



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΑΣΥΡΜΑΤΑ
ΔΙΚΤΥΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ**

Μαρία Κακοσούρη

Επιβλέπων: Γεώργιος Τσουμάνης

Άρτα, Σεπτέμβριος, 2021

**OPTIMAZATION ENERGY CONSUMPTION IN WIRELESS
SENSOR NETWORKS**

Εγκρίθηκε από τριμελή εξεταστική επιτροπή

Άρτα, Ημερομηνία

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

1. Επιβλέπων καθηγητής
Γεώργιος Τσουμάνης,
2. Μέλος επιτροπής
Κωνσταντίνος Αγγέλης,
3. Μέλος επιτροπής
Τσορμπατζόγλου Ανδρέας,

© Κακοσούρη, Μαρία, 2021.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Δήλωση μη λογοκλοπής

Δηλώνω υπεύθυνα και γνωρίζοντας τις κυρώσεις του Ν. 2121/1993 περί Πνευματικής Ιδιοκτησίας, ότι η παρούσα πτυχιακή εργασία είναι εξ ολοκλήρου αποτέλεσμα δικής μου ερευνητικής εργασίας, δεν αποτελεί προϊόν αντιγραφής ούτε προέρχεται από ανάθεση σε τρίτους. Όλες οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν (κάθε είδους, μορφής και προέλευσης) για τη συγγραφή της περιλαμβάνονται στη βιβλιογραφία.

Κακοσούρη, Μαρία

Υπογραφή

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κύριο Τσουμάνη αρχικά γιατί μου εμπιστεύτηκε αυτό το θέμα για την εκπόνηση της πτυχιακής μου εργασίας, έπειτα γιατί πίστεψε σε εμένα, επιπλέον για τη βοήθεια που μου παρείχε και τέλος για την υπομονή και τη στήριξη που έδειξε όλο αυτό το διάστημα. Επίσης θα ήθελα να αφιερώσω ένα ακόμη μικρό μέρος για να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τη φίλη μου Φρόσω όσον αφορά τη ψυχολογική στήριξη που μου παρείχαν όλο αυτό το διάστημα για τις δύσκολες στιγμές που υπήρξαν.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι διπλός. Από τη μια στοχεύει στην ανάλυση της λειτουργίας των ασύρματων δικτύων αισθητήρων, στην επικοινωνία μεταξύ των κόμβων μέσα σε ένα δίκτυο και στο πρόβλημα του ενεργειακού κενού που δημιουργείται κατά τη μετάδοση δεδομένων κοντά στον κόμβο συλλέκτη. Από την άλλη, περιγράφεται η λειτουργία ενός υπαρκτού αλγορίθμου που στοχεύει στην προσέγγιση του προβλήματος του ενεργειακού κενού, ενώ επιχειρείται η περαιτέρω διεύρυνση του συγκεκριμένου αλγορίθμου.

Καθώς τα δίκτυα αισθητήρων έχουν εισχωρήσει σε μεγάλο βαθμό στην καθημερινότητα μας η μελέτη τους και η εξέλιξη τους πλέον έχει γίνει απαραίτητη. Δίνουν λύσεις σε αρκετές περιπτώσεις έχουν αρκετά πλεονεκτήματα με ένα σοβαρό μειονέκτημα, η σύντομη διάρκεια ζωής τους λόγω της κατανάλωσης ενέργειας είναι ένα μείζον ζήτημα καθώς μπορεί να γίνει ένα ολόκληρο δίκτυο μη λειτουργικό. Αναλύεται ο τρόπος με τον οποίο μεταδίδονται τα πακέτα και πόση ενέργεια χρειάζεται για αυτή τη διαδικασία. Έχοντας μια εκτεταμένη βιβλιογραφία αναφέρονται λεπτομερώς η τοπολογία, η δρομολόγηση, το φορτίο κίνησης και η κατανάλωση ενέργειας του δικτύου. Τέλος, παραθέτονται τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων με τροποποιήσεις του υπό εξέταση αλγορίθμου.

Λέξεις-κλειδιά: Αλγόριθμος, Δίκτυα Αισθητήρων, Ενεργειακό Κενό, Κόμβοι .

ABSTRACT

The purpose of this work has two fields of analysis. The communication between nodes in a network and the energy hole problem that is created during the transmission of data close to sink node. On the one hand it aims at the analysis of the operation of the wireless sensor network, in communication between nodes in a wireless network and the hole energy problem, which has created from the data transmission near the sink node. On the other hand, described the operation of an existing algorithm aimed at the approaching the energy hole problem, while at the same time attempting to further extend this algorithm.

Due to the wireless sensor networks have largely penetrated into our daily routine, their study and evolution has become necessary. Provide solutions in many cases, they have several advantages with a serious disadvantage, their short life due to energy consumption is a major issue as it can make an entire network non-functional. Here analyzes how packets are transmitted and how much energy is needed for this process. Having an extensive literature, the topology model, the routing model, the cumulative traffic load model and the energy consumption of the network are report in detail. In conclusion, the results of the simulations with modifications of this algorithm are presented.

Keywords: Algorithm, WSN, Energy Hole Problem, Nodes.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	6
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	7
ABSTRACT.....	8
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ.....	9
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	11
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	12
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	13
1 Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων	13
1.1 Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων	13
1.1.1 Κόμβος	14
1.1.2 Αισθητήρας	15
1.2 Χαρακτηριστικά Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων	17
1.3 Τοπολογίες Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων	19
1.4 Προβλήματα και Περιορισμοί των Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων.....	21
1.5 Το Πρόβλημα του Ενεργειακού Κενού.....	21
1.5.1 Περιγραφή του Προβλήματος	22
2 Κεφάλαιο : Κατανάλωση Ενέργειας	23
2.1 Εισαγωγή.....	23
2.2 Βελτιστοποίηση Κατανάλωσης Ενέργειας.....	24
2.2.1 Η ανάγκη για Βελτιστοποίηση Κατανάλωσης Ενέργειας	24
2.3 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	24
2.3.1 Τοποθέτηση Κόμβου Συλλέκτη βιβλιογραφική αναφορά.....	25
2.3.2 A Lifetime Extension Framework.....	26
2.4 Facility Location – Λογική.....	27
3 Το Μοντέλο του Συστήματος και ο Αλγόριθμος LEA.....	28

3.1	Το Μοντέλο Συστήματος	28
3.1.1	Τοπολογία.....	28
3.1.2	Δρομολόγηση	30
3.1.3	Φόρτος Δικτύου.....	30
3.1.4	Κατανάλωση Ενέργειας	31
3.2	Αλγόριθμος LEA.....	32
3.3	Αλγόριθμος LEA2.....	33
3.4	Αποτελέσματα	34
3.4.1	Το OMNeT++	35
3.4.2	Περίπτωση πρώτη : Ο Αλγόριθμος είναι εκτός λειτουργίας.....	35
3.4.3	Περίπτωση δεύτερη : Ο Αλγόριθμος είναι σε λειτουργία	36
3.4.4	Περίπτωση Τρίτη : Ο Αλγόριθμος εξετάζει την απόσταση σε 3 Hops	37
3.4.5	Περίπτωση τέταρτη : Ο Αλγόριθμος εξετάζει την απόσταση σε 4 Hops.....	38
	Κεφάλαιο 4 : Συμπεράσματα	38
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	40

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1 Εμπορικά Διαθέσιμοι Αισθητήρες σε WSN	17
---	----

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1 - Λειτουργία Αισθητήρα [5]	16
Εικόνα 2 Κατανεμημένη Τοπολογία [7]	19
Εικόνα 3 Ιεραρχική Τοπολογία [7]	20
Εικόνα 4 Ομαδοποιημένη Τοπολογία [7].....	20
Εικόνα 5 Energy Hole Problem [9].....	22
Εικόνα 6 Network Topology : A connected and planar undirected graph	29
Εικόνα 7 Lifetime Extension Algorithm Off.....	36
Εικόνα 8 Lifetime Extension Algorithm On	36
Εικόνα 9 Lifetime Extension Algorithm 3 Hops Away from Sink node	37
Εικόνα 10 Lifetime Extension Algorithm 4 Hops Away from Sink node	38

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων (ΑΔΑ - Wireless Sensor Networks - WSNs) αποτελούν πλέον το βασικό πυλώνα της πληροφορικής, της ηλεκτρονικής και πολλών ακόμη τομέων. Αποτελούν μια ειδική κατηγορία ασύρματων δικτύων η οποία τα τελευταία χρόνια έχει αποκτήσει έντονο ενδιαφέρον λόγω του ότι δίνεται η ευκαιρία για να χρησιμοποιηθεί σε πολλές εφαρμογές. Τα βασικά χαρακτηριστικά των κόμβων των ΑΔΑ είναι οι περιορισμένες διαστάσεις που έχουν, οι χαμηλές υπολογιστικές δυνατότητες και η περιορισμένη ενεργειακή επάρκεια.

Η πολύ-αλματική λογική που συνήθως ακολουθείται στα ΑΔΑ ορίζει ότι οι κόμβοι που βρίσκονται γύρω από τον κόμβο συλλέκτη (sink node) αναμεταδίδουν τα δεδομένα από άλλους (πιο μακρινούς) κόμβους, άρα και εξαντλούν πιο γρήγορα την ενέργεια τους με αποτέλεσμα την δημιουργία του λεγόμενου Προβλήματος του Ενεργειακού Κενού (Energy Hole Problem). Όταν εμφανιστεί το πρόβλημα του ενεργειακού κενού, κάποιοι από τους κοντινούς στον κόμβο συλλέκτη αδειάζουν γρήγορα τη μπαταρία τους λόγω των συνεχών αναμεταδόσεων. Σαν αποτέλεσμα, τα δεδομένα δεν μπορούν να σταλούν από άλλους κόμβους στον κόμβο συλλέκτη, παρόλο που οι μακρινοί κόμβοι έχουν ακόμη ενέργεια.

Στόχος αυτής της διπλωματικής είναι η μελέτη και η συμπεριφορά των ασύρματων δικτύων αισθητήρων καθώς και η επέκταση διάρκειας ζωής ενός πακέτου στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων μέσω μετατροπών σε έναν ήδη κατασκευασμένο αλγόριθμο (LEA – Lifetime Extension Algorithm). Η εργασία στηρίζεται στο άρθρο «A Lifetime Extension Framework for Wireless Sensor Networks». Οι μετατροπές γίνονται στον αλγόριθμο LEA και χρησιμοποιείται το προγραμματιστικό περιβάλλον OMNET++.

1 Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων

1.1 Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων

Ένα Ασύρματο Δίκτυο Αισθητήρων (ΑΔΑ/ Wireless Sensor Network - WSN), είναι ένα δίκτυο που απαρτίζεται από αυτόνομους και διασκορπισμένους μέσα σε ένα πεδίο αισθητήρες, οι οποίοι χρησιμοποιούνται συνήθως για την παρακολούθηση φυσικών συνθηκών, παίρνοντας ερεθίσματα από το περιβάλλον (π.χ. κίνηση, ήχος, καιρικά φαινόμενα, θερμοκρασία κτλ.) [1]. Έπειτα αφού συλλέγουν οι αισθητήρες τα δεδομένα μέσω μίας συνεργασίας όλων των κόμβων τα στέλνουν μέσω του δικτύου στο σταθμό βάσης που συλλέγει όλες τις πληροφορίες. Μεμονωμένες συσκευές στο δίκτυο καλούνται ως κόμβοι αισθητήρων ή απλά κόμβοι.

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων αποτελούνται από κόμβους με δυνατότητες ανίχνευσης σημάτων, υπολογισμό και ασύρματη επικοινωνία με άλλους κόμβους. Αυτοί οι αισθητήρες έχουν τη δυνατότητα να επικοινωνούν μεταξύ τους ή να έχουν μια αμφίδρομη επικοινωνία με τον κόμβο συλλέκτη, όπως δηλαδή στέλνουν δεδομένα σε αυτόν μπορούν και να δεχτούν. Τα πιο σύγχρονα δίκτυα είναι σε θέση να παρέχουν και να λαμβάνουν πληροφορίες, κάτι το οποίο τους επιτρέπει να έχουν υπό έλεγχο τη δραστηριότητα των αισθητήρων. Πιο συγκεκριμένα τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων είναι μία επαναστατική τεχνολογική καινοτομία όπου έχει ραγδαία εξέλιξη στους επιστημονικούς τομείς και όχι μόνο. Πλέον λόγω των υψηλών απαιτήσεων για να λειτουργήσει σωστά ένα ΑΔΑ έχουν εξελιχθεί πολύ και οι υπολογιστές ως προς το υλικολογισμό τους, προκειμένου να μπορούν να ανταπεξέλθουν σε ένα μεγαλύτερο εύρος εφαρμογών.

Ο πρωταρχικός ρόλος των ασύρματων δικτύων αισθητήρων ήταν για στρατιωτικούς σκοπούς και πιο συγκεκριμένα για τη συνεχή παρακολούθηση. Ωστόσο, με την πάροδο των χρόνων επεκτάθηκαν και σε άλλους τομείς, όπως στη βιομηχανία, στη γεωργία, στην ιατρική και σχεδόν σε όλους τους τομείς [2].

Παραδείγματα άλλων τομέων όπου χρησιμοποιούνται κατά κόρον τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων αναφέρονται παρακάτω:

- Στρατιωτικές εφαρμογές
- Παρακολούθηση ειδών
- Παρακολούθηση περιβάλλοντος
- Εφαρμογές υγείας
- Οικιακές εφαρμογές
- Γεωργία
- Πάρκα πηγών ενέργειας (π.χ. φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες)

1.1.1 Κόμβος

Κόμβος θεωρείται στην παρούσα εργασία οποιαδήποτε συσκευή είναι σε θέση να στέλνει ή να αποθηκεύει δεδομένα (ή ένα πακέτο δεδομένων) και να μπορεί να τα αναμεταδίδει μέσα σε ένα δίκτυο και σε ένα σύνολο από άλλους κόμβους. Παραδείγματος χάρη σε ένα δίκτυο που συνδέονται ασύρματα δύο υπολογιστές και δύο εκτυπωτές, έχει συνολικά 6 κόμβους. Για να μπορέσει να λειτουργήσει ένα δίκτυο με κόμβους, πρέπει οι κόμβοι να έχουν κάποιο αναγνωριστικό, δηλαδή κάποια διεύθυνση MAC ή μία διεύθυνση IP, προκειμένου να μπορούν να αναγνωριστούν με αυτόν τον τρόπο από άλλες συσκευές του δικτύου. Σε κάθε άλλη περίπτωση χωρίς κάποια μορφή αναγνώρισης ή εάν ο κόμβος είναι εκτός δικτύου δε

θεωρείται πλέον κόμβος. Υπάρχουν πολλές περιπτώσεις όπου ένας κόμβος μέσα σε ένα δίκτυο λειτουργεί και ως διακομιστής μεσολάβησης και μεταδίδει πληροφορίες σε άλλους κόμβους μέσα στο δίκτυο. Με αυτόν τον τρόπο λειτουργεί ένα δίκτυο peer-to-peer (P2P).

Σε πολλές εφαρμογές οι κόμβοι αισθητήρων τροφοδοτούνται από μπαταρίες μιας και είναι περιορισμένη η παροχή ενέργειας σε αυτούς. Σαν αποτέλεσμα είναι υψίστης σημασίας οι καινοτόμες τεχνικές που εξαλείφουν την ενεργειακή αναποτελεσματικότητα που θα μειώσει τη διάρκεια ζωής του δικτύου. Δύο είναι τα κύρια συστήματα που αποτελούν κάθε κόμβο σε ένα ΑΔΑ. Από τη μια πλευρά έχουμε το σύστημα αισθητήρων το οποίο δέχεται τις πληροφορίες από το περιβάλλον και τις παραπέμπει στο σύστημα επεξεργασίας όπου και θα υλοποιηθεί η επεξεργασία και η ψηφιοποίηση. Αφού πραγματοποιηθούν οι διαδικασίες αυτές το ανωτέρω σύστημα έχει έργο την αποστολή της πληροφορίας στο σύστημα ασύρματης επικοινωνίας προκειμένου να γίνει η μετάδοσή της.

Στο ΑΔΑ που περιεγράφηκε στην προηγούμενη παράγραφο μπορούμε να διακρίνουμε δύο θεμελιώδεις λειτουργίες. Η μία σχετίζεται με το σύνολο των κόμβων των αισθητήρων, ενώ η άλλη στον συνδεδεμένο με το κεντρικό υπολογιστικό σύστημα κόμβο. Σε ότι αφορά την πρώτη κατηγορία, ο μικροεπεξεργαστής συγκεντρώνει το σύνολο των πληροφοριών από το περιβάλλον, τις ψηφιοποιεί, τις μεταβάλλει, τις μετατρέπει δηλαδή στα επονομαζόμενα πακέτα και τις αποστέλλει στον κοντινότερό του κόμβο, με σκοπό να φτάσουν μέσω αυτού στον κεντρικό κόμβο, στον συλλέκτη. Συγχρόνως, επιτυγχάνει και λήψη και αναμετάδοση πληροφοριών που προέρχονται από άλλους κόμβους.

Ο κόμβος συλλέκτης από την άλλη, όπως προδίδει και το όνομά του, συλλέγει πακέτα με πληροφορίες από κόμβους που ευρίσκονται δίπλα του ή τουλάχιστον κοντά του και έρχεται σε επικοινωνία με το υπολογιστικό σύστημα προκειμένου να της αποστείλει. Σε εργαστηριακό επίπεδο, κάθε κόμβος προγραμματίζεται εξ αρχής με το προσφορότερο για τη λειτουργία του πρόγραμμα. Ιδιαίτερα, οι κόμβοι αισθητήρων προγραμματίζονται με λογισμικό που επιτελεί τη λήψη/αποστολή, σε αντίθεση με τον κόμβο συλλέκτη ο οποίος προγραμματίζεται με πρόγραμμα το οποίο δέχεται και παραπέμπει την πληροφορία στο υπολογιστικό σύστημα [3].

1.1.2 Αισθητήρας

Ένας αισθητήρας αναφέρεται συνήθως σε ένα σύστημα που παίρνει ένα φυσικό μέγεθος και διάφορα ερεθίσματα από το περιβάλλον ως είσοδο και τα μετατρέπει σε ένα άλλο φυσικό μέγεθος (μετρήσιμο) που μπορεί να αναγνωρίσει μία συσκευή ως έξοδο. Στην καθημερινή μας ζωή υπάρχουν πάρα πολλά παραδείγματα από τη χρήση αισθητήρων. Ένα κλασσικό

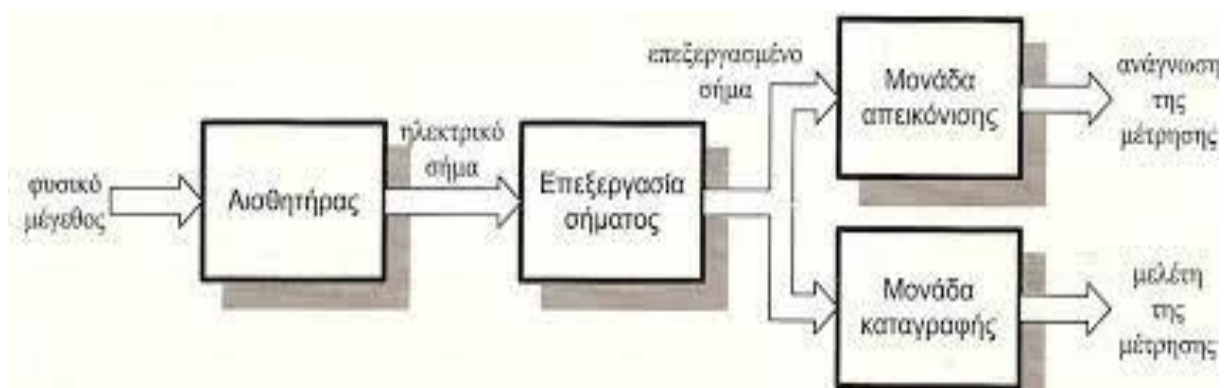
παράδειγμα αισθητήρα είναι το φωτοκύτταρο, όπου με την παραμικρή κίνηση ανιχνεύσει ο αισθητήρας ανάβει αμέσως το φως.

Οι αισθητήρες έχουν λάβει χρησιμότητα σε πολλούς τομείς, όχι μόνο στα δίκτυα και στο κομμάτι της πληροφορικής και τηλεπικοινωνιών αλλά και στον τομέα της αυτοκίνησης, της υγείας, του περιβάλλοντος (παρακολούθηση σεισμογράφων) και σχεδόν σε όλους τους τομείς της καθημερινότητας [4]. Οι αισθητήρες έχουν την ικανότητα να ανιχνεύουν διάφορα φυσικά μεγέθη από το περιβάλλον στο οποίο είναι τοποθετημένοι και γι' αυτό το λόγο θεωρούνται αρκετά πολύτιμοι, λόγω του ότι μπορούμε εξ αποστάσεως να συλλέγουμε δεδομένα. Ωστόσο όταν μιλάμε για αισθητήρες θα είναι χρήσιμο να αναφέρουμε ότι χρησιμοποιούνται σε δύο διαφορετικές περιπτώσεις, η πρώτη είναι για τη συλλογή πληροφοριών και η δεύτερη για τον έλεγχο σημάτων.

Ο σκοπός των αισθητήρων στην πρώτη περίπτωση είναι η συλλογή δεδομένων προκειμένου να υπάρχει μια συνεχόμενη παρακολούθηση των παραγόντων σε ένα σύστημα, όπως για παράδειγμα οι αισθητήρες σε ένα σεισμογράφο, όπου είναι απαραίτητο να είναι γνωστή η τρέχουσα κατάστασή του. Άλλη μία δυνατότητα είναι μία ολοκληρωμένη απεικόνιση των παραμέτρων ενός συστήματος, αυτό είναι ειδικά πολύ χρήσιμο στον τομέα υγείας (π.χ. μηχανήμα holter για καρδιοπαθείς).

Η δεύτερη περίπτωση δε διαφέρει πολύ από την πρώτη, το βασικό τους χαρακτηριστικό είναι ότι για τον έλεγχο σημάτων υπάρχει τρόπος που αξιοποιείται η πληροφορία η οποία λαμβάνεται. Ειδικότερα στα συστήματα ελέγχου, το σήμα ελέγχου τροφοδοτείται από έναν ελεγκτή, ο οποίος παράγει προσαρμόσιμη έξοδο της τιμής που μέτρησε.

Στο παρακάτω σχήμα Εικόνα 1 περιγράφεται βήμα-βήμα πως από ένα απλό φυσικό μέγεθος ανιχνεύεται από τον αισθητήρα μετατρέπεται σε ηλεκτρικό σήμα, επεξεργάζεται και μετατρέπεται σε μία μετρήσιμη μονάδα.



Εικόνα 1 - Λειτουργία Αισθητήρα [5]

Σε μία προσπάθεια αναζήτησης του ερείσματος της τεχνολογίας των αισθητήρων, θα διαπιστώσει κανείς ότι η ραγδαία ανάπτυξη στην επεξεργασία σήματος και στην μικρομηχανική τεχνολογία υπήρξε η ώθηση για την τεχνολογία αισθητήρων. Η εξέλιξη των μικροεπεξεργαστών και των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων συγκεκριμένης εφαρμογής οδήγησε σε μια πιο οικονομική, ακριβή και αξιόπιστη επεξεργασία σήματος, με αποτέλεσμα να αυξηθεί συνολικά η ευφυία του ηλεκτρονικού εξοπλισμού. Στις μέρες μας υπάρχει ευρεία διάθεση ποικιλίας αισθητήρων, μερικούς από τους οποίους παρουσιάζει ο Πίνακας 1 Εμπορικά Διαθέσιμοι Αισθητήρες σε WSN . Πρέπει όμως να γνωρίζουμε ότι πριν από κάθε επιλογή κάποιου αισθητήρα, είναι ανάγκη να λαμβάνονται υπόψη οι απαιτήσεις κάθε εφαρμογής για την οποία θα αναπτυχθεί το δίκτυο, ο ρυθμός δειγματοληψίας του αισθητήρα καθώς και οι ανάγκες που χρειάζεται σε τάση και ενέργεια [5].

Τύπος	Current (mA)	Χρόνος Δειγματοληψίας (mS)	Voltage
Θερμοκρασίας	1	400	2.5 - 5.5
Πίεσης	1	35	2.2 – 3.6
Μαγνητικός	4	30μS	-
Ακουστικός	0.5	1	2.10
Καπνού	5uA	-	6 - 12
Επιταχυνσιόμετρο	2	10	2.5 – 3.3
Κίνησης	0	1	-
Υγρασίας	550uA	300	2.4 – 5.5

Πίνακας 1 Εμπορικά Διαθέσιμοι Αισθητήρες σε WSN [5]

1.2 Χαρακτηριστικά Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων

Χαμηλή Κατανάλωση : Σε ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων οι κόμβοι που χρησιμοποιούνται τροφοδοτούνται κυρίως από μπαταρίες των οποίων η διάρκεια ζωής μετά από κάποιο χρονικό διάστημα θα τελειώσει. Επομένως χρειάζονται μια ανατροφοδότηση προκειμένου να μη σταματήσει η χρησιμότητα του δικτύου εξαιτίας των μπαταριών. Ένας τρόπος αντιμετώπισης του παραπάνω προβλήματος αποτελούν οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Με βάση αυτό στους κόμβους των ασύρματων δικτύων αισθητήρων τοποθετούνται συχνά εργαλεία ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όπως π.χ. ηλιακές κυψέλες τα οποία θα επεκτείνουν τη ζωή των κόμβων.

Επεκτασιμότητα : Η επεκτασιμότητα είναι ένα από τα πιο βασικά χαρακτηριστικά των ΑΔΑ. Ο αριθμός των συμμετεχόντων κόμβων είναι άμεσα ανάλογος με την εφαρμογή, κάτι το οποίο συνεπάγεται ότι μπορεί να έχουμε αρκετούς αισθητήρες. Το σημαντικότερο είναι

να υπάρχουν κατάλληλες μέθοδοι και μηχανισμοί προκειμένου να μπορεί να επιτευχθεί η επέκταση, δηλαδή η προσθήκη νέων κόμβων στο ήδη υπάρχον δίκτυο χωρίς να υπάρξει διατάραξη της λειτουργίας του.

Κάλυψη : Σε ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων η κάλυψη που θα έχει το δίκτυο είναι πολλή σημαντική παράμετρος, διότι όταν αναπτύσσεται ένα τέτοιο δίκτυο είναι υψίστης σημασίας να μπορεί να καλύψει μία ευρεία περιοχή παρατήρησης.

Κόστος : Σε ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων δεν υπάρχει συγκεκριμένος αριθμός κόμβων, παράμετρος η οποία παίζει πολύ σημαντικό ρόλο για το πως θα διαμορφωθεί το τελικό κόστος.

Χρόνος Ζωής : Το προσδόκιμο ζωής του δικτύου είναι ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά του δικτύου. Ο κύριος παράγοντας ο οποίος περιορίζει και τη ζωή του είναι η μπαταρία των κόμβων του συστήματος. Είναι αξιοσημείωτο το γεγονός ότι σε πολλές εφαρμογές το βασικότερο χαρακτηριστικό είναι ο εκτιμώμενος χρόνος ζωής, όμως ακόμη πιο βασικό είναι η κάλυψη που παρέχουν και η επεκτασιμότητα προκειμένου να μπορούν να αναπτυχθούν δίκτυα τα οποία να καλύπτουν μια αρκετά μεγάλη περιοχή.

Αντοχή στα σφάλματα : Είναι ζωτικής σημασίας να τονιστεί ότι ένα δίκτυο πρέπει να είναι σε θέση να αντιμετωπίσει αναπάντεχες βλάβες κόμβων, λόγω κάποιας αστοχίας του συστήματος ή κάποιας παρεμβολής ή λόγω καιρικών συνθηκών. Σε κάθε τέτοια περίπτωση πρέπει το δίκτυο να είναι σε θέση να συνεχίσει να λειτουργεί.

Ασφάλεια : Σημαντικό ρόλο στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων είναι η ασφάλεια του δικτύου, λόγω του ότι είναι πολύ εύκολο να υπάρξει υποκλοπή και λόγω των ασύρματων παρεμβολών ο κάθε κόμβος επιβαρύνεται με επιπλέον αλγορίθμους, όπου κρυπτογραφούν τα δεδομένα που αποστέλλουν προκειμένου να παραμείνουν αναλλοίωτα [6].

Ικανότητες αντίληψης: οι κόμβοι είναι εξοπλισμένοι με συσκευές οι οποίες έχουν την ευχέρεια να αντιλαμβάνονται και συγχρόνως να εξειδικεύουν ώστε να αισθάνονται κάποιες μεταβολές που ενδεχομένως λαμβάνουν χώρα στο περιβάλλον όπως είναι η κίνηση, ο ήχος και η θερμότητα. Η χρήση σχετικών αλγορίθμων μπορεί να συμβάλλει ώστε το δίκτυο να αναδείξει τις αντιληπτικές αυτές ικανότητες, να παρέχει τη δυνατότητα σε όλους τους κόμβους να αντιληφθούν τα γεγονότα που συνιστούν αντικείμενο ενδιαφέροντος χωρίς ωστόσο το κόστος να ξεφεύγει (για περαιτέρω συστήματα).

Data Centric: Η μεταφορά πληροφοριών μεταξύ δύο εξειδικευμένων συσκευών, όπου η καθεμία διαθέτει τη δική της μοναδική διεύθυνση, είναι αυτό που χαρακτηρίζει και διακρίνει τα κλασσικά δίκτυα επικοινωνίας από τα ασύρματα. Στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων το

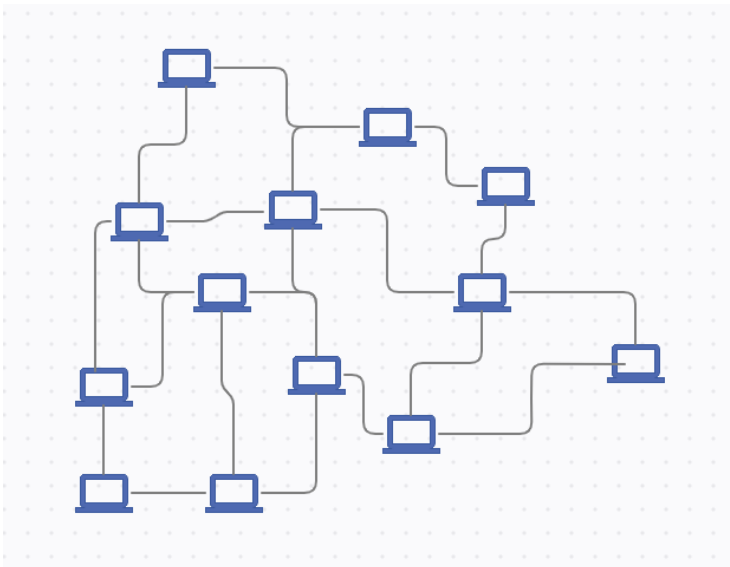
κυριότερο είναι το σύνολο των δεδομένων και όχι αποκλειστικά ο ένας κόμβος το πόσα πακέτα θα μεταδώσει.

Αβειαιότητα Μετρήσεων: Οι μετρήσεις δεν είναι πάντοτε ακριβείς. Και αυτό γιατί οι αισθητήρες δειγματοληπτούν σήματα τα οποία ενδεχομένως περιέχουν θορύβους, που είναι και αυτοί που εμποδίζουν το ακριβές αποτέλεσμα της μέτρησης [5].

1.3 Τοπολογίες Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων

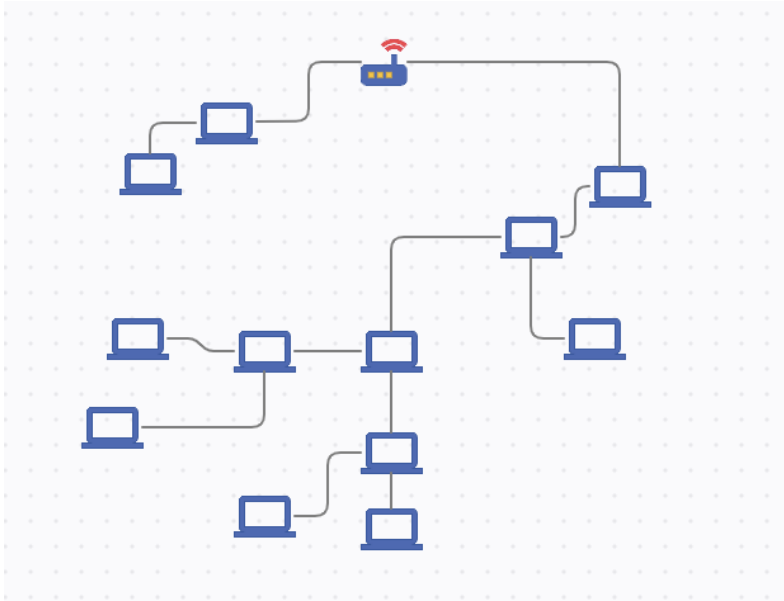
Υπάρχουν τρεις βασικές τοπολογίες που χρησιμοποιούνται κατά κόρον στα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων. Μεταξύ άλλων είναι η κατανεμημένη τοπολογία, η ιεραρχική και η ομαδοποιημένη. Για τον σχεδιασμό των τοπολογιών χρησιμοποιήθηκε το Network Diagram Software, το οποίο είναι διαθέσιμο online.

Αναφορικά με την πρώτη, την κατανεμημένη τοπολογία (βλ. Εικόνα 2 Κατανεμημένη Τοπολογία) το βασικότερο χαρακτηριστικό της είναι ότι δεν περιλαμβάνει σταθμό βάσης στον οποίο να συγκεντρώνονται όλα τα δεδομένα και ότι όλοι οι κόμβοι επικοινωνούν μεταξύ τους.



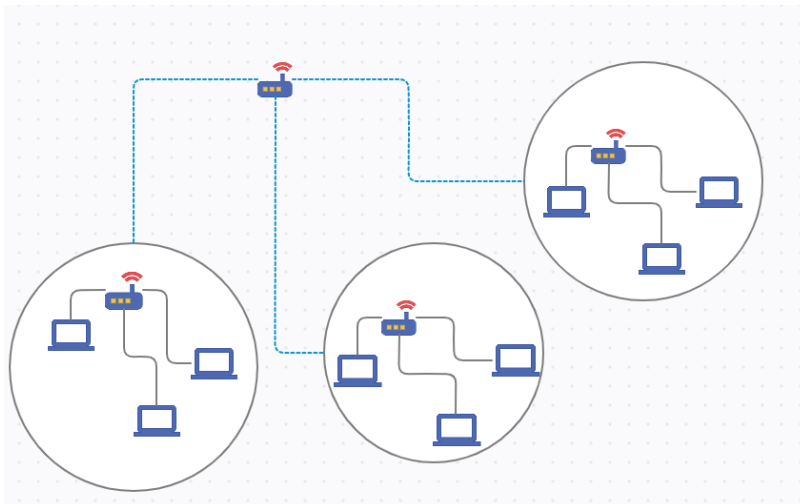
Εικόνα 2 Κατανεμημένη Τοπολογία [7]

Σύμφωνα με την ιεραρχική τοπολογία (βλ. Εικόνα 3 Ιεραρχική Τοπολογία) υπάρχει ένας τοπικός σταθμός βάσης και όλοι οι κόμβοι προωθούν τα δεδομένα σε αυτόν. Με τη σειρά του ο κόμβος αυτός μπορεί να επεξεργάζεται όλα τα δεδομένα που λαμβάνει και να στέλνει ένα συγκεντρωτικό πακέτο σε ένα γειτονικό κόμβο.



Εικόνα 3 Ιεραρχική Τοπολογία [7]

Όσον αφορά στην τελευταία τοπολογία την ομαδοποιημένη ή αλλιώς την τοπολογία της συστάδας (βλ. Εικόνα 4 Ομαδοποιημένη Τοπολογία), είναι η πιο διαδομένη και η πιο χρήσιμη όταν αναφερόμαστε σε μεγάλο όγκο πληροφοριών και σε μεγάλο αριθμό κόμβων καθώς βοηθά και την εξοικονόμηση ενέργειας. Όπως υποδηλώνει και το όνομά της, οι κόμβοι χωρίζονται σε ομάδες και η κάθε μια ομάδα έχει και ένα σταθμό βάσης που είναι υπεύθυνος για τη συλλογή όλων των πληροφοριών από τους κόμβους της ομάδας του, την επεξεργασία της πληροφορίας αυτής και την προώθηση στον κεντρικό κόμβο [7].



Εικόνα 4 Ομαδοποιημένη Τοπολογία [7]

1.4 Προβλήματα και Περιορισμοί των Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων

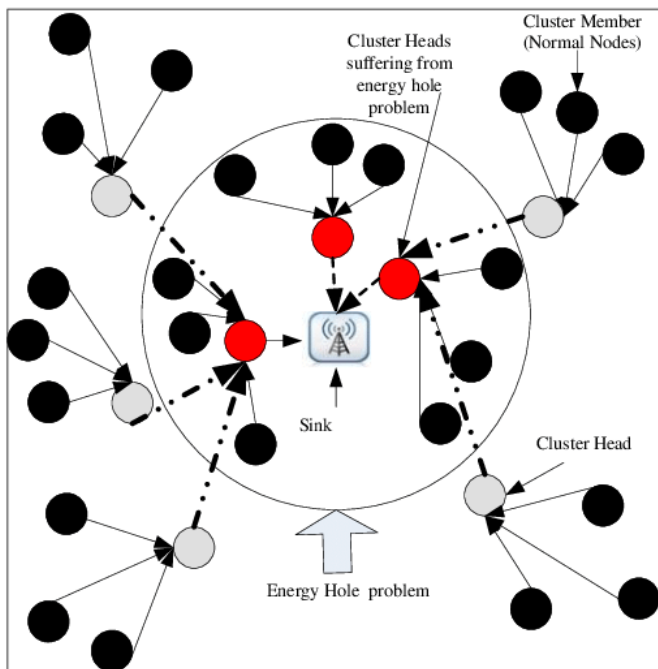
Μια μικρή σύγκριση μεταξύ των ασύρματων δικτύων αισθητήρων και των κλασσικών ασύρματων δικτύων μας επιτρέπει να εντοπίσουμε μια σειρά από διαφορετικούς περιορισμούς που το καθένα από αυτά θέτει κατά τη χρήση του. Ο σημαντικότερος από αυτούς τους περιορισμούς είναι η ενέργεια στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων και αυτό διότι οι συσκευές των δικτύων αυτών έχουν ανάγκη από ενεργή δραστηριότητα πολλών ωρών, ταυτόχρονα με τη χρήση μικρών μπαταριών.

Έχουν διεξαχθεί πολλές έρευνες επί τούτου οι οποίες έχουν καταδείξει ότι η διάρκεια ζωής ενός κόμβου ανέρχεται σε ένα συγκεκριμένο αριθμό ημερών. Αυτές όμως οι μέρες θα πρέπει να διανεμηθούν σε αρκετά χρόνια ζωής γι' αυτό και θα πρέπει να γίνεται ορθή κατανομή. Η κατανάλωση ενέργειας λοιπόν είναι κάτι που πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν στα ασύρματα δίκτυα όχι όμως και στα παραδοσιακά όπου η ενέργεια δεν παίζει σημαντικό ρόλο. Ακόμη ένας περιορισμός, εξίσου σημαντικός είναι η τοποθέτηση των κόμβων στο πεδίο εφαρμογής. Οι αισθητήρες ορισμένες φορές πρέπει να τοποθετηθούν σε περιοχές δύσκολες, στις οποίες η δυνατότητα όρασης τεχνικών που θα χρησιμοποιήσουν θα είναι αρκετά μειωμένη, γεγονός που έρχεται σε αντίθεση με κόμβους άλλων ασύρματων δικτύων όπου η τοποθέτηση είναι ενδεχομένως πιο εύκολη. Δύσκολος είναι επιπλέον στους κόμβους αισθητήρων και ο καθορισμός των αιτιών απώλειας ενός πακέτου. Πιθανοί λόγοι μπορεί να είναι η υπερχειλίση της ουράς, η ελλιπής ενέργεια και η ασφάλεια. Παράδειγμα αποτελούν οι εξωγενείς παράγοντες όπως κάποιο ιπτάμενο ζώο, το οποίο μετακινεί και προκαλεί πρόβλημα στους αισθητήρες. Συγχρόνως, δεν είναι καθόλου απίθανο ακόμη και η συμφόρηση στο δίκτυο να οδηγήσει σε μερική απώλεια πακέτων, καθ' όσον εξαιτίας τούτου ορισμένα πακέτα και ειδικότερα αυτά που βρίσκονται πιο μακριά από τον κόμβο συλλέκτη [5].

1.5 Το Πρόβλημα του Ενεργειακού Κενού

Όπως έχει ήδη αναφερθεί τα Δίκτυα Αισθητήρων εντάσσονται πλέον στους περισσότερους τομείς της καθημερινότητας, ωστόσο το πρόβλημα του ενεργειακού κενού (Energy Hole Problem) δεν έχει επιλυθεί. Η ενέργεια των κόμβων που βρίσκονται πολύ κοντά στον κόμβο συλλέκτη εξαντλείται πιο γρήγορα λόγω του μεγάλου φορτίου κίνησης. Αυτό είναι που οδηγεί στο πρόβλημα του ενεργειακού κενού γύρω από τον κόμβο που συλλέγει τις πληροφορίες (κόμβος συλλέκτης). Επομένως, αυτός είναι ο λόγος για την σωστή ομαδοποίηση των κόμβων και η δρομολόγηση δεδομένων είναι ουσιαστικής σημασίας για

την αποτελεσματική εξοικονόμηση ενέργειας και για την αποτυχία δικτύου λόγω εξάντλησης ισχύος [8]



Εικόνα 5 Energy Hole Problem [9]

Στην Εικόνα 5 Energy Hole Problem απεικονίζεται ένα Δίκτυο Αισθητήρων όπου με μαύρο αναπαρίστανται οι φυσιολογικοί κόμβοι οι οποίοι στέλνουν δεδομένα στους γκρι κόμβους, οι γκρι κόμβοι με τη σειρά τους έχουν φορτώσει τα δεδομένα από μία συστάδα κόμβων (μαύροι) και τα στέλνουν στους κόκκινους. Σε αυτό το σημείο ξεκινάει και δημιουργείται το πρόβλημα της ενεργειακής κατανάλωσης καθώς οι κόκκινοι έχουν λάβει όλα τα δεδομένα από τους προηγούμενους και πρέπει να καταναλώσουν μία τεράστια ποσότητα ενέργειας προκειμένου να καταφέρουν να στείλουν στον κόμβο συλλέκτη τον μεγάλο όγκο πληροφοριών που κουβαλάνε.

1.5.1 Περιγραφή του Προβλήματος

Ένα ΑΔΑ διαθέτει αρκετά μεγάλο αριθμό αισθητήρων με χαμηλή ισχύ που βρίσκονται σε ένα πεδίο, το οποίο αναπτύσσει τη λειτουργία του σε περιβάλλον άνευ ελέγχου. Αυτοί οι αισθητήρες έρχονται σε επικοινωνία μεταξύ τους και αποστέλλουν πληροφορίες σε εξωτερικό σταθμό βάσης. Οι κόμβοι αισθητήρων είναι μικρού μεγέθους και έχουν περιορισμένο αριθμό δυνατοτήτων επεξεργασίας και υπολογισμού, ενώ οι μπαταρίες τους διαθέτουν περιορισμένη χωρητικότητα ισχύος. Οι κόμβοι αισθητήρων που εντοπίζονται σε μικρότερη απόσταση από τον κόμβο συλλέκτη σε σχέση με άλλους αισθητήρες που συναντώνται πιο απομακρυσμένα, έχουν την τάση να σπαταλάνε μεγαλύτερα ποσοστά

ενέργειας. Αυτό φυσικά έχει σαν αντίκτυπο η διάρκεια ζωής τους να λιγοστεύει σημαντικά και να δημιουργούν ενεργειακά κενά.

Εντούτοις, πρέπει να σημειωθεί ότι εάν δεν χρησιμοποιούνται πολλά βήματα (multi hops) και όλοι οι αισθητήρες στέλνουν πληροφορίες απευθείας στο σταθμό βάσης, οι παρατεταγμένοι κόμβοι πιο μακριά από τον κόμβο συλλέκτη παρουσιάζουν μικρότερο όριο ζωής εν συγκρίσει με εκείνους που παρατάσσονται πιο κοντά στο σταθμό βάσης, λόγω μετάδοσης σε αρκετά μακρινή απόσταση. Τα ενεργειακά κενά που προκαλούνται διασπάνε με τέτοιο τρόπο το δίκτυο ούτως ώστε να μην υπάρχει η δυνατότητα πλήρης κάλυψης του πεδίου, κάτι που οδηγεί σε μειωμένη διάρκεια ζωής του δικτύου¹. Εξαιτίας τούτου, είναι σημαντικό να παρουσιάσουμε τρόπους και τεχνικές για να αποφευχθεί το ζήτημα του ενεργειακού κενού στα ΑΔΑ. Τέτοια παραδείγματα συνιστούν τη χρήση κινητών σταθμών βάσης, τον έλεγχο της εμβέλειας μετάδοσης και μία μη ομοιόμορφη στρατηγική ανάπτυξης κόμβου.

Για να επιτευχθεί σε ένα δίκτυο η επέκταση της διάρκειας ζωής του είναι σκόπιμο να αποφευχθούν τα ενεργειακά κενά που δημιουργούνται. Εν ολίγοις χωρίς τα ενεργειακά κενά αργεί δραματικά η κατάρρευση της ζωής κάποιων κόμβων του δικτύου με συνέπεια να καταστρέφεται όλο το δίκτυο. Το φυσικό, ο σύνδεσμος δεδομένων, το δίκτυο, η μεταφορά και η εφαρμογή είναι τα πέντε επίπεδα που συνιστούν τις συστάδες πρωτόκολλων στα ΑΔΑ. Έχουν εξειδικευτεί στην κάλυψη, στον εντοπισμό, στο συγχρονισμό, στη συλλογή, στη συμπίεση, στη διασφάλιση και στην αποθήκευση πληροφοριών. Η διαμόρφωση και χρήση αποδοτικών αλγορίθμων καθώς και τα πρωτόκολλα επικοινωνίας έχουν τη δυνατότητα να επεκτείνουν τη ζωή του δικτύου, κάτι που αποτελεί πρόκληση κατά τη δημιουργία ενός ΑΔΑ. Η αντοχή και η διάρκεια ζωής ενός δικτύου είναι ένα πολυπαραγοντικό ζήτημα καθώς εξαρτάται από το ενεργειακό μοντέλο, τα πρωτόκολλα, τη δομή του δικτύου, τον τρόπο συγκέντρωσης των πληροφοριών και τον ορισμό της διάρκειας ζωής [10].

2 Κεφάλαιο : Κατανάλωση Ενέργειας

2.1 Εισαγωγή

Στις μέρες μας το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής απασχολεί ένα συντριπτικά μεγάλο τμήμα του παγκόσμιου πληθυσμού, που απαιτεί να πάψουμε τις θεωρητικές προσεγγίσεις και θέτει πλέον υψηλούς στόχους με ενέργειες που θα δώσουν λύσεις στο πρόβλημα. Σε

¹ Να σημειωθεί εδώ πως στη συγκεκριμένη εργασία θεωρείται πως ένα δίκτυο τερματίζει τη λειτουργία του τη χρονική στιγμή που ένας κόμβος αδειάζει τη μπαταρία του.

όλους τους τομείς της καθημερινότητας απαιτείται ο έλεγχος της ενέργειας που σπαταλάτε, παράδειγμα όπως ηλεκτρική ενέργεια, στην οποία λόγω εξέλιξης παρατηρείται δραματική αύξηση κατανάλωσης και αυτός είναι και ο λόγος της εμφάνισης των ηλιακών πάρκων, για να καλύψουν κάθε είδους ανάγκη. Ένας λοιπόν και από τους παράγοντες που περιορίζουν ένα ΑΔΑ είναι η ενέργεια η οποία καταναλώνεται.

2.2 Βελτιστοποίηση Κατανάλωσης Ενέργειας

Ο πιο σημαντικός πόρος όπως προαναφέρθηκε είναι η κατανάλωση ενέργειας, παράλληλα όμως αποτελεί και τον κύριο περιοριστικό παράγοντα. Ο λόγος για τον οποίο η κατανάλωση της ενέργειας θεωρείται περιορισμός είναι γιατί σε ένα δίκτυο χρησιμοποιούνται για τους κόμβους διάφοροι ενεργειακοί πόροι με κάποια συγκεκριμένη χωρητικότητα. Συνεπώς η περίπτωση κατάρρευσης ενός κόμβου εξαιτίας εξάντλησης του ενεργειακού πόρου που τον τροφοδοτεί σημαίνει και το τέλος του δικτύου, καθώς είναι δύσκολη η αντικατάσταση τους, σε πολλές περιπτώσεις είναι και αδύνατη, με αποτέλεσμα να διαφοροποιείται το δίκτυο και να μην είναι πλέον αποδοτικό και λειτουργικό. Επομένως όταν αναφερόμαστε σε ασύρματα δίκτυα αισθητήρων αναπόσπαστο πλέον κομμάτι είναι και η βελτιστοποίηση κατανάλωσης της ενέργειας του εκάστοτε δικτύου [11].

2.2.1 Η ανάγκη για Βελτιστοποίηση Κατανάλωσης Ενέργειας

Σε ένα δίκτυο μόνο η λειτουργία του αναπαράγει έναν τεράστιο όγκο δεδομένων και σε μεγάλη ταχύτητα. Μια βοήθεια στη βελτιστοποίηση της λειτουργίας του δικτύου είναι η συλλογή όλων αυτών των δεδομένων που παράγονται από τις συσκευές και μεταδίδονται με τη χρήση πομποδεκτών (μεγάλης ή μικρής εμβέλειας) , με τον κατάλληλο συνδυασμό συγκέντρωσης, ανάλυσης και συνδυασμού με εξωτερικές πηγές. Μέχρι στιγμής οι απλοί τρόποι διαχείρισης και ανάλυσης δεδομένων δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν, καθώς δεν μπορούν να ανταπεξέλθουν στον τεράστιο όγκο και στην ταχύτητα παραγωγής δεδομένων, ούτε υπάρχει η κατάλληλη υπολογιστική ταχύτητα προκειμένου να μπορέσει να διαχειριστεί ένα δίκτυο σε πραγματικό χρόνο. Επιπροσθέτως, με την απλή προσθήκη μιας πρόσθετης μονάδας υπολογισμού, είναι απαραίτητη προϋπόθεση η ανταπόκριση σε ένα αυξημένο φορτίο που προκαλείται, όπως για παράδειγμα από την προσθήκη επιπλέον σταθμών βάσεων ή από την προσθήκη χρηστών [7].

2.3 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Υπάρχει μία αναρίθμητη βιβλιογραφία όσον αφορά τα δίκτυα αισθητήρων, το πρόβλημα του ενεργειακού κενού και οτιδήποτε σχετίζεται. Οι Akyildiz κ.λπ. έχουν ένα ευρύ φάσμα

βιβλιογραφίας σχετικά με τα βασικά των Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων [12]. Σε βελτιστοποίηση κατανάλωσης ενέργειας για το πρόβλημα του ενεργειακού κενού αναφέρεται με εκτεταμένη βιβλιογραφία ο Τσουμάνης Γεώργιος [13]. Μια κριτική επίσης για το πρόβλημα της κατανάλωσης ενέργειας δίνεται από τους Giuseppe Anastasi κ.λπ.[14]. Για το πρόβλημα του ενεργειακού κενού και τις επιπτώσεις στη διάρκεια ζωής ενός δικτύου έχει αναφερθεί από τους Li και Mohapatra [15]. Μία άλλη προσέγγιση έχει μελετηθεί από τους Cian ÓMathúna κ.λπ., όπου αναλύουν την επέκταση διάρκειας ζωής του δικτύου μειώνοντας τις επιπτώσεις του ενεργειακού κενού, με το να εστιάζει στους κόμβους αισθητήρων παραδείγματος χάριν η τοποθέτηση των αναμεταδοτών κόμβων. Επίσης επικεντρώνεται στους κόμβους συλλέκτες, δηλαδή με τους πολλαπλούς συλλέκτες, τη μετακίνηση, τη θέση των κόμβων συλλεκτών και την ανάγκη για την επαναφόρτιση των κόμβων αισθητήρων του δικτύου [16].

2.3.1 Τοποθέτηση Κόμβου Συλλέκτη βιβλιογραφική αναφορά

Σύμφωνα με τους Efrat κ.λπ. ο σταθμός βάσης θεωρείται ότι έχει δύο άριστες τοποθετήσεις προβλημάτων. Ο περιορισμός της οπτικής γωνίας έχει παρέλθει λόγω της επέκτασης διάρκειας ζωής του δικτύου καθώς και της κάλυψης μιας συγκεκριμένης περιοχής [17]. Oyman και Ersoy [18] μελετάνε εστιάζοντας στα θέματα του σχεδιασμού ενώ από την άλλη οι Bogdanov κ.λπ. τοποθετούν το πρόβλημα ως τη μέγιστη ροή [19]. Οι Keskin κ.λπ. [20] υποδεικνύουν ένα μοντέλο ενσωματώνοντας το σχεδιασμό, τη δρομολόγηση, την τοποθέτηση αισθητήρων και τις τροχιές των κινητών κόμβων αισθητήρων και οι Li κ.λπ. ρυθμίζουν τη συντονιστική μετάδοση δεδομένων για μείωση του κόστους επικοινωνίας [21].

Ένας άλλος τρόπος που έχει προταθεί από τους Vincze κ.λπ. [22] είναι η μείωση του μήκος της διαδρομής προς έναν αντίστοιχο κόμβο συλλέκτη, όπου αποδεικνύεται ότι μειώνουν την κατανάλωση της ενέργειας με τη χρήση πολλαπλών κόμβων συλλεκτών. Άλλη μια ενδιαφέρουσα πρόταση προτείνεται από τους Luo και Habaux [23] όπου θεωρούν ωφέλιμη μια στρατηγική κινητικότητας του κόμβου συλλέκτη κατά μήκος της περιφέρειας του δικτύου για να καταφέρουν να εξισορροπήσουν την κατανάλωση ενέργειας. Από την άλλη οι Wang κ.λπ. θεώρησαν περισσότερο ωφέλιμο το γεγονός να μειωθούν οι μετακινήσεις του κόμβου συλλέκτη [24].

Από ελληνικές αναφορές υπάρχουν του Παπαδημητρίου και του Γεωργιάδη όπου παρουσιάζουν έναν αλγόριθμο δρομολόγησης που αναφέρεται στην κινητικότητα του κόμβου συλλέκτη και καθορίζει το χρόνο παραμονής του σε διαφορετικές θέσεις [25]. Άλλη

μία αξιολόγη αναφορά είναι από τους Τσουμάνη Γεώργιο κ.λπ. όπου κατασκευάζουν έναν αλγόριθμο όπου προτείνει την αλλαγή της διαδρομής που ακολουθεί το πακέτο στους κόμβους κοντά στον κόμβο συλλέκτη, προκειμένου να μειωθεί η κατανάλωση ενέργειας και η επέκταση της διάρκειας ζωής του δικτύου [26].

2.3.2 A Lifetime Extension Framework

Σύμφωνα με το άρθρο A lifetime Extension Framework for Wireless Sensor Networks, αναφέρουν οι Τσουμάνης Γεώργιος κ.λπ. έναν ακόμη τρόπο για βελτιστοποίηση κατανάλωσης ενέργειας. Όπως υποδεικνύει και το όνομά του αναφέρεται στην επέκταση διάρκειας ζωής ενός πακέτου στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, όπου έχουν γίνει πολλές προσπάθειες με αρκετούς τρόπους για την επέκταση της διάρκειας ζωής ενός δικτύου γιατί είναι πλέον απαραίτητο σε πολλές περιπτώσεις (χρήση π.χ. για μετεωρολογικούς σκοπούς, σε βιομηχανίες ακόμη και στην ιατρική) και κυρίως το πρόβλημα που οδηγεί σε γρήγορη κατάρρευση του δικτύου είναι το πρόβλημα του ενεργειακού κενού που δημιουργείται σε αυτές τις περιπτώσεις ιδίως στους κόμβους που είναι πολύ κοντά στον κόμβο συλλέκτη. Σε αυτό το δημοσίευμα η λύση επιτυγχάνεται με δύο μέρη, στο πρώτο μέρος γίνεται η επιλογή του κόμβου συλλέκτη, δηλαδή ο κόμβος συλλέκτης στον οποίο καταλήγουν όλα τα δεδομένα τοποθετείται σε ένα συγκεκριμένο σημείο ή επιλέγεται να είναι σε ένα συγκεκριμένο σημείο κυρίως κεντρικό, με την προϋπόθεση ότι όλοι οι κόμβοι απέχουν περίπου το ίδιο. Με αυτόν τον τρόπο δεν υπερφορτώνεται κάποιος κόμβος υπερβολικά έχοντας πολλά πακέτα που θα πρέπει να μεταδώσει, οδηγώντας τον σε πρόωρη κατάρρευση.

Στο δεύτερο μέρος, η μείωση κατανάλωσης ενέργειας επιτυγχάνεται με την εφαρμογή του αλγορίθμου LEA, ο σκοπός αυτού του αλγορίθμου είναι η εξισορρόπηση του φορτίου κίνησης ιδίως στους κόμβους που βρίσκονται κοντά στον κόμβο συλλέκτη, προκειμένου να βελτιστοποιηθεί η κατανάλωση ενέργειας και αυτό επιτυγχάνεται με την αλλαγή διαδρομής του πακέτου. Δηλαδή οι κόμβοι που η απόσταση τους σε βήματα από τον κόμβο συλλέκτη είναι 2, έχουν τη δυνατότητα να αλλάξουν τον κόμβο «γωνιό» τους, όπου είναι και ο κόμβος που θα αναλάβει το φορτίο τους. Η αλλαγή αυτή θα πραγματοποιηθεί όταν ελέγξει ο αλγόριθμος ότι υπάρχει κόμβος που βρίσκεται 1 βήμα μακριά από τον κόμβο συλλέκτη στη συγκεκριμένη γειτονιά. Σε αυτή την περίπτωση θα γίνει η αλλαγή και τότε το φορτίο κίνησης στον κόμβο που απέχει 2 βήματα από τον κόμβο συλλέκτη, μικραίνει και αυξάνεται το φορτίο κίνησης του κόμβου που γίνεται ο νέος γωνιός. Έτσι εξετάζει ο αλγόριθμος τους κόμβους γύρω από τον κόμβο συλλέκτη και όπου το θεωρεί απαραίτητο κάνει τις αλλαγές που περιεγράφηκαν παραπάνω, με το σκοπό να είναι ένας και συγκεκριμένος, το φορτίο του

νέου «γωνιού» να είναι πάντα μικρότερο. Με αυτόν τον τρόπο ελαχιστοποιείται η κατανάλωση ενέργειας στους κόμβους που βρίσκονται κοντά στον κόμβο συλλέκτη και έτσι επιτυγχάνεται και η επέκταση διάρκειας ζωής του δικτύου [27].

2.4 Facility Location – Λογική

Ένα εξίσου βασικό πρόβλημα θεωρείται αυτό της τοποθέτησης εγκαταστάσεων (ή υπηρεσιών). Θεωρείται πρόβλημα γιατί πρέπει να γίνει όσο δυνατόν καλύτερη επιλογή της τοποθεσίας, ώστε να καλύπτονται οι απαιτούμενες παράμετροι. Δηλαδή το κόστος, είναι ένας από τους βασικότερους παράγοντες, έπειτα η απόσταση που θα υπάρχει για να είναι αποτελεσματική η μετάδοση, αυτά είναι μόνο κάποια από τα θέματα που δημιουργούνται. Το πρόβλημα αυτό είναι πολλών ετών και παρότι είναι παλιό είναι εξίσου ελκυστικό σύμφωνα με τον Reza Zanjirani Farahani η τοποθεσία των εγκαταστάσεων προέρχεται από τους Pierre de Fermat, Evangelistica Torricelli (μαθητής του Galileo) και Battista Cavallieri.

Στα προβλήματα από την τοποθέτηση εγκαταστάσεων, οι περιορισμοί και τα κριτήρια είναι πολλά όπως αναφέρουν και οι Eiselt και Laporte σε μια βιβλιογραφία [28]όσον αφορά την ταξινόμηση των στόχων που παρατίθενται παρακάτω :

- Ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους της εγκατάστασης
- Ελαχιστοποίηση των εγκαταστάσεων που θα τοποθετηθούν
- Ελαχιστοποίηση του χρόνου που θα χρειαστεί ένα σύνολο δεδομένων να διανύσει ανάλογα με την απόσταση
- Ελαχιστοποίηση του μέσου χρόνου και της απόστασης που διανύθηκε
- Ελαχιστοποίηση της μεγαλύτερης απόστασης από τις ήδη υπάρχουσες εγκαταστάσεις
- Ελαχιστοποίηση του σταθερού κόστους
- Ελαχιστοποίηση του συνολικού ετήσιου κόστους
- Ελαχιστοποίηση του μέγιστου διανυθέντος χρόνου και απόστασης
- Μεγιστοποίηση της ανταπόκρισης και
- Μεγιστοποίηση της υπηρεσίας

Σε όλα τα παραπάνω το πρόβλημα που αντιμετωπίζουν με πρόσφατες μελέτες είναι ο τρόπος με τον οποίο θα γίνει η μέτρηση αυτών των κριτηρίων [29]. Πρόκειται λοιπόν θέμα ζωτικής σημασίας η τοποθέτηση των εγκαταστάσεων, όπου γεννούνται συνεχώς τα εξής ερωτήματα, όπως πόσες θα είναι αυτές, σε ποια μέρη θα τοποθετηθούν, ποιες οι αποστάσεις μεταξύ τους, πόση η ώρα που θα χρειαστεί να γίνει μία μεταφορά και αν το αποτέλεσμα θα είναι ικανοποιητικό. Οι περιορισμοί είναι τρεις και είναι βασικοί.

Πρώτον και μείζον σημασίας, το κόστος για κάθε τοποθεσία που θα γίνει η εγκατάσταση πρέπει να είναι σταθερό. Δεύτερον, η απόσταση που θα διανύουν τα δεδομένα από σημείο σε σημείο να μην είναι υπερβολικά μεγάλη και υπάρχουν απώλειες. Τρίτον το αποτέλεσμα να είναι σωστό και όσο το δυνατόν κοντά στην πραγματικότητα προκειμένου να θεωρηθεί πετυχημένη η εγκατάσταση.

Σε όλα τα παραπάνω πρέπει να θεωρούνται μέρη της λύσης ο αριθμός και οι τοποθεσίες των εγκαταστάσεων και να μην παραλείπεται σε καμία περίπτωση το γεγονός ότι υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να προκύψουν και κάποιες παραλλαγές ή αναπάντεχα προβλήματα. Υπάρχουν πολλές περιπτώσεις για τις τοποθεσίες που θα γίνει εγκατάσταση εξοπλισμού και αυτές μπορεί να περιορίζονται από ένα όριο χωρητικότητας, κάποιες άλλες μπορεί να τοποθετηθούν οπουδήποτε μέσα σε ένα χώρο, ενώ σε κάποιες άλλες οι θέσεις τους να είναι προκαθορισμένες. Επίσης ένα τελευταίο πρόβλημα είναι το γεγονός ότι δε δίνεται η επιλογή τοποθεσιών για τις εγκαταστάσεις και αυτά ανήκουν στη θεωρία συνεχούς εντοπισμού εγκατάστασης [26].

3 Το Μοντέλο του Συστήματος και ο Αλγόριθμος LEA

3.1 Το Μοντέλο Συστήματος

Σκοπός της ενότητας αυτής είναι να κατανοήσουμε την τοπολογία στην οποία στηρίζεται η παρούσα έρευνα και τη λειτουργία του αλγορίθμου που μελετάται με τους κόμβους που έχουν απόσταση έως και 2 βήματα (hops) μακριά από τον κόμβο συλλέκτη. Στη συνέχεια αναλύεται ο αλγόριθμος για κόμβους που απέχουν περισσότερα βήματα από τον κόμβο συλλέκτη. Παρακάτω αναλύονται οι εξής λειτουργίες του μοντέλου συστήματος που μελετάμε :

- Τοπολογία
- Δρομολόγηση
- Φόρτου δικτύου
- Κατανάλωση ενέργειας

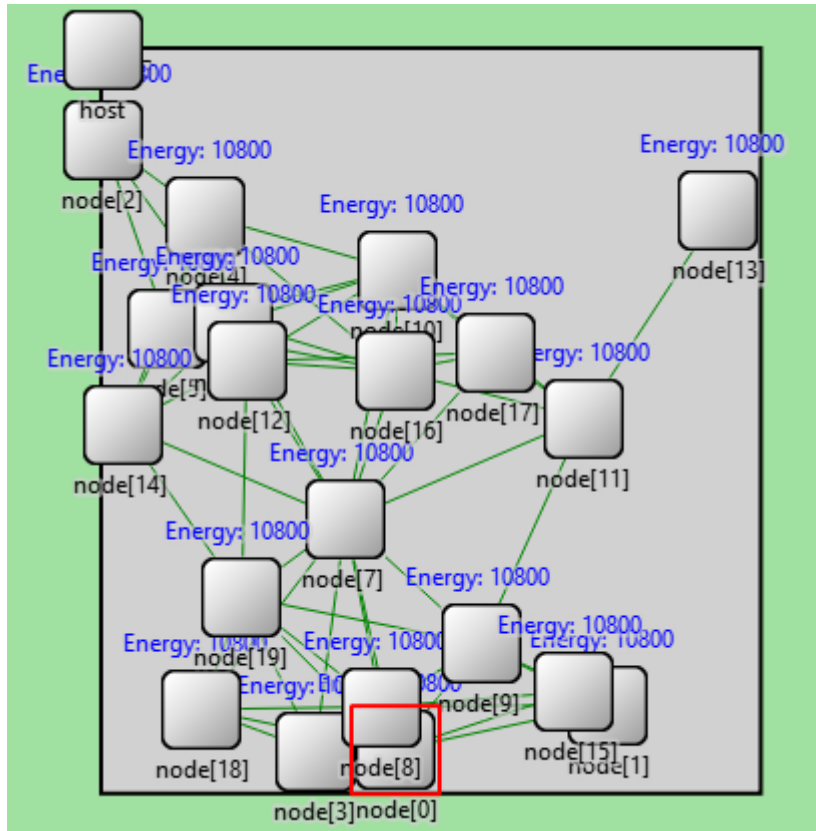
σύμφωνα με το άρθρο “A Lifetime Extension Framework for Wireless Sensor Networks” [27].

3.1.1 Τοπολογία

Στην ενότητα αυτή αναλύεται η τοπολογία του δικτύου και πρόκειται για ένα μη συνδεδεμένο και μη κατευθυνόμενο γράφημα με συνολικά 20 κόμβους Εικόνα 6 Network

Topology : A connected and planar undirected graph. Ορίζουμε ως το σύνολο των κόμβων V και E ως το σύνολο των συνδέσμων που χρειάζονται για τους κόμβους του δικτύου. Με $n=V$ αντιπροσωπεύει το μέγεθος του συνόλου V και το συμβολίζουμε με n που απευθύνεται στον αριθμό των κόμβων που υπάρχουν στο δίκτυο. Εάν υπάρχει μια απευθείας σύνδεση μεταξύ δύο κόμβων u και v , δηλαδή οι κόμβοι u και v να ανήκουν στο σύνολο E , τότε αυτοί οι κόμβοι είναι γείτονες και μπορεί να επιτευχθεί ανάμεσά τους απευθείας μεταφορά των δεδομένων. Κάθε κόμβος μέσα στο δίκτυο καταλαμβάνει μία φυσική τοποθεσία (διεύθυνση), η οποία υποδηλώνεται από συντεταγμένες θέσης δύο διαστάσεων.

Ας υποθέσουμε ότι, δύο κόμβοι (u, v) ανήκουν στο σύνολο E , τότε η Ευκλείδεια απόσταση μεταξύ αυτών των δύο κόμβων είναι $\chi(u, v)$. Επίσης, εάν οι κόμβοι (u, v) δεν ανήκουν στο σύνολο E , αυτό συνεπάγεται ότι αυτοί οι κόμβοι δεν είναι γείτονες μεταξύ τους και υπάρχει τότε κάποιο άλλο μονοπάτι πιο σύντομο. Υποθέτοντας ότι $\chi(u, v)$ το άθροισμα της Ευκλείδεια απόστασης κάθε συνδέσμου μεταξύ δύο κόμβων u και v σε μια συγκεκριμένη διαδρομή η οποία είναι και η συντομότερη και αναφέρεται ως η συντομότερη Ευκλείδεια απόσταση διαδρομής. Εάν υπάρχει (u, v) τέτοιο ώστε να ανήκει στο σύνολο E τότε οποιοδήποτε $\chi(u, v)$ ισούται με $\chi(u, v)$. Όλα τα προηγούμενα προϋποθέτουν ότι ο κόμβος συλλέκτης έχει με κάποιο τρόπο απεριόριστη διάρκεια ζωής [30]



Εικόνα 6 Network Topology : A connected and planar undirected graph

3.1.2 Δρομολόγηση

Η ενότητα αυτή αναφέρεται στη δρομολόγηση πακέτου, το ζήτημα της δρομολόγησης είναι ένα από τα πιο σημαντικά θέματα που παρουσιάζονται συχνά στα δίκτυα. Συμβαίνει αρκετά συχνά σε αρκετές περιπτώσεις και ιδίως στις τηλεπικοινωνίες και στη μεταφορά δεδομένων, όπου πρέπει να δρομολογηθεί ένα πακέτο αποτελεσματικά.

Το πρόβλημα στη δρομολόγηση ουσιαστικά είναι η εύρεση καλύτερου μονοπατιού για τη μεταφορά πληροφοριών από διάφορους κόμβους στον κόμβο συλλέκτη, με τον καλύτερο δυνατό τρόπο, δηλαδή παράγοντες όπως η αξιοπιστία, η ταχύτητα και το κόστος να είναι οι καλύτεροι, μεγαλύτερη αξιοπιστία και ταχύτητα αλλά με όσο το δυνατόν μικρότερο κόστος. Για την επίλυση του συγκεκριμένου προβλήματος έχουν αναπτυχθεί διάφοροι αλγόριθμοι, στην συγκεκριμένη ενότητα παρουσιάζεται ένας αλγόριθμος προκειμένου να επιτευχθεί καλύτερη δρομολόγηση.

Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος επιτρέπει τη μετάδοση των πληροφοριών στους κόμβους που είναι γείτονες μεταξύ τους και έπειτα τη δρομολόγηση αυτών των δεδομένων προς τον κόμβο συλλέκτη. Ουσιαστικά εδώ προτείνεται ένα πιο απλό μονοπάτι όπου μπορούν να ακολουθήσουν τα πακέτα, το οποίο υποθέτει ότι το βάρος του συνδυασμού των κόμβων (u, v) είναι ίσο με την Ευκλείδεια απόσταση μεταξύ αυτών των κόμβων για παράδειγμα $\chi(u, v)$ όπου εκεί λαμβάνεται το ενδεχόμενο της συντομότερης διαδρομής. Αφού εφαρμοστεί λοιπόν το συντομότερο νέο μονοπάτι ενημερώνεται ο κόμβος u για το νέο γονέα κόμβο που έχει και το επόμενο βήμα από το u είναι ο κόμβος συλλέκτης s προκειμένου να φτάσουν τα πακέτα δεδομένων σε αυτόν [27].

3.1.3 Φόρτος Δικτύου

Όταν το πακέτο δεδομένων δημιουργείται από τον κόμβο v και φτάνει στον κόμβο u , εκτός από το πακέτο που παρέλαβε από τον κόμβο v πρέπει να προωθήσει στον κόμβο συλλέκτη s και το πακέτο που δημιουργείται από τον ίδιο τον κόμβο u . Υπάρχει η πιθανότητα οι κόμβοι να δημιουργήσουν αντίγραφα ασφαλείας, άρα η εσωτερική μνήμη που διαθέτει κάθε κόμβος θεωρείται πως είναι επαρκής προκειμένου να αποθηκεύσει τα αντίγραφα. Υποθέτοντας μια πιθανότητα ο κόμβος u οποιαδήποτε χρονική στιγμή να δημιουργήσει ένα πακέτο που ονομάζεται ως φορτίο κίνησης του κόμβου u , υπάρχει ένας τύπος από όπου λαμβάνοντας υπόψη μια τοποθέτηση κόμβου που υποδηλώνει το συνολικό φορτίο κίνησης του κόμβου u και δίνεται από τον τύπο :

$$L^s(u) = \sum_{v \in T^s(u)} l_v \quad (1)$$

L^s : το αθροιστικό φορτίο του κόμβου u όταν ο κόμβος συλλέκτης είναι ο s .
 T^s : υποδένδρο που έχει ως ρίζα τον κόμβο u και είναι το συντομότερο μονοπάτι που δημιουργήθηκε κατά τη δρομολόγηση.

I_v : ο μέσος όρος των πακέτων όπου ένας κόμβος u παράγει ανά πάσα χρονική στιγμή. Ουσιαστικά το συσσωρευτικό φορτίο κίνησης (cumulative traffic load) είναι το πλήθος των φορτίων κίνησης όλων των κόμβων των οποίων τα δεδομένα ταξιδεύουν μέσω του κόμβου u για να φτάσουν στον κόμβο συλλέκτη [27].

3.1.4 Κατανάλωση Ενέργειας

Η κατανόηση της κατανάλωσης ενέργειας είναι ζωτικής σημασίας για τον σχεδιασμό των αυτόνομων κόμβων σε ένα δίκτυο αισθητήρων για τη μεγαλύτερη διάρκεια ζωής του δικτύου, διότι η προέλευση ζωής των κόμβων είναι οι μπαταρίες των οποίων η διάρκεια ζωής είναι προκαθορισμένη. Άρα η διάρκεια ζωής του δικτύου επηρεάζεται σημαντικά από την κατανάλωση ενέργειας, η οποία αυξάνεται στους κόμβους που βρίσκονται κοντά στον κόμβο συλλέκτη, λόγω του ότι αναλαμβάνουν και το ρόλο της προώθησης δεδομένων στον κόμβο συλλέκτη αλλά και την αποστολή των δικών τους δεδομένων.

Ας υποθέσουμε ότι θέλουμε ένας κόμβος u να μεταδώσει ένα πακέτο δεδομένων στο γειτονικό του κόμβο v , δηλαδή $(u, v) \in E$ και ας θεωρήσουμε $w(u, v)$ η ενέργεια που θα καταναλωθεί για να πραγματοποιηθεί αυτή η μετάδοση. Υποθέτοντας λοιπόν πως στο δίκτυο υπάρχουν συμμετρικοί σύνδεσμοι μεταξύ των κόμβων η ενέργεια που θα καταναλωθεί για να σταλεί το πακέτο από τον κόμβο u στον κόμβο v θα είναι και η ίδια αν από το κόμβο v σταλεί ένα πακέτο στον κόμβο u . Ένας συνηθισμένο μοντέλο που χρησιμοποιείται για την κατανάλωση ενέργειας δίνεται από τον τύπο $w(u, v) = \mu\chi(u, v) + \nu$. Όπου ν είναι η ενέργεια που καταναλώνεται για να λειτουργήσει η συσκευή, άρα είναι ένας σταθερός αριθμός. Το μ είναι ένας σταθερός παράγοντας και το χ εξαρτάται κυρίως από το περιβάλλον και είναι η απώλεια διαδρομής, η οποία διαμορφώνεται ανάλογα από το εάν είναι σε υπαίθριους χώρους ή σε κτίρια. Στις ασύρματες μεταδόσεις ο παράγοντας που παίζει πολύ μεγάλο ρόλο είναι το σύνολο της ενέργειας που καταναλώνεται για την πραγματική μετάδοση έτσι ώστε το ν είναι μια αμελητέα ποσότητα σε σχέση με το $\mu\chi(u, v)$, επομένως :

$$w(u, v) = \mu\chi'(u, v) \quad (2)$$

Στην παρούσα εργασία αναλύεται η μέση κατανάλωση της ενέργειας που χρησιμοποιεί ένας κόμβος ανά πάσα χρονική στιγμή όσο μειώνεται η ενέργεια που καταναλώνεται για

εκπομπές. Ενώ στην πιο κοντά στην πραγματικότητα όταν γίνεται η προσομοίωση το μοντέλο μοιάζει να επηρεάζεται η κατανάλωση ενέργειας από τις μεταφορές, τις παραλαβές και την επεξεργασία δεδομένων. Ας θεωρήσουμε ότι το $\beta^s(u) \forall$ κόμβο u και οποιαδήποτε χρονική στιγμή t είναι η μέση ενέργεια που καταναλώνει ένας κόμβος u . Έτσι σύμφωνα με την εξίσωση 1 και την εξίσωση 2 ισχύει ότι :

$$\beta^s(u) = L^s(u) w(u, v) \quad (3)$$

Η αρχική και η μέγιστη ενέργεια του κόμβου u συμβολίζεται με $e_{\max}(u)$ και η υπολειπόμενη με $e(u)$ [31].

3.2 Αλγόριθμος LEA

Στα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων είναι συχνό φαινόμενο η αναζήτηση ενός τρόπου προκειμένου να παραταθεί η διάρκεια ζωής του δικτύου, με την προϋπόθεση ότι έχει επιλεγεί ο κόμβος συλλέκτης και έχοντας ελαχιστοποιηθεί η κατανάλωση ενέργειας. Σύμφωνα με το επιστημονικό άρθρο “A Lifetime Extension Framework for Wireless Sensor Networks” [27], αναφέρεται ότι οι κόμβοι που σπαταλούν περισσότερη ενέργεια είναι οι κόμβοι που βρίσκονται πλησιέστερα στον κόμβο συλλέκτη, δηλαδή οι κόμβοι που βρίσκονται 1 βήμα μακριά από το κόμβο συλλέκτη.

Ο αλγόριθμος που προτείνεται έχει ως στόχο της εξισορρόπηση φορτίου κίνησης γύρω από τον κόμβο συλλέκτη, ουσιαστικά ελαχιστοποιείται το συσσωρευτικό φορτίο κίνησης του u_{\max} με την επανατοποθέτηση ενός μέρους στους υπόλοιπους κόμβους που βρίσκονται 1 βήμα μακριά, το οποίο θα αποτελέσει και το λόγο για λιγότερη κατανάλωση ενέργειας του u_{\max} . Ο αλγόριθμος LEA παρατίθεται παρακάτω και λειτουργεί ουσιαστικά με τον εξής τρόπο : αρχικά επιλέγει όλους τους κόμβους που βρίσκονται 2 βήματα μακριά από τον κόμβο συλλέκτη, έπειτα αφού έχουν επιλεγθεί αυτοί οι κόμβοι με τη σειρά ο ένας μετά τον άλλον θα βρουν τους γείτονές τους οι οποίοι βρίσκονται 1 βήμα μακριά από τον κόμβο συλλέκτη. Στη συνέχεια για κάθε γείτονα που έχει βρεθεί ο κόμβος που βρίσκεται 2 βήματα μακριά εξετάζει εάν θα προωθήσει το φορτίο κίνησης σε ένα διαφορετικό γείτονα ο οποίος θα οδηγήσει εν τέλει σε μία πιο ισορροπημένη κατανομή μέσα στο δίκτυο. Δηλαδή ο νέος γονιός θα πάρει το συσσωρευτικό φορτίο κίνησης από τον αρχικό και ο σκοπός εδώ είναι το συσσωρευτικό φορτίο κίνησης τους νέου γονέα να είναι μικρότερο σε σύγκριση με τον προηγούμενα γονέα. Παρακάτω παρατίθεται αυτή η διαδικασία που ακολουθεί ο αλγόριθμος LEA [27].

Lifetime Extension Algorithm [27]

```
procedure LEA ( $u_{h2} [i], i$ )  $\rightarrow$  A table of the  $i$  2 – hop away nodes
from the sink node
  for  $j \leftarrow 0$  to  $i - 1$  do
     $iNeighs \leftarrow u_{h2}[j].Neighs \rightarrow iNeighs$  : Number of node  $u_{h2}[j]$ 's
neighbors that are 1 – hop away from the sink node.
     $p \leftarrow u_{h2}[j].parent \rightarrow p$  : Node  $u_{h2} [j]$ 's current parent
    for  $ne \leftarrow 0$  to  $iNeighs - 1$  do
       $ip \leftarrow u_{h2}[j].Neigh[ne] \rightarrow ip$  : The under investigation
neighbor to become new parent
      if  $ip.L + u_{h2}[j].L < p.L$  then  $\rightarrow L$  : Cumulative traffic load
         $ip.L \leftarrow ip.L + u_{h2}[j].L$ 
         $p.L \leftarrow p.L - u_{h2}[j].L$ 
         $p \leftarrow ip$ 
      end if
    end for
  end for
end procedure
```

3.3 Αλγόριθμος LEA2

Η ίδια διαδικασία με τον προηγούμενο αλγόριθμο ακολουθείται και εδώ. Δηλαδή αφού γίνει πρώτα η επιλογή του κόμβου συλλέκτη σε ένα συγκεκριμένο σημείο μέσα στο χώρο έπειτα μπαίνει σε εφαρμογή ο αλγόριθμος LEA με τη διαφορά ότι ο συγκεκριμένος αλγόριθμος εξετάζει τους κόμβους που βρίσκονται N-βήματα μακριά από τον κόμβο συλλέκτη. Συγκεκριμένα οι υποθέσεις των γραφημάτων που παρατίθενται παρακάτω είναι για ως και 4 βήματα απόσταση μακριά από τον κόμβο συλλέκτη.

Lifetime Extension Algorithm 2

```
for hops  $\leftarrow$  0 to maxHops - 2
  procedure LEA2 ( $u_{h2}$  [i], i, rhops)  $\rightarrow$  rhops: number of examined
  hops
  procedure LEA ( $u_{h2}$  [i], i, rhops)  $\rightarrow$  A table of the I rhops – hops away
  nodes from the sink node
    for j  $\leftarrow$  0 to i - 1 do
      iNeighs  $\leftarrow$   $u_{h2}[j].Neighs$   $\rightarrow$  iNeighs : Number of node  $u_{h2}[j]$ 's
  neighbors that are (nhops - i) – hop away from the sink node.
      p  $\leftarrow$   $u_{h2}[j].parent$   $\rightarrow$  p : Node  $u_{h2}[j]$ 's current parent
      for ne  $\leftarrow$  0 to iNeighs - 1 do
        ip  $\leftarrow$   $u_{h2}[j].Neigh[ne]$   $\rightarrow$  ip : The under investigation
  neighbor to become new parent
        if ip.L +  $u_{h2}[j].L$  < p.L then  $\rightarrow$  L : Cumulative traffic load
          ip.L  $\leftarrow$  ip.L +  $u_{h2}[j].L$ 
          p.L  $\leftarrow$  p.L -  $u_{h2}[j].L$ 
          p  $\leftarrow$  ip
        end if
      end for
    end procedure
  end procedure
end procedure
```

3.4 Αποτελέσματα

Σε αυτή την ενότητα παρατίθενται και αναλύονται τα αποτελέσματα από την προσομοίωση του αλγορίθμου LEA. Η εκτέλεση του αλγορίθμου και οι μετατροπές έγιναν στο προγραμματιστικό περιβάλλον OMNET++. Στα παρακάτω γραφήματα απεικονίζονται τα αποτελέσματα από τον αλγόριθμο LEA (Lifetime Extension Algorithm).

Στην πρώτη περίπτωση η τιμή που θέτει σε λειτουργία τον αλγόριθμο είναι “false”, δηλαδή ο αλγόριθμος δεν είναι σε λειτουργία, κάνουμε την προσομοίωση και παίρνουμε τα αντίστοιχα αποτελέσματα. Αντίστοιχα, στη δεύτερη περίπτωση θέτουμε την τιμή του

αλγόριθμοι σε “True”, άρα ο αλγόριθμος είναι σε λειτουργία και εκεί εμφανίζονται οι πρώτες αλλαγές. Εξίσου το ίδιο συμβαίνει και στην τρίτη και στην τέταρτη περίπτωση, όπου με δύο αλλαγές στον αλγόριθμο LEA, υπάρχουν αξιοσημείωτες αλλαγές στα αποτελέσματα τα οποία παρατίθενται αναλυτικά στα παρακάτω γραφήματα.

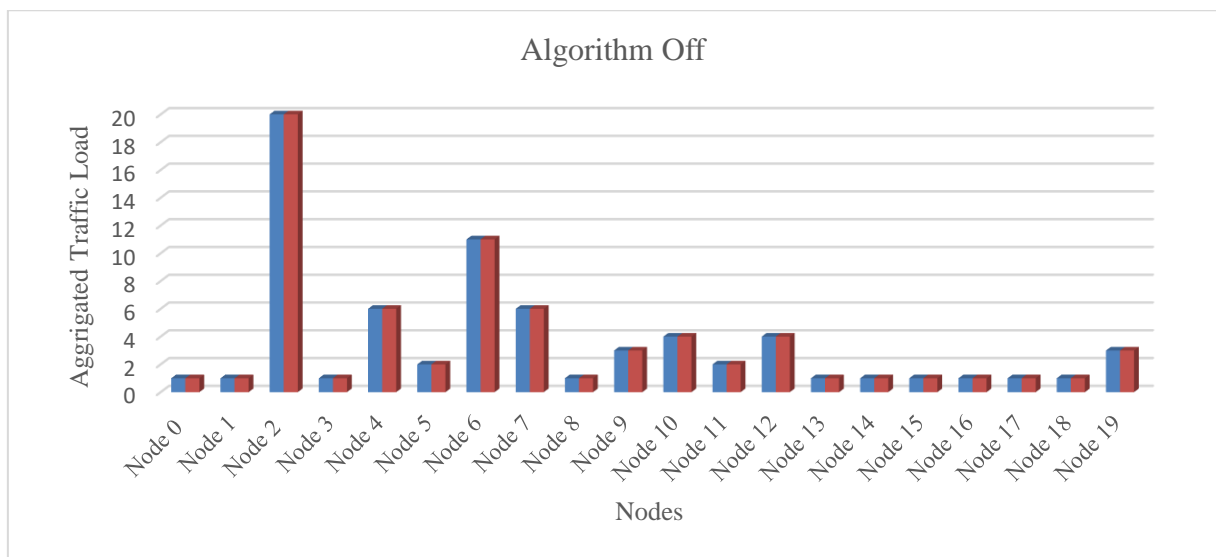
3.4.1 Το OMNeT++

Το OMNeT++ είναι ένα πρόγραμμα προσομοίωσης, το οποίο έχει αποκτήσει ευρεία δημοτικότητα τα τελευταία χρόνια στο χώρο της επιστημονικής κοινότητας. Το πλαίσιο προσομοιώσεων βασίζεται κυρίως στη C++ για την κατασκευή προσομοιώσεων δικτύου. Διαθέτει επίσης βιβλιοθήκη με έναν μεγάλο όγκο εργαλείων για προσομοιώσεις δικτύων σε πραγματικό χρόνο (π.χ. ενσύρματων, ασύρματων και πολλών ειδών ακόμη).

Το προγραμματιστικό του περιβάλλον βασίζεται στο πρωτόκολλο Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance (CSMA/CA), το οποίο όπως δηλώνει και το όνομά του λειτουργεί με βάση την αποφυγή σύγκρουσης. Δηλαδή αναπτύχθηκε ούτως ώστε να ελαχιστοποιεί τις πιθανότητες σύγκρουσης που συμβαίνει όταν δύο ή περισσότεροι κόμβοι προσπαθούν να στείλουν ταυτόχρονα δεδομένα σε ένα κανάλι μετάδοσης. Ωστόσο, όταν υπάρξουν συγκρούσεις, υπάρχει η δυνατότητα να ξανά αποσταλεί το πακέτο, εφόσον δε λάβει (ο κόμβος που στέλνει το πακέτο), το επιβεβαιωτικό μήνυμα (από τον κόμβο που πρόκειται να λάβει το πακέτο), ότι το πακέτο έφτασε με επιτυχία.

Στις προσομοιώσεις που ακολουθούν στην επόμενη ενότητα μελετάται η περίπτωση όπου έχουμε έναν κόμβο συλλέκτη και εξετάζονται οι περιπτώσεις, όπου λειτουργεί ο αλγόριθμος για παραπάνω από δύο βήματα απόσταση από τον κόμβο συλλέκτη [26].

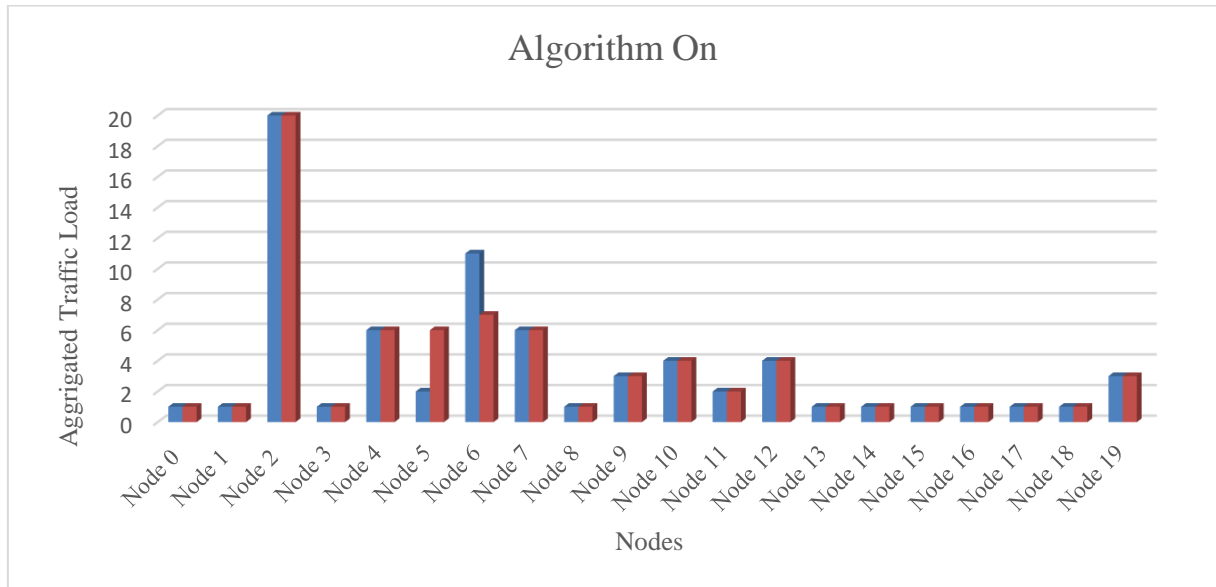
3.4.2 Περίπτωση πρώτη : Ο Αλγόριθμος είναι εκτός λειτουργίας



Εικόνα 7 Lifetime Extension Algorithm Off

Στην Εικόνα 7 Lifetime Extension Algorithm Off έχουμε την εξαγωγή των αποτελεσμάτων όταν ο αλγόριθμος είναι απενεργοποιημένος. Είναι ορατό το γεγονός ότι δεν υπάρχουν κάποιες αλλαγές με τη χρήση του αλγορίθμου είναι δεν έχει τεθεί σε λειτουργία.

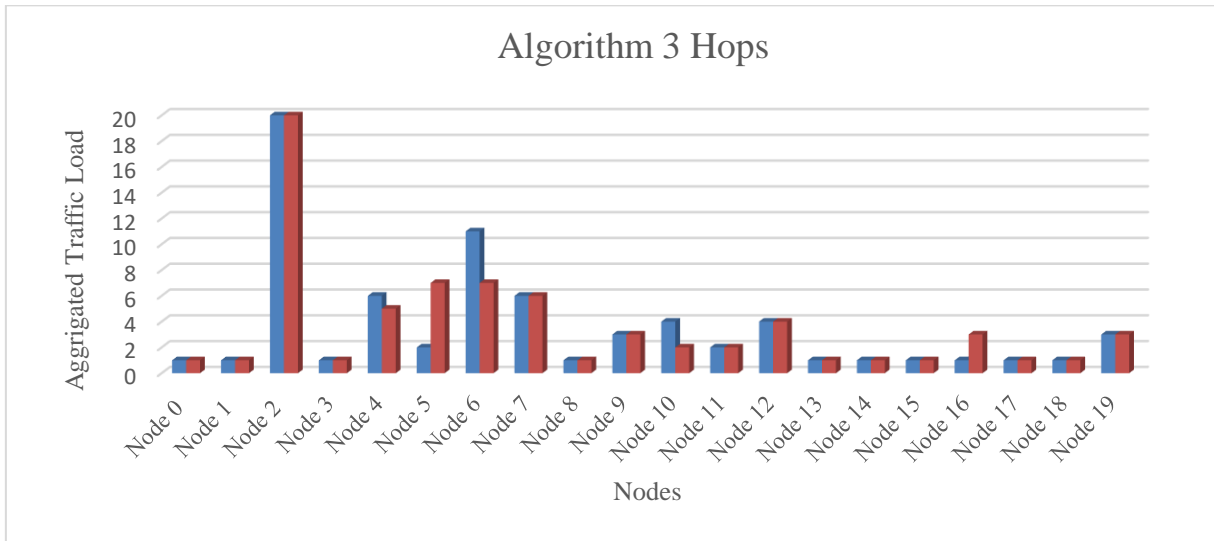
3.4.3 Περίπτωση δεύτερη : Ο Αλγόριθμος είναι σε λειτουργία



Εικόνα 8 Lifetime Extension Algorithm On

Στην Εικόνα 8 Lifetime Extension Algorithm On απεικονίζονται τα αποτελέσματα όταν ο αλγόριθμος είναι σε λειτουργία. Στην περίπτωση αυτή ο Sink node (ο κόμβος συλλέκτης, όπου εκεί θα καταλήξουν όλα τα δεδομένα) είναι ο κόμβος 2. Επίσης η πρώτη παρατήρηση είναι στον κόμβο 5, του οποίου ήταν η τιμή του 2 και έγινε 6 με την ενεργοποίηση του αλγορίθμου. Ο αριθμός αυτός όμως δεν θα σήμαινε απολύτως τίποτα χωρίς σύγκριση, γιατί αυξήθηκαν τα βήματα. Εάν όμως παρατηρήσουμε τον κόμβο 6 φαίνεται ότι έχει μειωθεί το συνολικό φορτίο κίνησης και από 11 που ήταν πριν την εφαρμογή του αλγορίθμου, έχουν γίνει πλέον μετά την εφαρμογή του στο 7.

3.4.4 Περίπτωση Τρίτη : Ο Αλγόριθμος εξετάζει την απόσταση σε 3 Hops

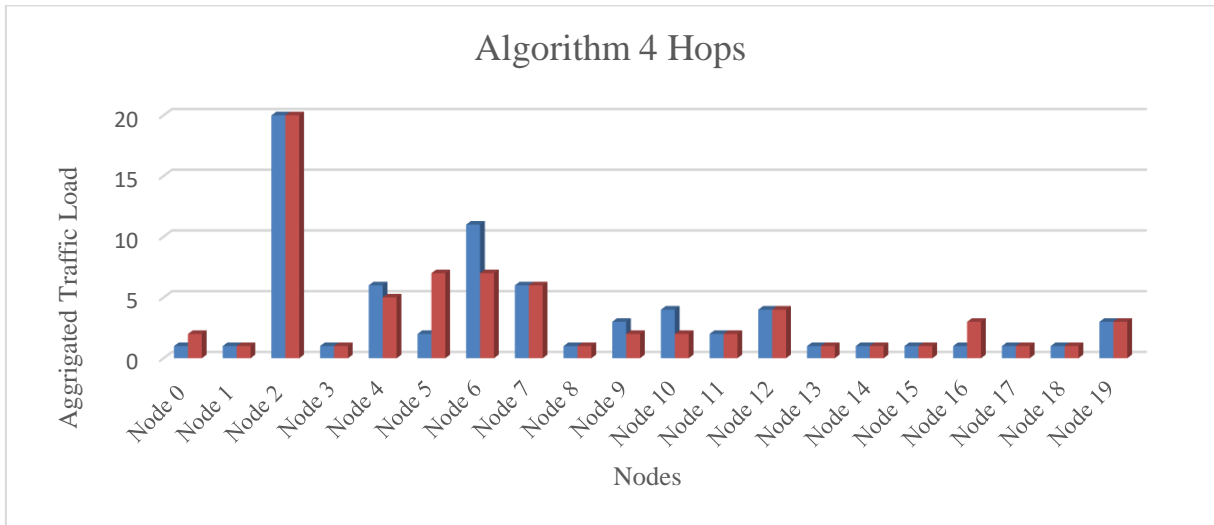


Εικόνα 9 Lifetime Extension Algorithm 3 Hops Away from Sink node

Στην Εικόνα 9 Lifetime Extension Algorithm 3 Hops Away from Sink node μελετάται η περίπτωση όπου ο αλγόριθμος εξετάζει έως και 3 βήματα μακριά από τον sink node προκειμένου να βρει έστω έναν κόμβο στην ίδια γειτονιά που να είναι 1 βήμα μακριά από τον sink node, ούτως ώστε να κάνει την αλλαγή στον κόμβο. Ο κόμβος με τα λιγότερα βήματα γίνεται ο «νέος γονιός» και έτσι μοιράζεται το φορτίο κίνησης.

Στο συγκεκριμένο γράφημα στην Εικόνα 9 Lifetime Extension Algorithm 3 Hops Away from Sink node είναι περισσότερες οι αλλαγές και είναι ορατές στους κόμβους 4, 5, 6, 10 και 16. Στον κόμβο 4 αρχικά το συνολικό φορτίο κίνησης που σπαταλήθηκε για να φτάσουν τα δεδομένα στον κόμβο συλλέκτη ήταν 6 μετά την εφαρμογή του αλγορίθμου μειώθηκε κατά 1 και χρειάστηκε μόλις 5 συνολικά. Με τη σειρά του ο κόμβος 5 πριν τεθεί σε λειτουργία ο αλγόριθμος χρειαζόταν να σπαταλήσει το συνολικό φορτίο κίνησης της τάξεως των 2 για την αποστολή των δεδομένων στον κόμβο συλλέκτη μετά την ενεργοποίηση του αλγορίθμου, αυξήθηκε κατά 5 το συνολικό φορτίο κίνησης, σημαντικός αριθμός. Η συγκεκριμένη όμως αλλαγή έχει μεγάλη σημασία όταν παρατηρείται και ο κόμβος 6, διότι εκεί μειώθηκε το συνολικό φορτίο κίνησης που χρειάστηκαν τα δεδομένα σε μόλις 7 από 11 που ήταν στην αρχή. Είναι φανερό λοιπόν, πως μετά την εφαρμογή του αλγορίθμου είναι σαν να μοιράζεται το φορτίο στους κόμβους, καθώς ο αλγόριθμος μειώνει τα υπερβολικά βήματα από έναν κόμβο σε έναν άλλον με τον έλεγχο του γείτονα κόμβου και επιλέγει να στείλει τα δεδομένα στον γείτονα-κόμβο που χρειάζεται τα πιο λίγα βήματα, κατά συνέπεια μειώνεται και το συνολικό φορτίο κίνησης.

3.4.5 Περίπτωση τέταρτη : Ο Αλγόριθμος εξετάζει την απόσταση σε 4 Hops



Εικόνα 10 Lifetime Extension Algorithm 4 Hops Away from Sink node

Στην Εικόνα 10 Lifetime Extension Algorithm 4 Hops Away from Sink node πραγματοποιείται η ίδια διαδικασία, δηλαδή αλγόριθμος εξετάζει έως και 4 βήματα μακριά από τον κόμβο συλλέκτη προκειμένου με την ίδια λογική να βρει έστω και έναν κόμβο στην ίδια γειτονιά που να είναι 1 βήμα μακριά από τον κόμβο συλλέκτη. Σε αυτή την περίπτωση οι αλλαγές που παρατηρούμε είναι οι εξής, στον κόμβο 0 αυξήθηκε το συνολικό φορτίο κίνησης από τον κόμβο συλλέκτη και από 1 που χρειαζόταν στην αρχή τελικά χρειάστηκε 2. Αντίστοιχα στους κόμβους 4, 5 και 6 φαίνεται σαν να μοιράστηκε το φορτίο καθώς αυξήθηκε το συνολικό φορτίο κίνησης στον κόμβο 5 αλλά μειώθηκε δραματικά στους κόμβους 4 και 6. Επίσης στους κόμβους 9 και 10 μειώθηκε το συνολικό φορτίο κίνησης που στην αρχή χρειάστηκε 3 και μετά χρειάστηκε 4 και 2 αντίστοιχα. Η τελευταία αλλαγή που παρατηρείται είναι στον κόμβο 16 που τελικά χρειάστηκαν από 1, τελικά σε 3.

Κεφάλαιο 4 : Συμπεράσματα

Σε αυτή τη διπλωματική, αναλύονται τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, οι λειτουργίες και πόσο σημαντικό ρόλο πλέον παίζουν στην καθημερινότητα μας και γι' αυτόν ακριβώς το λόγο υπάρχει μια ευρεία μελέτη όσον αφορά τον τρόπο μετάδοσης και τα προβλήματα που δημιουργούνται. Ένα λοιπόν βασικό πρόβλημα είναι αυτό της κατανάλωσης ενέργειας που παρατηρείται στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Υπάρχει μία εκτενής βιβλιογραφία και αρκετοί μέθοδοι ως προς τη βελτιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας.

Σε αυτή την εργασία λοιπόν, ο αλγόριθμος που προτείνεται φαίνεται να λειτουργεί και να εξισορροπεί το φορτίο στους κόμβους κοντά στον κόμβο συλλέκτη, δίνοντας έτσι λίγο

περισσότερο ζωή στο δίκτυο. Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος ήταν κατασκευασμένος να επιλέγει τους κόμβους που βρίσκονται 2 βήματα μακριά από τον κόμβο συλλέκτη για έλεγχο του φορτίου κίνησης και αλλαγή της διαδρομής. Στη συνέχεια παρατίθεται και η εξέλιξή του, όπου ο αλγόριθμος ελέγχει εξίσου για 3 και 4 βήματα μακριά από τον κόμβο συλλέκτη με αποτέλεσμα να παρατείνεται κι άλλο η διάρκεια ζωής του ασύρματου δικτύου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [E. Μπούντου, «Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων,» 2018. [Ηλεκτρονικό]. Available:
1 [http://oceanis.lib.puas.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/4457/ΑΣΥΡΜΑΤΑ%20](http://oceanis.lib.puas.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/4457/ΑΣΥΡΜΑΤΑ%20ΔΙΚΤΥΑ%20ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ.pdf.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
] [ΔΙΚΤΥΑ%20ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ.pdf.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://oceanis.lib.puas.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/4457/ΑΣΥΡΜΑΤΑ%20ΔΙΚΤΥΑ%20ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ.pdf.pdf?sequence=1&isAllowed=y). [Πρόσβαση 8
Ιούλιος 2021].
- [Π. Χλωπτσίδης, «Παρακολούθηση αγροτικής παραγωγής μέσω εφαρμογής σε
2 ασύρματα δίκτυα αισθητήρων,» 2017. [Ηλεκτρονικό]. Available:
] <http://repository.library.teimes.gr/xmlui/handle/123456789/5821?show=full>.
[Πρόσβαση 8 Ιούλιος 2021].
- [Δ. Ι. Παναγόπουλος, «Wireless Sensor Networks (WSN),» 2008. [Ηλεκτρονικό].
3 Available: <http://docplayer.gr/46186987-Wireless-sensor-networks-wsn.html>.
] [Πρόσβαση 4 Αύγουστος 2021].
- [X. Μαυρίδης, «Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων,» 2014. [Ηλεκτρονικό]. Available:
4 [https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/39522/mavridis.pdf?seq](https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/39522/mavridis.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
] [uence=1&isAllowed=y](https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/39522/mavridis.pdf?sequence=1&isAllowed=y). [Πρόσβαση 10 Ιούλιος 2021].
- [X. X. Παπαβασιλείου, «Συλλογή και Συνάθροιση Δεδομένων σε Ασύρματα Δίκτυα
5 Αισθητήρων με Χρήση Ενεργειακά Αποδοτικού Πρωτοκόλλου,» 2011.
] [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/132821616.pdf>.
[Πρόσβαση 14 Ιούλιος 2021].
- [Γ. Γούσης, «Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων (Παράδειγμα Δικτύου μικρής
6 εμβέλειας),» 2014. [Ηλεκτρονικό]. Available:
] [https://apothetirio.lib.uoi.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/4771/ΑΣΥΡΜΑΤΑ%](https://apothetirio.lib.uoi.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/4771/ΑΣΥΡΜΑΤΑ%20ΔΙΚΤΥΑ%20ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ-ΓΙΩΡΓΟΣ%20ΓΟΥΣΗΣ.pdf?sequence=1)
[20ΔΙΚΤΥΑ%20ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ-ΓΙΩΡΓΟΣ%20ΓΟΥΣΗΣ.pdf?sequence=1](https://apothetirio.lib.uoi.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/4771/ΑΣΥΡΜΑΤΑ%20ΔΙΚΤΥΑ%20ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ-ΓΙΩΡΓΟΣ%20ΓΟΥΣΗΣ.pdf?sequence=1).
[Πρόσβαση 20 Ιούλιος 2021].
- [A. Ξενάκης, «Βελτιστοποίηση κατανάλωσης ενέργειας σε ασύρματα δίκτυα
7 αισθητήρων με χρήση μεθόδων διαχείρισης τοπολογίας δικτύων,» Βόλος, 2014.
]

- [X. C. S. Z. a. Y. Z. Y. Xue, «An efficient energy hole alleviating algorithm for
8 wireless sensor networks,» *An efficient energy hole alleviating algorithm for wireless
] sensor networks*, pp. 347-355, 03 November 2014.
- [S. V. S. G. A. K. S. J. C. Shiva Raj Pokhrel, «An Efficient Clustering Framework for
9 Massive,» *IEEE Transactions on Industrial Informatics (IEEE T IND INFORM)*,
] τόμ. 1, αρ. 1, pp. 1-8, 2020.
- [H. A. T.-C. W. ., N. G. Hadi Asharioun, «A Survey on Analytical Modeling and
1 Mitigation Techniques for the Energy Hole Problem in Corona-Based Wireless
0 Sensor Network,» 28 October 2014. [Ηλεκτρονικό]. Available:
] <https://link.springer.com/article/10.1007/s11277-014-2122-3>. [Πρόσβαση 8
Αύγουστος 2021].
- [X. Αντωνόπουλος, «Σχεδίαση και ανάπτυξη επικοινωνιακής αρχιτεκτονικής
1 συνδυασμένων επιπέδων σε κατανεμημένα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων με
1 απαιτήσεις απόκρισης πραγματικού χρόνου,» 2008. [Ηλεκτρονικό]. Available:
] https://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/1263/1/PhD_Thesis_Antonopoulos_Christos.pdf. [Πρόσβαση 27 Ιούλιος 2021].
- [W. Y. E. I.F.Akyildiz, «Wireless sensor networks: a survey,» *Computer Networks*,
1 τόμ. 38, αρ. 4, pp. 393-422, 15 March 2002.
2
]]
- [Γ. Τσουμάνης, «Βελτιστοποίηση Κατανάλωσης Ενέργειας σε ασύρματα δίκτυα
1 αισθητήρων,» Ιόνιο Πανεπιστήμιο, 2018.
3
]]
- [M. C. M. D. F. A. P. Giuseppe Anastasi, «Energy conservation in wireless sensor
1 networks: A survey,» σε *Ad Hoc Networks*, τόμ. 7, 2009, pp. 537-568.
4
]]

[P. M. Jian Li, «Analytical modeling and mitigation techniques for the energy hole
1 problem in sensor networks,» σε *Pervasive and Mobile Computing*, τόμ. 3, 2007, pp.
5 233-254.

]

[T. R. V.-C. J. B. Cian ÓMathúna, «Energy scavenging for long-term deployable
1 wireless sensor networks,» σε *Talanta*, 2008, pp. 613-623.

6

]

[S. H.-P. J. M. A. Efrat, «Approximation algorithms for two optimal location
1 problems in sensor networks,» 2005.

7

]

[C. E. E. I. Oyman, «Multiple sink network design problem in large scale wireless
1 sensor networks,» Paris, France, 2004.

8

]

[E. M. S. R. A. Bogdanov, «Power-aware base station positioning for sensor
1 networks,» Hong Kong, China, 2004.

9

]

[N. A. C. E. M. Emre Keskin. Kuban Altinel, «Wireless sensor network lifetime
2 maximization by optimal sensor deployment, activity scheduling, data routing and
0 sink mobility,» *Ad Hoc Networks*, τόμ. 17, pp. 18-36, 2014.

]

[E. C. M. H. S. L. a. D. C. W. Li, «Communication Cost Minimization in Wireless
2 Sensor and Actor Networks for Road Surveillance,» 2011.

1

]

[R. V. A. V. Zoltan Vincze, «Deploying Multiple Sinks in Multi-hop Wireless Sensor
2 Networks,» Turkey, 2007.

2

]

[J.-P. H. Jun Luo, «Joint mobility and routing for lifetime elongation in wireless
2 sensor networks,» Miami, FL, USA, 2005.

3

]

[T. W. W. J. M. G. J. L. Guojun Wang, «Adaptive location updates for mobile sinks
2 in wireless sensor networks,» *The Journal of Supercomputing*, p. 127–145 , 21 March
4 2009.

]

[L. G. Ioannis Papadimitriou, «Energy-aware Routing to Maximize Lifetime in
2 Wireless Sensor Networks with Mobile Sink,» *Journal of Communications Software
5 and Systems*, τόμ. 2, αρ. 2, p. 141–151, June 2006.

]

[G. Tsoumanis, «Energy Consumption Optimization in Wireless,» Ioannina, 2018.

2

6

]

[G. N. T. A. T. G. E. S. E. O. K. & A. C. T. Georgios Tsoumanis, «A Lifetime
2 Extension Framework for Wireless Sensor Networks,» σε *In 2020 43rd International
7 Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP)*, Άρτα, 2020.

]

[H. A. G. L. Eiselt, «Facility Location: A survey of application and methods.,» 1995.
2 [Ηλεκτρονικό]. [Πρόσβαση 1 October 2021].

8

]

[M. S. N. A. Reza Zanjirani Farahani, «Multiple criteria facility location problems: A
2 survey,» *Applied Mathematical Modelling*, τόμ. 34, αρ. 7, pp. 1689-1709, 2008.
9
]

[K. O. ,. S. A. ,. I. S. Georgios Tsoumanis, «A recharging distance analysis for
3 wireless sensor networks,» 22 March 2018. [Ηλεκτρονικό]. Available:
0 [https://www.researchgate.net/publication/323948063_A_Recharging_Distance_Anal](https://www.researchgate.net/publication/323948063_A_Recharging_Distance_Analysis_for_Wireless_Sensor_Networks)
] [ysis_for_Wireless_Sensor_Networks](https://www.researchgate.net/publication/323948063_A_Recharging_Distance_Analysis_for_Wireless_Sensor_Networks). [Πρόσβαση 19 September 2021].

[K. O. G. K. S. A. Georgios Tsoumanis, «Computer Networks,» 31 May 2018.
3 [Ηλεκτρονικό]. Available: [https://www.researchgate.net/profile/Georgios-](https://www.researchgate.net/profile/Georgios-Tsoumanis/publication/325481565_Energy-efficient_Sink_Placement_in_Wireless_Sensor_Networks/links/5f969c2f299bf1b53e45ed19/Energy-efficient-Sink-Placement-in-Wireless-Sensor-Networks.pdf)
1 [Tsoumanis/publication/325481565_Energy-](https://www.researchgate.net/profile/Georgios-Tsoumanis/publication/325481565_Energy-efficient_Sink_Placement_in_Wireless_Sensor_Networks/links/5f969c2f299bf1b53e45ed19/Energy-efficient-Sink-Placement-in-Wireless-Sensor-Networks.pdf)
] [efficient_Sink_Placement_in_Wireless_Sensor_Networks/links/5f969c2f299bf1b53e](https://www.researchgate.net/profile/Georgios-Tsoumanis/publication/325481565_Energy-efficient_Sink_Placement_in_Wireless_Sensor_Networks/links/5f969c2f299bf1b53e45ed19/Energy-efficient-Sink-Placement-in-Wireless-Sensor-Networks.pdf)
45ed19/Energy-efficient-Sink-Placement-in-Wireless-Sensor-Networks.pdf.
[Πρόσβαση 21 September 2021].

[[Ηλεκτρονικό].
3
2
]

[Sayalibagwe, «Wireless Sensor Network Model,» Ques10, India, 2016.
3
3
]

[E. Μπούντου, "Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων," 2018. [Online]. Available:
1 [http://oceanis.lib.puas.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/4457/ΑΣΥΡΜΑΤΑ%20](http://oceanis.lib.puas.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/4457/ΑΣΥΡΜΑΤΑ%20ΔΙΚΤΥΑ%20ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ.pdf.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
] [ΔΙΚΤΥΑ%20ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ.pdf.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://oceanis.lib.puas.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/4457/ΑΣΥΡΜΑΤΑ%20ΔΙΚΤΥΑ%20ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ.pdf.pdf?sequence=1&isAllowed=y). [Accessed 8
Ιούλιος 2021].

- [Π. Χλωπτσίδης, "Παρακολούθηση αγροτικής παραγωγής μέσω εφαρμογής σε
2 ασύρματα δίκτυα αισθητήρων," 2017. [Online]. Available:
] <http://repository.library.teimes.gr/xmlui/handle/123456789/5821?show=full>.
[Accessed 8 Ιούλιος 2021].
- [Δ. Ι. Παναγόπουλος, "Wireless Sensor Networks (WSN)," 2008. [Online]. Available:
3 <http://docplayer.gr/46186987-Wireless-sensor-networks-wsn.html>. [Accessed 4
] Αύγουστος 2021].
- [Χ. Μαυρίδης, "Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων," 2014. [Online]. Available:
4 [https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/39522/mavridis.pdf?seq
\] uence=1&isAllowed=y](https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/39522/mavridis.pdf?sequence=1&isAllowed=y). [Accessed 10 Ιούλιος 2021].
- [Χ. Χ. Παπαβασιλείου, "Συλλογή και Συνάθροιση Δεδομένων σε Ασύρματα Δίκτυα
5 Αισθητήρων με Χρήση Ενεργειακά Αποδοτικού Πρωτοκόλλου," 2011. [Online].
] Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/132821616.pdf>. [Accessed 14 Ιούλιος
2021].
- [Γ. Γούσης, "Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων (Παράδειγμα Δικτύου μικρής
6 εμβέλειας)," 2014. [Online]. Available:
] [https://apothetirio.lib.uoi.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/4771/ΑΣΥΡΜΑΤΑ%
20ΔΙΚΤΥΑ%20ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ-ΓΙΩΡΓΟΣ%20ΓΟΥΣΗΣ.pdf?sequence=1](https://apothetirio.lib.uoi.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/4771/ΑΣΥΡΜΑΤΑ%20ΔΙΚΤΥΑ%20ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ-ΓΙΩΡΓΟΣ%20ΓΟΥΣΗΣ.pdf?sequence=1).
[Accessed 20 Ιούλιος 2021].
- [Α. Ξενάκης, "Βελτιστοποίηση κατανάλωσης ενέργειας σε ασύρματα δίκτυα
7 αισθητήρων με χρήση μεθόδων διαχείρισης τοπολογίας δικτύων," Βόλος, 2014.
]
- [X. C. S. Z. a. Y. Z. Y. Xue, "An efficient energy hole alleviating algorithm for
8 wireless sensor networks," *An efficient energy hole alleviating algorithm for wireless
] sensor networks*, pp. 347-355, 03 November 2014.
- [S. V. S. G. A. K. S. J. C. Shiva Raj Pokhrel, "An Efficient Clustering Framework for
9 Massive," *IEEE Transactions on Industrial Informatics (IEEE T IND INFORM)*, vol.
] 1, no. 1, pp. 1-8, 2020.

- [H. A. T.-C. W. ., N. G. Hadi Asharioun, "A Survey on Analytical Modeling and
1 Mitigation Techniques for the Energy Hole Problem in Corona-Based Wireless
0 Sensor Network," 28 October 2014. [Online]. Available:
] <https://link.springer.com/article/10.1007/s11277-014-2122-3>. [Accessed 8
Αύγουστος 2021].
- [X. Αντωνόπουλος, "Σχεδίαση και ανάπτυξη επικοινωνιακής αρχιτεκτονικής
1 συνδυασμένων επιπέδων σε κατανομημένα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων με
1 απαιτήσεις απόκρισης πραγματικού χρόνου," 2008. [Online]. Available:
] https://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/1263/1/PhD_Thesis_Antonopoulos_Christos.pdf. [Accessed 27 Ιούλιος 2021].
- [W. Y. E. I.F.Akyildiz, "Wireless sensor networks: a survey," *Computer Networks*,
1 vol. 38, no. 4, pp. 393-422, 15 March 2002.
2
]
- [Γ. Τσουμάνης, "Βελτιστοποίηση Κατανάλωσης Ενέργειας σε ασύρματα δίκτυα
1 αισθητήρων," Ιόνιο Πανεπιστήμιο, 2018.
3
]
- [M. C. M. D. F. A. P. Giuseppe Anastasi, "Energy conservation in wireless sensor
1 networks: A survey," in *Ad Hoc Networks*, vol. 7, 2009, pp. 537-568.
4
]
- [P. M. Jian Li, "Analytical modeling and mitigation techniques for the energy hole
1 problem in sensor networks," in *Pervasive and Mobile Computing*, vol. 3, 2007, pp.
5 233-254.
]
- [T. R. V.-C. J. B. Cian ÓMathúna, "Energy scavenging for long-term deployable
1 wireless sensor networks," in *Talanta*, 2008, pp. 613-623.

6

]

[S. H.-P. J. M. A. Efrat, "Approximation algorithms for two optimal location
1 problems in sensor networks," 2005.

7

]

[C. E. E. I. Oyman, "Multiple sink network design problem in large scale wireless
1 sensor networks," Paris, France, 2004.

8

]

[E. M. S. R. A. Bogdanov, "Power-aware base station positioning for sensor
1 networks," Hong Kong, China, 2004.

9

]

[N. A. C. E. M. Emre Keskin. Kuban Altinel, "Wireless sensor network lifetime
2 maximization by optimal sensor deployment, activity scheduling, data routing and
0 sink mobility," *Ad Hoc Networks*, vol. 17, pp. 18-36, 2014.

]

[E. C. M. H. S. L. a. D. C. W. Li, "Communication Cost Minimization in Wireless
2 Sensor and Actor Networks for Road Surveillance," 2011.

1

]

[R. V. A. V. Zoltan Vincze, "Deploying Multiple Sinks in Multi-hop Wireless Sensor
2 Networks," Turkey, 2007.

2

]

[J.-P. H. Jun Luo, "Joint mobility and routing for lifetime elongation in wireless
2 sensor networks," Miami, FL, USA, 2005.

3

]

[T. W. W. J. M. G. J. L. Guojun Wang, "Adaptive location updates for mobile sinks in
2 wireless sensor networks," *The Journal of Supercomputing*, p. 127–145 , 21 March
4 2009.

]

[L. G. Ioannis Papadimitriou, "Energy-aware Routing to Maximize Lifetime in
2 Wireless Sensor Networks with Mobile Sink," *Journal of Communications Software
5 and Systems*, vol. 2, no. 2, p. 141–151, June 2006.

]

[G. Tsoumanis, "Energy Consumption Optimization in Wireless," Ioannina, 2018.

2

6

]

[G. N. T. A. T. G. E. S. E. O. K. & A. C. T. Georgios Tsoumanis, "A Lifetime
2 Extension Framework for Wireless Sensor Networks," in *In 2020 43rd International
7 Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP)*, Apta, 2020.

]

[H. A. G. L. Eiselt, "Facility Location: A survey of application and methods.," 1995.
2 [Online]. [Accessed 1 October 2021].

8

]

[M. S. N. A. Reza Zanjirani Farahani, "Multiple criteria facility location problems: A
2 survey," *Applied Mathematical Modelling*, vol. 34, no. 7, pp. 1689-1709, 2008.

9

]

[K. O. , S. A. , I. S. Georgios Tsoumanis, "A recharging distance analysis for
3 wireless sensor networks," 22 March 2018. [Online]. Available:

0 [https://www.researchgate.net/publication/323948063_A_Recharging_Distance_Anal](https://www.researchgate.net/publication/323948063_A_Recharging_Distance_Analysis_for_Wireless_Sensor_Networks)
] [ysis_for_Wireless_Sensor_Networks](https://www.researchgate.net/publication/323948063_A_Recharging_Distance_Analysis_for_Wireless_Sensor_Networks). [Accessed 19 September 2021].

[K. O. G. K. S. A. Georgios Tsoumanis, "Computer Networks," 31 May 2018.
3 [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/profile/Georgios-](https://www.researchgate.net/profile/Georgios-Tsoumanis/publication/325481565_Energy-efficient_Sink_Placement_in_Wireless_Sensor_Networks/links/5f969c2f299bf1b53e45ed19/Energy-efficient-Sink-Placement-in-Wireless-Sensor-Networks.pdf)
1 [Tsoumanis/publication/325481565_Energy-](https://www.researchgate.net/profile/Georgios-Tsoumanis/publication/325481565_Energy-efficient_Sink_Placement_in_Wireless_Sensor_Networks/links/5f969c2f299bf1b53e45ed19/Energy-efficient-Sink-Placement-in-Wireless-Sensor-Networks.pdf)
] [efficient_Sink_Placement_in_Wireless_Sensor_Networks/links/5f969c2f299bf1b53e](https://www.researchgate.net/profile/Georgios-Tsoumanis/publication/325481565_Energy-efficient_Sink_Placement_in_Wireless_Sensor_Networks/links/5f969c2f299bf1b53e45ed19/Energy-efficient-Sink-Placement-in-Wireless-Sensor-Networks.pdf)
45ed19/Energy-efficient-Sink-Placement-in-Wireless-Sensor-Networks.pdf.
[Accessed 21 September 2021].

[[Online].

3

2

]

[Sayalibagwe, "Wireless Sensor Network Model," Ques10, India, 2016.

3

3

]

[Οπισθόφυλλο. Κενή σελίδα]