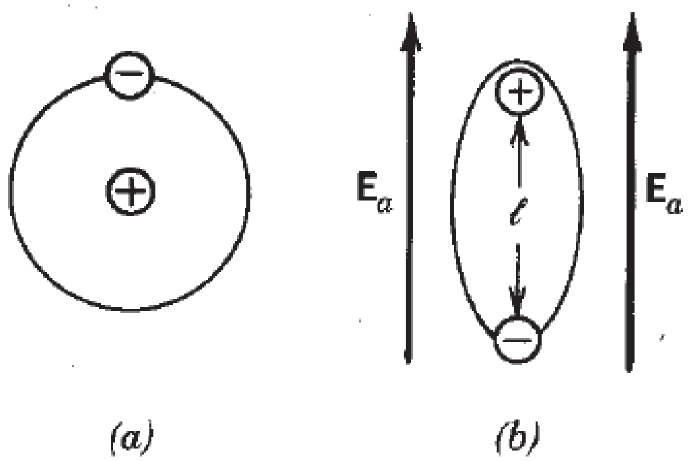
Η αγωγιμότητα ενός μέσου επηρεάζει τη μετάδοση του ΗΜ κύματος μέσο αυτού. Συγκεκριμένα, το μεταδιδόμενο σήμα θα αντιμετωπίσει μεγαλύτερη εξασθένιση όσο η αγωγιμότητα του μέσου θα αυξάνεται. Το θαλασσινό νερό έχει υψηλή αγωγιμότητα που ποικίλει από περιοχή σε περιοχή, ανάλογα με την παρουσία ιόντων σε αυτό. Για παράδειγμα η Κόκκινη Θάλασσα έχει αγωγιμότητα 8 S/m (Siemens/meter), ενώ αντίθετα η Αρκτική μόνο 2 S/m. Ενδιάμεση κατάσταση και συνήθης τιμή αποτελούν τα 4 S/m. Αυτή είναι 400 φορές μεγαλύτερη τιμή από την αγωγιμότητα του φυσικού νερού, γύρο στα 0,01 S/m.

Β. Διαπερατότητα (Permeability).

Διαπερατότητα είναι η ικανότητα του μέσου να αποθηκεύει μαγνητική ενέργεια. Εξαιτίας ότι το θαλασσινό νερό είναι ένα μη μαγνητικό μέσο, έχει την ίδια διαπερατότητα με το κενό (Free Space), $\mu_{seawater}=\mu_{freespace}$.

Γ. Επιτρεπτότητα (Permittivity).

Επιτρεπτότητα ή διηλεκτρική σταθερά ονομάζεται η ικανότητα του νερού να μεταδίδει ένα ηλεκτρικό πεδίο. Η σχετική διηλεκτρική επιτρεπτότητα του θαλασσινού νερού (ε_r), συνηθίζεται να ορίζεται ε_r=81. Διηλεκτρικά (μονωτικά) είναι υλικα των οποίων οι κυρίαρχες επιβαρύνσεις στα άτομα και τα μόρια είναι δεσμευμένες αρνητικές και θετικές επιβαρύνσεις που κρατούνται σε τάξη από ατομικές και μοριακές δυνάμεις, και δεν είναι ελεύθερα να ταξιδέψουν. Έτσι τα ιδανικά διηλεκτρικά δεν περιέχουν οποιεσδήποτε ελεύθερες δαπάνες φορτίων (όπως στους αγωγούς), και τα άτομα και τα μόρια τους είναι μακροσκοπικά ουδέτερα όπως φαίνεται στην εικόνα. Ωστόσο, όταν εφαρμόζονται εξωτερικά πεδία, αυτές οι δεσμευμένες αρνητικές και θετικές επιβαρύνσεις δεν μετακινούνται στην επιφάνεια του υλικού, όπως θα ίσχυε για τους αγωγούς, αλλά οι αντίστοιχες centroids (βαρύκεντρα) τους μπορούν να μετατοπιστούν ελαφρώς σε θέσεις (υποτίθεται ότι είναι ένα απειροελάχιστο απόσταση) σε σχέση μεταξύ τους, δημιουργώντας έτσι πολυάριθμα ηλεκτρικας δίπολα. Οι αγωγοί θετικές και αρνητικές επιβαρύνσεις χωρίζονται από μακροσκοπικές αποστάσεις, και μπορούν να χωριστούν από μια επιφάνεια της ολοκλήρωσης.



Εικόνα 10 - Τυπικό άτομο (a) με την απουσία και (b) με την εφαρμογή πεδίου.

Όταν ένα υλικό υποβάλλεται σε ένα ηλεκτρικό πεδίο, τα δίπολα πόλωσης του υλικού αλληλεπιδρούν με το εφαρμοσμένο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο. Για το διηλεκτρικό (μονώνοτικό) υλικό, εάν είναι στερεά, υγρά, ή αέρια, αυτή η αλληλεπίδραση παρέχει στο υλικό τη δυνατότητα να αποθηκεύει την ηλεκτρική ενέργεια, η οποία επιτυγχάνεται από τη μετατόπιση ενάντια στις περιοριστικές δυνάμεις των δεσμευμένων φορτίων τους όταν υποβάλλονται στις εξωτερικές δυνάμεις. Αυτό είναι ανάλογο με το τέντωμα ενός ελατηρίου ή την ανύψωση ενός βάρους.

Παρακάτω παρουσιάζεται εικόνα με τις τιμές διηλεκτρικής σταθεράς διαφόρων υλικών.

Approximate static dielectric constants (relative permittivities) of dielectric materials

Material	Static dielectric constant (ε_r)
Air	1.0006
Styrofoam	1.03
Paraffin	2.1
Teflon	2.1
Plywood	2.1
RT/duroid 5880	2.20
Polyethylene	2.26
RT/duroid 5870	2.35
Glass-reinforced teflon (microfiber)	2.32–2.40
Teflon quartz (woven)	2.47
Glass-reinforced teflon (woven)	2.4–2.62
Cross-linked polystyrene (unreinforced)	2.56
Polyphenelene oxide (PPO)	2.55
Glass-reinforced polystyrene	2.62
Amber	3
Soil (dry)	3
Rubber	3
Plexiglas	3.4
Lucite	3.6
Fused silica	3.78
Nylon (solid)	3.8
Quartz	3.8
Sulfur	4
Bakelite	4.8
Formica	5
Lead glass	6
Mica	6
Beryllium oxide (BeO)	6.8–7.0
Marble	8
Sapphire	$\varepsilon_x = \varepsilon_y = 9.4$ $\varepsilon_z = 11.6$
Flint glass	10
Ferrite (Fe_2O_3)	12–16
Silicon (Si)	12
Gallium arsenide (GaAs)	13
Ammonia (liquid)	22
Glycerin	50
Water	81
Rutile (TiO_2)	$\varepsilon_x = \varepsilon_y = 89$ $\varepsilon_z = 173$

Εικόνα 11

[An Underwater Wireless Sensor Network with Realistic Radio Frequency Path Loss Model, Advanced Engineering Electromagnetics]

3.8. Μοντέλο διάδοσης ΗΜ κύματος

Σε αυτή την ενότητα, θα μελετήσουμε την εξασθένιση που υφίσταται ένα κύμα κατά την διάδοση του στο θαλασσινό νερό. Κατόπιν θα παρουσιαστούν δεδομένα και διαγράμματα για τις διάφορες τιμές των συχνοτήτων και των αποστάσεων που θα χρησιμοποιηθούν.

Α. Απώλειες διάδοσης.

Όταν υπολογίζουμε τις απώλειες διάδοσης στο θαλασσινό νερό, ο συντελεστής εξασθένισης **α**, δίνεται από την σχέση:

$$a = \omega\sqrt{\mu\varepsilon}\,\left\{\frac{1}{2}\left[\sqrt{1+\left(\frac{\sigma}{\omega\varepsilon}\right)^2}-1\right]\right\}^{\frac{1}{2}}$$

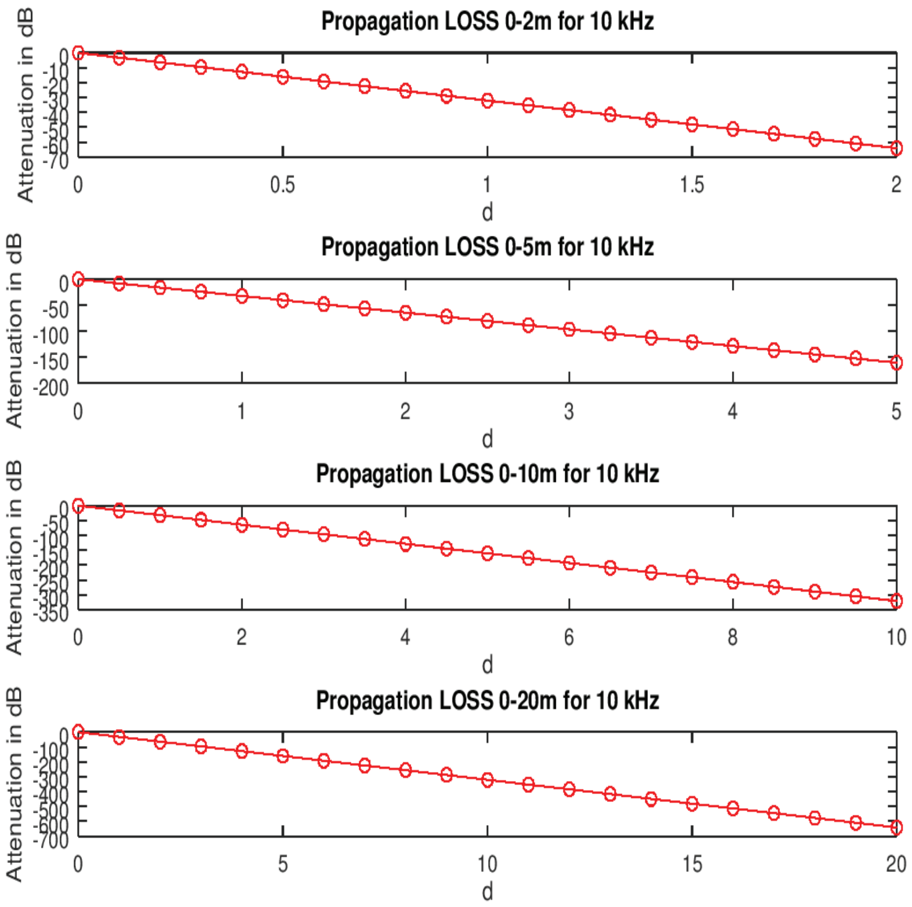
και οι απώλειες διάδοσης στο θαλασσινό νερό σε dB:

$\alpha_p = 10\log_{10}(e^{-2ad})$.

Με **d** συμβολίζουμε την απόσταση που διανύει το ΗΜ κύμα μέσα στο νερό, με **σ** την αγωγιμότητα και **ε** η διηλεκτρική σταθερά του νερού.
[Electromagnetic Wave Propagation into Fresh Water]

Β. Αποτελέσματα.

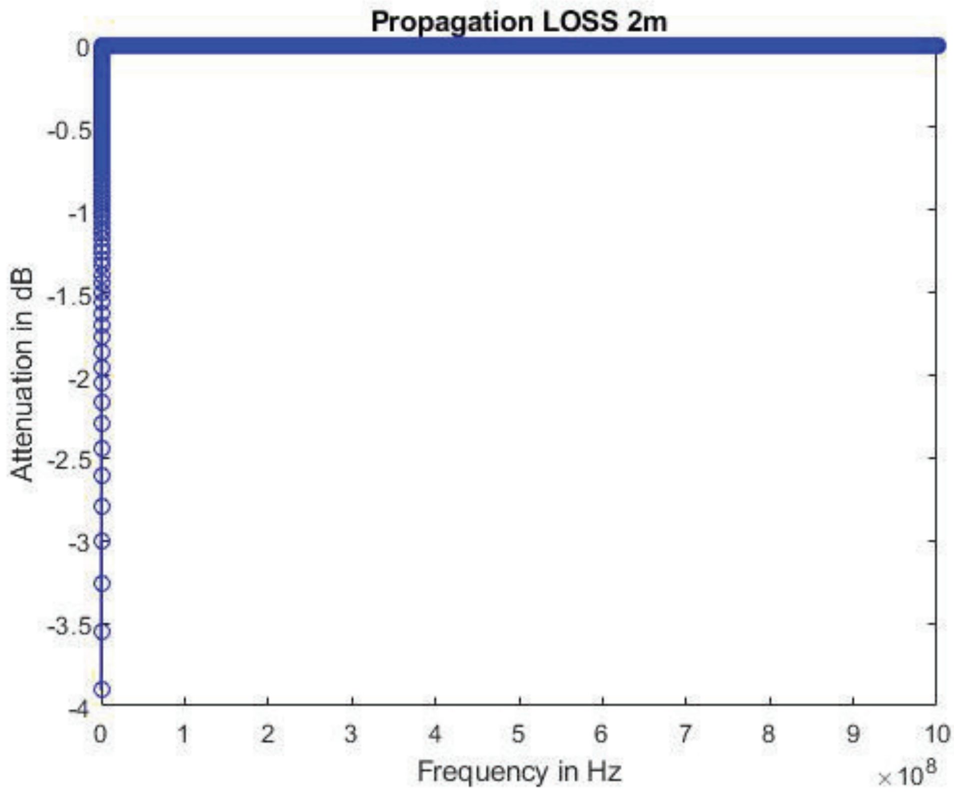
Κατά τη διάρκεια των προσομοιώσεων των απωλειών διάδοσης ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος μέσα στο θαλασσινό νερό, χρησιμοποιήθηκαν συχνότητες μεταξύ 10 kHz έως 1 GHz. Αυτό το εύρος συχνοτήτων περιλαμβάνει συχνότητες που χρησιμοποιούνται ευρέως στις υποβρύχιες επικοινωνίες, δηλαδή VLF έως UHF συχνότητες. Για την ακριβέστερη μελέτη χρησιμοποιήθηκαν και διαφορετικά βάθη, καθώς όσο αυξάνει το βάθος της διάδοσης αυξάνεται και η εξασθένιση.



Εικόνα 12

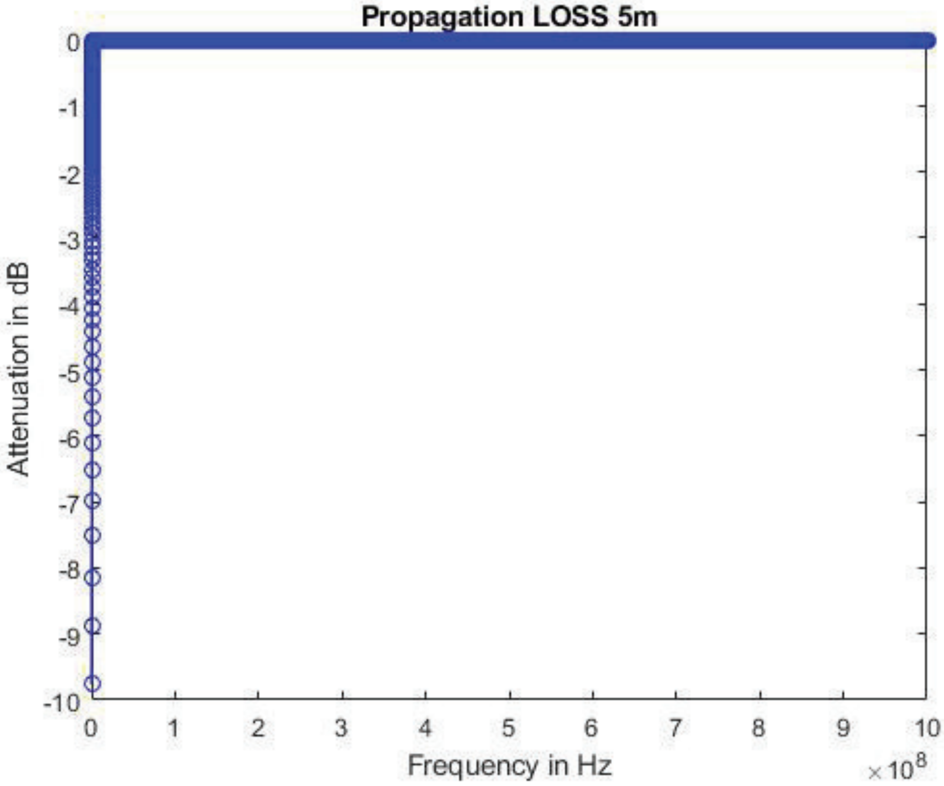
Στο παραπάνω διάγραμμα (Εικόνα 12), φαίνεται ξεκάθαρα η εξασθένιση που υφίσταται ένα ΗΜ κύμα συγκεκριμένης συχνότητας (10 kHz) καθώς αυτό διαδίδεται στο θαλασσινό νερό, για διάφορες τιμές της απόστασης. Σαν αποτέλεσμα η εξασθένιση της ισχύος (**a**) μειώνεται γραμμικά συναρτήσει της απόστασης (**d**).

Επιπλέον στις Εικόνες 13-16, χρησιμοποιήθηκαν τιμές για 4 διαφορετικά βάθη και παρατηρήθηκε ότι για μικρές αυξήσεις της συχνότητας στο εύρος 10 kHz - 1 GHz, η εξασθένιση αυξάνεται δραματικά. Έτσι είναι φανερό πως δεν μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε όλο το φάσμα συχνοτήτων μας, παρά μόνο ένα περιορισμένο χαμηλών συχνοτήτων.

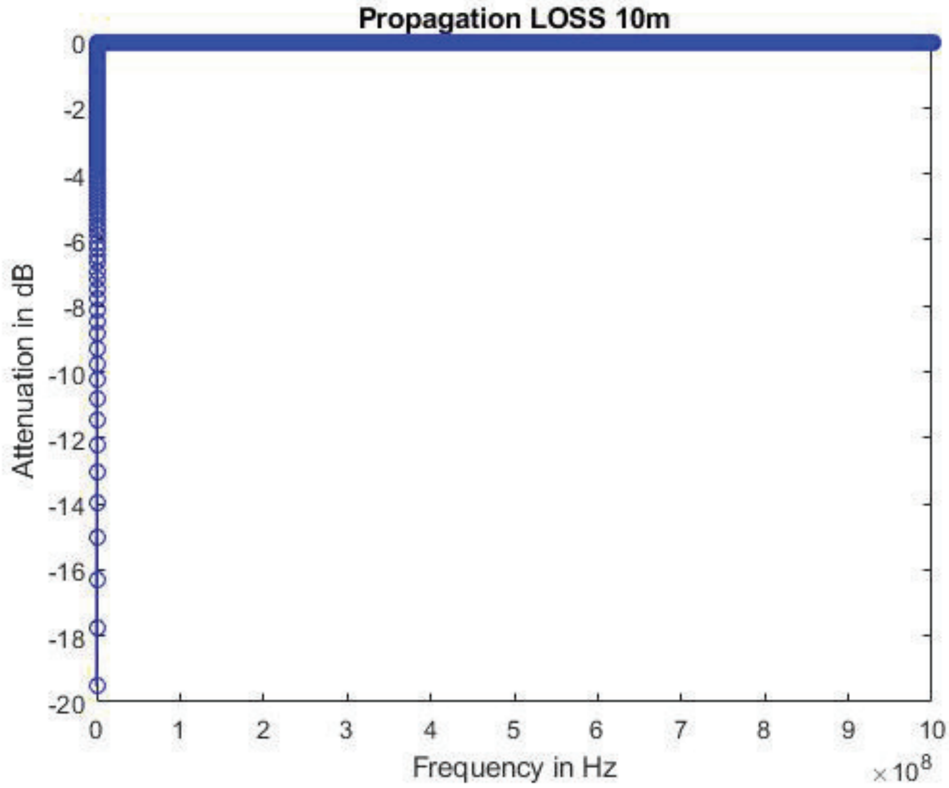


Propagation LOSS 2m
0
-0.5
-1
-1.5
-2
-2.5
-3
-3.5
-4
Attenuation in dB
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
Frequency in Hz
×10^8

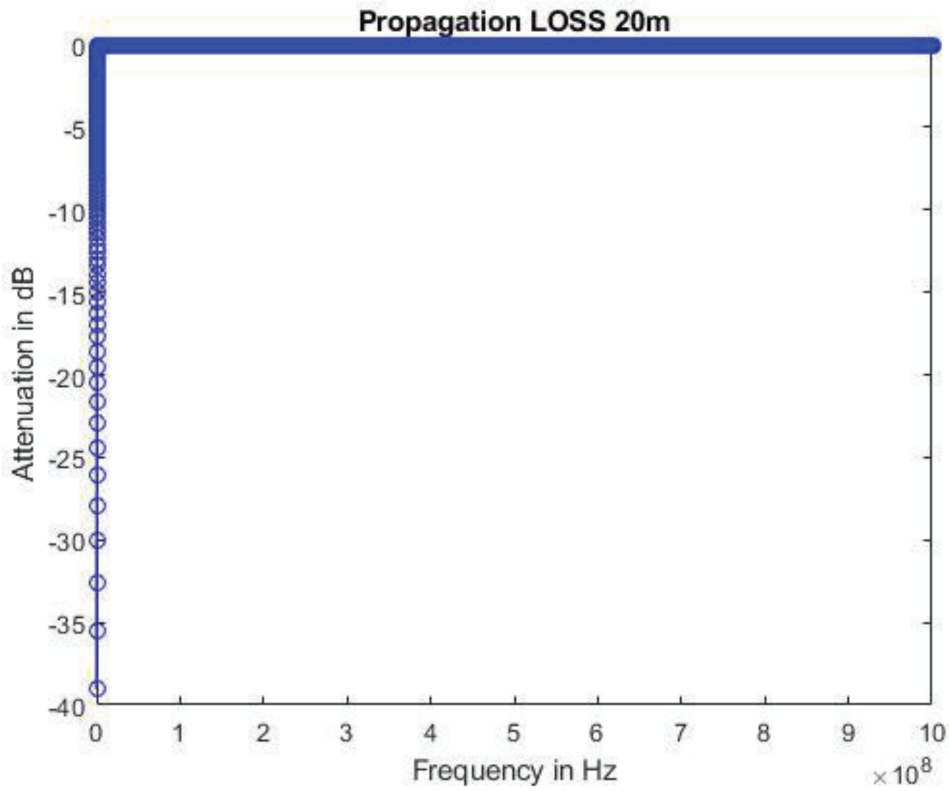
Εικόνα 13


Propagation LOSS 5m
Attenuation in dB
Frequency in Hz
0
-1
-2
-3
-4
-5
-6
-7
-8
-9
-10
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
$\times 10^8$

Εικόνα 14


Propagation LOSS 10m
Attenuation in dB
0
-2
-4
-6
-8
-10
-12
-14
-16
-18
-20
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
Frequency in Hz
$\times 10^8$

Εικόνα 15


Propagation LOSS 20m
Attenuation in dB
0
-5
-10
-15
-20
-25
-30
-35
-40
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
Frequency in Hz
$\times 10^8$

Εικόνα 16

3.9 Συμπέρασμα

Ένα μοντέλο επίπεδου κύματος χρησιμοποιήθηκε σε υποβρύχιο θαλάσσιο περιβάλλον για τον υπολογισμό της εξασθένισης που αυτό υφίσταται. Οι τιμές της εξασθένισης εξαρτώνται από παράγοντες όπως οι ηλεκτρομαγνητικές ιδιότητες του θαλασσινού νερού, τη συχνότητα, καθώς και της απόστασης της διάδοσης. Έτσι καταλήξαμε πως η βέλτιστη περιοχή λειτουργίας είναι ≈10 kHz για διάδοση σε βάθη μικρότερα των 5 μέτρων. Σε αυτό το βέλτιστο σενάριο των 10 kHz, το κύμα μας βιώνει αισθητά μικρότερη εξασθένιση σε σύγκριση με τις υψηλότερες συχνότητες της ανάλυσης μας. Τέλος η χρήση χαμηλών συχνοτήτων μας βοηθάει στην εξοικονόμηση ενεργειακών πόρων των αισθητήρων μας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ OCTAVE

4.1 Το λογισμικό Octave

Το GNU Octave είναι μια γλώσσα υψηλού επιπέδου που προορίζεται κυρίως για αριθμητικούς υπολογισμούς. Παρέχει μια κατάλληλη διεπαφή γραμμής εντολών για την αριθμητική επίλυση γραμμικών και μη γραμμικών προβλημάτων και για την εκτέλεση άλλων αριθμητικών πειραμάτων χρησιμοποιώντας μια γλώσσα που είναι ως επί το πλείστον συμβατή με το Matlab. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ως batch-oriented γλώσσα ().

Το Octave διαθέτει εκτενή εργαλεία για την επίλυση κοινών αριθμητικών γραμμικών αλγεβρικών προβλημάτων, εύρεση των ριζών μη γραμμικών εξισώσεων, ενσωμάτωση συνήθων λειτουργιών, χειρισμός πολυωνύμων και ενσωμάτωση συνήθων διαφορικών και διαφορικών αλγεβρικών εξισώσεων. Είναι εύκολα επεκτάσιμο και προσαρμόσιμο μέσω λειτουργιών που ορίζονται από το χρήστη γραμμένες στη γλώσσα του Octave ή χρησιμοποιώντας δυναμικά φορτωμένες λειτουργίες γραμμένες σε C ++, C, Fortran ή σε άλλες γλώσσες.

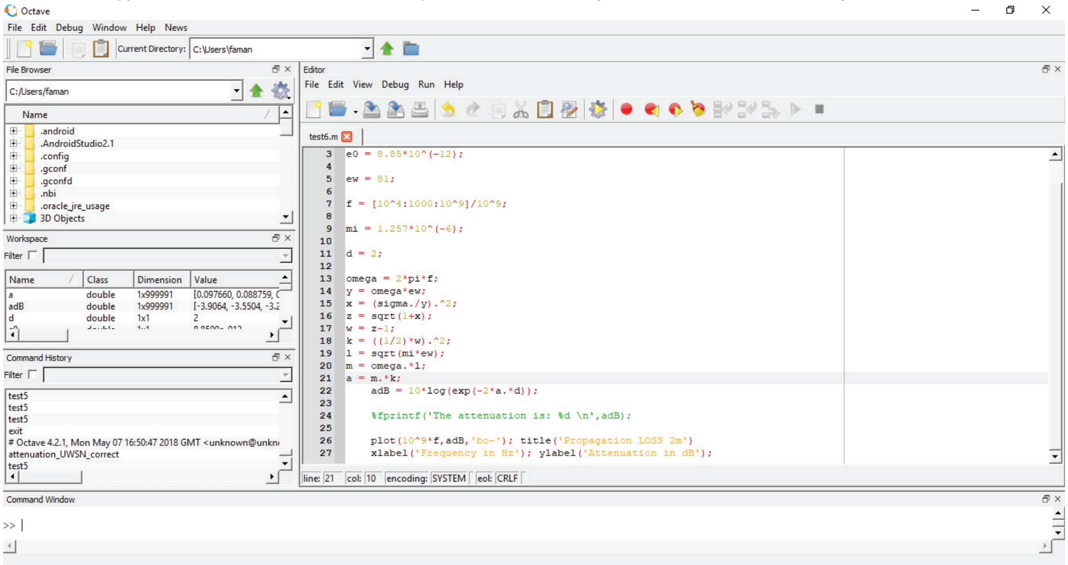
Το GNU Octave είναι επίσης ελεύθερα αναδιανεμητέο λογισμικό. Μπορείτε να το αναδιανείμετε και / ή να το τροποποιήσετε σύμφωνα με τους όρους της Γενικής Δημόσιας Άδειας GNU (GPL) όπως δημοσιεύεται από το Ίδρυμα Ελεύθερου Λογισμικού.

Το Octave γράφτηκε από τον John W. Eaton και πολλούς άλλους.

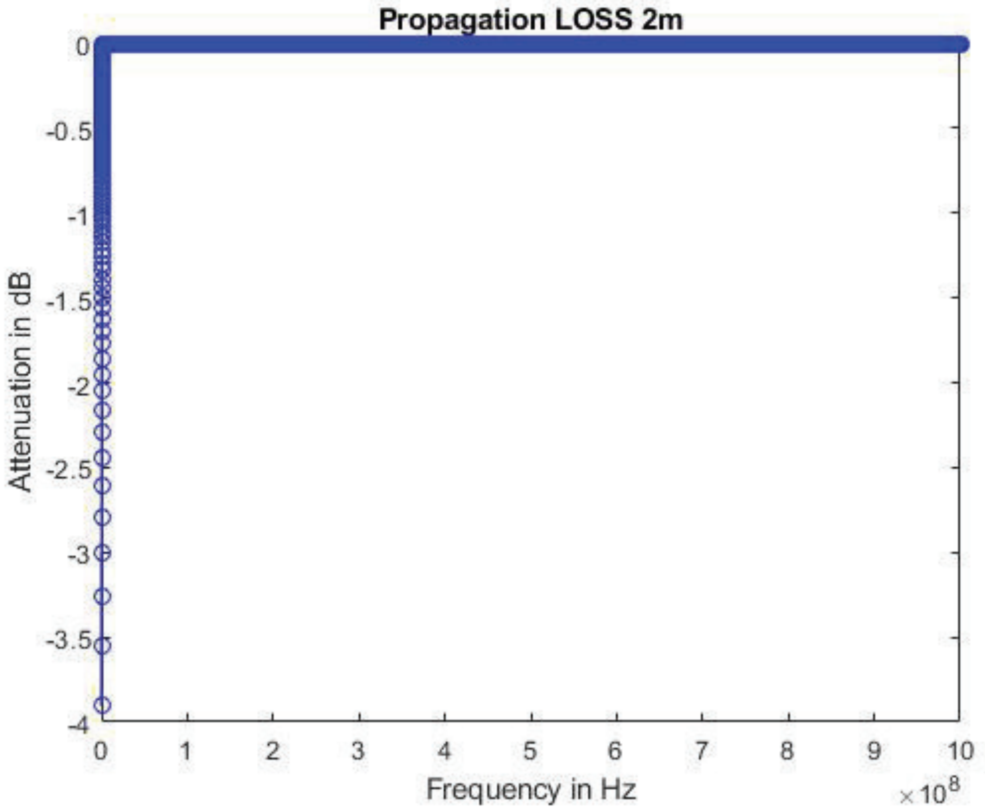
4.2 Η μεθοδολογία

Για τον καθορισμό της εξασθένισης του ΗΜ σε υποθαλάσσιο περιβάλλον χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Octave. Ο κώδικας που γράφτηκε και χρησιμοποιήθηκε αναφέρεται παρακάτω και αναφέρεται στην εξασθένιση για απόσταση 2 μέτρων.

Αντίστοιχα και για τις υπόλοιπες αποστάσεις



.



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Νικοπολιτίδης Π., «Ασύρματα Δίκτυα», Εκδόσεις Κλειδάριθμος

Raja Jurdak, “Wireless Ad Hoc and Sensor Networks “, Springer Science+Business Media

Καψάλης Χ., «Κεραίες Ασύρματες Ζεύξεις», Εκδόσεις Τζιόλα

Λούβρος Σ., «Το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας GSM», Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών

Andrea Goldsmith, "Wireless Communications", Cambridge University

Navpreet K., “Comparisons Of Wired And Wireless Networks”, Dav University, Jalandhar

Rim Negra, “Wireless Body Area Networks: Applications and technologies”, Procedia Computer Science

Milan Šimek, “Bandwidth Efficiency of Wireless Networks of WPAN, WLAN, WMAN and WWAN”, Brno University of Technology

Hewlett-Packard: http://www8.hp.com/h30458/ww/en/smb/927462.html

IEC, “Internet of Things: Wireless Sensor Networks”, International Electrotechnical Commission

Anil C.B., ”A Survey On Various Time Synchronization Techniques In Underwater Sensor Networks”, ICETEM, 2014

Sami M. Lasassmeh, “Time Synchronization in Wireless Sensor Networks: A Survey”, University of North Carolina

Peng Xie, “R-MAC: An Energy-Efficient MAC Protocol for Underwater Sensor Networks”, University of Connecticut

Raheleh Hashemzehi, “Congestion in Wireless Sensor Networks and Mechanisms for Controling Congestion”, IJCSE

Lanbo Liu, “Prospects and Problems of Wireless Communication for Underwater Sensor Networks”, Wiley WCMC Special Issue On Underwater Sensor Networks

Bo Dong, “A Survey on Underwater Wireless Sensor Networks and Applications”, Texas A&M University–Corpus Christi

Ghaith Hattab, “An Underwater Wireless Sensor Network with Realistic Radio Frequency Path Loss Model”, Hindawi Publishing Corporation, International Journal of Distributed Sensor Networks

Shan Jiang, “Electromagnetic Wave Propagation into Fresh Water”, Journal of Electromagnetic Analysis and Applications, 2011

Balanis C., "Advanced Engineering Electromagnetics", Wiley, 1989

Waltenegus D., "Fundamentals of Wireless Sensor Networks" , Wiley

GNU Octave: https://www.gnu.org/software/octave/