

Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής ΤΕ ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Ενεργειακή μελέτη κατάστασης μέγιστης εντροπίας σε
δίκτυο αισθητήρων.»**



**ΚΑΡΒΟΥΝΙΑΡΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ
ΑΜ: 0218**

**Επιβλέπων καθηγητής:
ΑΣΑΡΙΔΗΣ ΗΛΙΑΣ**

2016

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1- Παράδειγμα WBAN.....	17
Εικόνα 2 - Παράδειγμα WPAN	19
Εικόνα 3- Παράδειγμα WLAN.....	20
Εικόνα 4- Παράδειγμα WMAN.....	21
Εικόνα 5 - Παράδειγμα WWLAN.....	22
Εικόνα 6-Σενάριο χρήσης σε στάδιο	26
Εικόνα 7- Σενάριο χρήσης σε Τρένο.....	27
Εικόνα 8- Σενάριο χρήσης σε πολυκατοικία	27
Εικόνα 9- Τα επιμέρους υποσυστήματα ενός SN.	28
Εικόνα 10 – Αισθητήριои κόμβοι	29
Εικόνα 11- Σχηματικό διάγραμμα κόβου αισθητήρα	30
Εικόνα 12- -κατηγοριοποίηση των εφαρμογών των WSN	35
Εικόνα 13- Χρήση αισθητήρων σε στρατιωτικές εφαρμογές.....	38
Εικόνα 14- Χρήση αισθητήρων σε ηφαίστειο.....	39
Εικόνα 15- Χρήση αισθητήρων για την πρόληψη δασικής πυρκαγιάς.....	40
Εικόνα 16- Η χρήση αισθητήρων στην ιατρική	41
Εικόνα 17- Έξυπνο Σπίτι	43
Εικόνα 18 - DSN.....	63
Εικόνα 19- MAWSN.....	63
Εικόνα 20- Γενική αρχιτεκτονική του DSN	64
Εικόνα 21- Αρχιτεκτονική Cluster	83
Εικόνα 22- Χρήση διαθέσιμων πρωτοκόλλων στο NS2	87
Εικόνα 23- Μορφή αρχείου trace.....	89
Εικόνα 24- Δημιουργία κόμβων.....	95
Εικόνα 25- υπολογισμός κατανάλωσης ενέργειας.....	96

Περιεχόμενα

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ	1
«Ενεργειακή μελέτη κατάστασης μέγιστης εντροπίας σε δίκτυο αισθητήρων.».....	1
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	5
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΑΣΥΡΜΑΤΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ.....	9
1.1. ΓΕΝΙΚΑ - ΑΣΥΡΜΑΤΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ.....	9
1.2. Τι είναι τα ασύρματα δίκτυα.....	11
1.3 Πλεονεκτήματα ασύρματης δικτύωσης.....	12
1.4. Ασύρματα Δίκτυα – Μειονεκτήματα	13
1.5. Από τον Τηλέγραφο ως τις Σύγχρονες Ασύρματες Επικοινωνίες.....	15
1.6. Κατηγορίες Ασυρμάτων Δικτύων	16
1.7. Η ομάδα HEW (High Efficiency WLAN) του IEEE.....	22
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2- ΔΙΚΤΥΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ	24
2.1.Σενάρια υψηλής χρήσης στο νέο πρότυπο	24
2.1. Περιγραφή των Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων.....	27
2.2. ΔΙΚΤΥΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ (WSNs): ΣΥΝΤΟΜΗ ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ, ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΚΑΙ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ	33
2.2.1. Σύντομη Ιστορία των WSNs	33
2.2.2. Εφαρμογές των WSNs.....	34
2.3. Βέλτιστη Τοποθέτηση SNs	47
2.4. Χρονικός Συγχρονισμός.....	48
2.5. Εντοπισμός και Παρακολούθηση	50
2.6. Ενέργεια - Έλεγχος Δικτύου και Επικοινωνιών.....	50
2.8. Ασφάλεια - Έλεγχος Συμφόρησης	53
2.9. Δρομολόγηση Δεδομένων και Διαχείριση Τοπολογίας	54
2.10. Δίκτυα αισθητήρων και Κινητοί Πράκτορες (Mobile Agents)	57

2.10.1. Mobile agent.....	57
Ορισμός από τη σκοπιά του συστήματος	58
Λειτουργίες των Mobile agents.....	59
2.10.2. DISTRIBUTED SENSOR NETWORK(DSN)	62
ΠΡΟΚΛΗΣΗ ΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΤΗΣ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥΣ	64
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ.....	65
3.1. το πρόβλημα κατανάλωσης της ενέργειας	65
3.2. Η έννοια της Εντροπίας	66
3.3. Μέθοδος Μέγιστης Εντροπίας (Max Entropy Method)	69
3.3.1. Ορισμός της μεθόδου της Μέγιστης Εντροπίας	70
3.3.2. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΕΝΤΡΟΠΙΑΣ ΓΙΑ.....	72
3.4. Επικοινωνιακά Πρωτόκολλα Εξοικονόμησης Ενέργειας.....	78
3.5. Μοντέλο εξοικονόμησης ενέργειας βασισμένο στην εντροπία.....	81
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4- ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ NS2 - ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΤΗΣ ΔΙΚΤΥΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ	85
4.1. Η χρησιμότητα του NS2.....	85
4.2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	87
4.3. Υπολογισμός υπολειπόμενης ενέργειας.....	97
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	103

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η Ασύρματη δικτύωση επιτρέπει τις ίδιες δυνατότητες και επιτυγχάνει ταχύτητες ίσες με της ενσύρματης χωρίς τις δυσκολίες που περιλαμβάνουν το σύρμα, η διάτρηση σε τοίχους, το πέρασμα και το κόστιμο των καλωδίων Ethernet σε ένα, το οποίο πρέπει να περάσει από όλα τα γραφεία. Ενώ από την άλλη οι χρήστες που χρησιμοποιούν φορητούς υπολογιστές έχουν την ελευθερία να περιφέρονται σε οποιοδήποτε σημείο του κτιρίου γραφείο ή στο σπίτι τους χωρίς να χρειάζεται ένα καλώδιο σύνδεσης.

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 αδύναμη 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 (βιομηχανία, κατασκευές κ.λπ.). Η χρήση των WSNs δεν περιορίζεται φυσικά μόνο στους παραπάνω τομείς αλλά επεκτείνεται σε ένα πολύ ευρύτερο φάσμα δραστηριοτήτων της σύγχρονης ζωής

Σημαντικό ζήτημα σε ένα κόμβο αισθητήρα ασυρμάτου δικτύου είναι η ενέργεια κατανάλωσης η οποία καθορίζει και την διάρκεια της ζωής του κόμβου όταν η αλλαγή μπαταρίας είναι αδύνατη ή ασύμφορη.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ασύρματη τεχνολογία έχει βοηθήσει στην απλοποίηση του τρόπου της δικτύωσης, επιτρέποντας πολλαπλούς χρήστες είτε βρίσκονται σε ιδιωτικό χώρο είτε σε δημόσιο να μοιράζονται ταυτόχρονα διάφορους πόρους χωρίς πρόσθετες ή ενοχλητικές καλωδιώσεις. Οι πόροι αυτοί θα μπορούσαν να περιλαμβάνουν μια ευρυζωνική σύνδεση στο Internet, το δίκτυο των εκτυπωτών, τα αρχεία δεδομένων, ακόμα και streaming audio και βίντεο. Αυτό το είδος της κατανομής των πόρων έχει γίνει πιο διαδεδομένο, όπως στους χρήστες των ηλεκτρονικών υπολογιστών με αυτόνομους υπολογιστές να εργάζονται σε δίκτυα με πολλούς υπολογιστές όπου το καθένα με διαφορετικά λειτουργικά συστήματα και διάφορα εργαλεία εξοπλισμού.

Η ασύρματη μετάδοση που γίνεται με τη χρήση κεραιών εκπομπής και λήψης, αντίθετα, έχει χαμηλότερο κόστος εγκατάστασης. Χρησιμοποιεί διάφορους τύπους κεραιών και επηρεάζεται άμεσα από το περιβάλλον διάδοσης που ποικίλλει και χαρακτηρίζεται από διάφορα φαινόμενα ανάκλασης, διάθλασης, σκέδασης και απορρόφησης.

Τα τελευταία χρόνια μια τεράστια επανάσταση βρίσκεται σε εξέλιξη, η οποία έχει μεταβάλλει τον τρόπο με τον οποίο η άνθρωποι αντιμετωπίζουν την τεχνολογία. Κοιτώντας κανείς γύρω του μπορεί να δει πανίσχυρες ηλεκτρονικές συσκευές, οι οποίες είναι ικανές να εκτελέσουν σύνθετες υπολογιστικές λειτουργίες, αλλάζοντας τον τρόπο που οι άνθρωποι δουλεύουν, σπουδάζουν και ζούν.

Η επανάσταση αυτή στηρίζεται σε τρεις, ανεξάρτητους πυλώνες, τις τηλεπικοινωνίες με την τεράστια πρόοδο που έχουν σημειώσει οι ασύρματες ειδικότερα τα τελευταία χρόνια, τις τεχνικές κατανεμημένου προγραμματισμού, και την ηλεκτρονική με την κατασκευή πανίσχυρων χαμηλού κόστους ηλεκτρονικών υποσυστημάτων για χρήση σε κάθε είδους σύστημα. (Akyildiz, & Melodia 2008)

Ο πρώτος ο οποίος μίλησε για την ιδέα του διάχυτου προγραμματισμού ήταν ο Mark Weiser το 1988 όταν ήταν επικεφαλής στο PARC, ένα ερευνητικό κέντρο της Xerox στο Palo Alto των ΗΠΑ. Σε ένα άρθρο της εποχής εκείνης ο Weiser διατύπωσε την άποψη ότι σκοπός των μηχανικών, θα πρέπει να είναι όχι η κατασκευή υπολογιστικών συστημάτων τόσο ισχυρών ώστε να μην μπορούμε να απομακρυνθούμε από αυτά, αλλά στην ανάπτυξη αόρατων συστημάτων που να κατακλύζουν τον χώρο που διαβιούμε και εργαζόμαστε, και που ενώ θα μπορούμε να τα χρησιμοποιούμε να μην αντιλαμβανόμαστε ότι πράττουμε κάτι τέτοιο.

Είκοσι χρόνια σχεδόν μετά, και το όραμα του Weiser αρχίζει να υλοποιείται, και η υλοποίηση αυτή δεν συμβαίνει σε ένα από τα πολλά εργαστήρια και ερευνητικά κέντρα που ασχολούνται με αυτή την ιδέα αλλά στην καθημερινή ζωής μας (π.χ δίκτυα αισθητήρων αυτοκινήτων). Σε αυτή την διαδικασία της υλοποίησης του οράματος του Weiser τα δίκτυα αισθητήρων παίζουν κεντρικό ρόλο. Η επανάσταση που συντελείται σε αυτά μπορεί να εξαφανίσει, τα σημερινά υπολογιστικά συστήματα από το προσκήνιο, και να τα αντικαταστήσει με κάθε λογής «έξυπνα» αντικείμενα, τα οποία θα είναι σε θέση να προγραμματίζονται, να σχηματίζουν δίκτυα μεταξύ τους, και να φροντίζουν για την ικανοποίηση των αναγκών των ιδιοκτητών, χωρίς οι ίδιοι να απαιτείται να προβούν σε καμιά ενέργεια. (Akyildiz, & Melodia 2008)

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. Τα ίδια χαρακτηριστικά των WSNs τα καθιστούν κατάλληλα για ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών όπως η ιατρική παρακολούθηση ασθενών, η συλλογή δεδομένων από περιοχές που έχουν υποστεί καταστροφές ή έχουν επικίνδυνη πρόσβαση (π.χ. κρατήρες ηφαιστείων), στρατιωτικές επιχειρήσεις, επιτήρηση περιοχών, δασοπροστασία, εκπαίδευση, παρακολούθηση άγριων ζώων κ.α.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΑΣΥΡΜΑΤΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ

1.1. ΓΕΝΙΚΑ - ΑΣΥΡΜΑΤΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ

Η ασύρματη μετάδοση που γίνεται με τη χρήση κεραιών εκπομπής και λήψης, έχει χαμηλό κόστος εγκατάστασης. Χρησιμοποιεί διάφορους τύπους κεραιών και επηρεάζεται άμεσα από το περιβάλλον διάδοσης που ποικίλλει και χαρακτηρίζεται από διάφορα φαινόμενα ανάκλασης, διάθλασης, σκέδασης και απορρόφησης. Αυτά τα φαινόμενα πηγάζουν από την ανομοιογένεια της επιφάνειας της γης και της ατμόσφαιρας που την περιβάλλει. Η γήινη επιφάνεια είναι μη επίπεδη και εμφανίζει διάφορα επίπεδα αγωγιμότητας ενώ η ατμόσφαιρα έχει σύσταση και διηλεκτρικές ιδιότητες που διαρκώς μεταβάλλονται καθώς επηρεάζονται από τη θερμοκρασία και την υγρασία. (Κωττής, 2003)

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. (Θεολόγου 2009)

Με την υλοποίηση αυτού του οράματος στις τηλεπικοινωνίες θα γίνει δυνατή η χρήση και ανταλλαγή πληροφορίας με τη μορφή πολυμέσων με χρήση απλά και μόνο μιας μικρής συσκευής χειρός ή ενός φορητού υπολογιστή. Τα ασύρματα δίκτυα θα διασυνδέουν υπολογιστές χειρός, επιτραπέζιους καθώς και φορητούς οπουδήποτε μέσα σε ένα κτίριο με γραφεία, σε μία πανεπιστημιούπολη ή ακόμα και σε μία καφετέρια. Μέσα στο σπίτι αυτά τα δίκτυα θα κάνουν εφικτή τη χρήση μιας νέας κατηγορίας "έξυπνων" ηλεκτρονικών συσκευών που μπορούν να αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και με το διαδίκτυο επιπλέον της παροχής συνδεσιμότητας μεταξύ υπολογιστών, τηλεφωνικών συσκευών και συστημάτων ασφαλείας. Τέτοια "έξυπνα" σπίτια μπορούν επίσης να βοηθήσουν τους ανθρώπους τρίτης ηλικίας και τους ανάπηρους να έχουν καλύτερη ποιότητα ζωής. (Κωττής, 2003)

Οι διαφορετικές εφαρμογές των ασύρματων επικοινωνιών έχουν και διαφορετικές απαιτήσεις και ως εκ τούτου υπάρχει μία διάσπαση στον τομέα της βιομηχανίας σε αναφορά με τις ασύρματες εφαρμογές. Για παράδειγμα, οι φωνητικές εφαρμογές έχουν χαμηλές απαιτήσεις σε ρυθμούς δεδομένων (περί τα 20 Kbps) και είναι ανεκτικές σε αρκετά υψηλούς ρυθμούς σφαλμάτων (BER της τάξης του 10^{-3}) αλλά η συνολική καθυστέρηση πρέπει να είναι μικρότερη από περίπου 30 msec αλλιώς γίνεται αντιληπτό στο χρήστη. Από την άλλη, τα συστήματα επικοινωνιών δεδομένων τυπικά απαιτούν πολύ υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων (1-100 Mbps) και πολύ μικρούς ρυθμούς σφαλμάτων (BER της τάξης του 10^{-8} και όλα τα εσφαλμένα bits πρέπει να αναμεταδοθούν) αλλά δεν έχουν σταθερές απαιτήσεις σε καθυστέρηση. Τα συστήματα με βίντεο πραγματικού χρόνου έχουν υψηλές απαιτήσεις σε ρυθμούς δεδομένων σε συνδυασμό με τους ίδιους περιορισμούς καθυστέρησης. Αυτές οι διαφορετικές απαιτήσεις για τις διαφορετικές εφαρμογές καθιστούν δύσκολο να αναπτυχθεί ένα ασύρματο δίκτυο

που να ικανοποιεί ταυτόχρονα και αποτελεσματικά όλες αυτές τις απαιτήσεις, (Goldsmith, 2005)

1.2. Τι είναι τα ασύρματα δίκτυα

Ως ασύρματο δίκτυο χαρακτηρίζεται το τηλεπικοινωνιακό δίκτυο, συνήθως, τηλεφωνικό ή δίκτυο υπολογιστών, το οποίο χρησιμοποιεί, ραδιοκύματα ως φορείς πληροφορίας. Τα δεδομένα μεταφέρονται μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, με συχνότητα φέροντος η οποία εξαρτάται κάθε φορά από τον ρυθμό μετάδοσης δεδομένων που απαιτείται να υποστηρίξει το δίκτυο. Η ασύρματη επικοινωνία, σε αντίθεση με την ενσύρματη, δεν χρησιμοποιεί ως μέσο μετάδοσης κάποιον τύπο καλωδίου. Σε παλαιότερες εποχές τα τηλεφωνικά δίκτυα ήταν αναλογικά, αλλά σήμερα όλα τα ασύρματα δίκτυα βασίζονται σε ψηφιακή τεχνολογία και, επομένως, κατά μία έννοια, είναι ουσιαστικώς δίκτυα υπολογιστών. (Θεολόγου 2009)

Στα ασύρματα δίκτυα εντάσσονται τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, οι δορυφορικές επικοινωνίες, τα ασύρματα δίκτυα ευρείας περιοχής (WWAN), τα ασύρματα μητροπολιτικά δίκτυα (WMAN), τα ασύρματα τοπικά δίκτυα (WLAN) και τα ασύρματα προσωπικά δίκτυα (WPAN). Η τηλεόραση και το ραδιόφωνο αν και ως τηλεπικοινωνιακά μέσα είναι εκ φύσεως ασύρματα στις περισσότερες περιπτώσεις, δεν συμπεριλαμβάνονται στα ασύρματα δίκτυα, καθώς η μετάδοση γίνεται προς πάσα κατεύθυνση χωρίς να υπάρχει κάποιο δομημένο «δίκτυο» τηλεπικοινωνιακών κόμβων (συσκευών) με τη συνήθη έννοια. Επιπλέον, τα μεταφερόμενα δεδομένα συνήθως είναι αναλογικά και, επομένως, δεν μπορούν να θεωρηθούν δίκτυα υπολογιστών. (Goldsmith 2005)

1.3 Πλεονεκτήματα ασύρματης δικτύωσης

Τα πλεονεκτήματα ασύρματων δικτύων είναι βραχυπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα. Ενδεικτικά αναφέρονται τα ακόλουθα (Omeni et.al 2007).:

- Ευκολία χρήσης: Σήμερα, όλοι οι φορητοί υπολογιστές και πολλά κινητά τηλέφωνα είναι εξοπλισμένα με τεχνολογία WiFi που απαιτείται για απευθείας σύνδεση σε ένα ασύρματο δίκτυο LAN. Οι εργαζόμενοι μπορούν να συνδέονται με ασφάλεια στους πόρους του δικτύου σας από οπουδήποτε εντός της εμβέλειας κάλυψης του δικτύου. Η περιοχή κάλυψης είναι κατά κανόνα οι εγκαταστάσεις της επιχείρησής σας, ωστόσο μπορεί να επεκτείνεται και σε περισσότερα κτήρια.

- Φορητότητα: Οι εργαζόμενοι μπορούν να παραμένουν συνδεδεμένοι στο δίκτυο, ακόμα και όταν δεν βρίσκονται στο γραφείο τους. Οι συμμετέχοντες σε συσκέψεις μπορούν να έχουν πρόσβαση σε έγγραφα και εφαρμογές. Οι πωλητές μπορούν να εντοπίζουν στο δίκτυο σημαντικές λεπτομέρειες από οποιαδήποτε τοποθεσία.

- Παραγωγικότητα: Η πρόσβαση στις πληροφορίες και στις βασικές εφαρμογές της εταιρείας σας υποστηρίζει το προσωπικό κατά τη διεκπεραίωση των εργασιών και ενθαρρύνει τη συνεργασία. Οι επισκέπτες (όπως πελάτες, συνεργάτες ή προμηθευτές) μπορούν να έχουν πρόσβαση υψηλής ασφαλείας στο Internet και στα επιχειρηματικά δεδομένα τους. (Θεολόγου 2009)

- Εύκολη ρύθμιση: Εφόσον δεν απαιτείται η τοποθέτηση καλωδίων σε ένα χώρο, η εγκατάσταση μπορεί να ολοκληρωθεί γρήγορα και οικονομικά. Τα ασύρματα δίκτυα LAN διευκολύνουν επίσης τη συνδεσιμότητα δικτύου σε δυσπρόσιτους χώρους, όπως οι αποθήκες ή οι εγκαταστάσεις εργοστασιακής παραγωγής.

- Δυνατότητα κλιμάκωσης: Καθώς οι επιχειρηματικές δραστηριότητές σας αναπτύσσονται, ενδεχομένως να απαιτείται άμεση επέκταση του δικτύου σας. Τα ασύρματα δίκτυα μπορούν κατά κανόνα να επεκταθούν με τον υπάρχοντα εξοπλισμό, ενώ ένα ενσύρματο δίκτυο ενδέχεται να απαιτεί επιπλέον καλωδίωση.

- Ασφάλεια: Ο έλεγχος και η διαχείριση της πρόσβασης στο ασύρματο δίκτυό σας είναι μέγιστης σημασίας για την επιτυχία του. Οι εξελιγμένες δυνατότητες της τεχνολογίας WiFi προσφέρουν ισχυρή προστασία, ώστε τα δεδομένα σας να είναι εύκολα προσβάσιμα μόνο από τους χρήστες στους οποίους επιτρέπετε την πρόσβαση.

- Κόστος: Μπορεί να αποδειχθεί οικονομικότερη η λειτουργία ενός ασύρματου δικτύου LAN, το οποίο εξαλείφει ή μειώνει το κόστος καλωδίωσης σε περιπτώσεις μετακόμισης, αναδιάταξης ή επέκτασης γραφείων. (Θεολόγου 2009)

1.4. Ασύρματα Δίκτυα – Μειονεκτήματα

Η χρήση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων (ραδιοκυμάτων και υπέρυθρης ακτινοβολίας) για τη μεταφορά πληροφορίας κάνουν τα ασύρματα δίκτυα ευπρόσβλητα σε πολλά φαινόμενα παρεμβολής, τα οποία αλλοιώνουν την επικοινωνία των χρηστών. Τα κυριότερα από αυτά τα προβλήματα αναφέρονται στη συνέχεια.

Παρεμβολή λόγω πολλαπλών διαδρομών: Σήματα που μεταδίδονται είναι δυνατόν να συνδυαστούν με ανακλώμενα σήματα από επιφάνειες ή εμπόδια που βρίσκονται στην ευθεία μετάδοσης του σήματος. Το πρόβλημα αυτό προκαλεί ετεροχρονισμένες λήψεις του ίδιου σήματος λόγω των σημάτων που κάνουν μεγαλύτερη διαδρομή λόγω αντανάκλασεων. Αυτό απαιτεί μεγαλύτερη επεξεργαστική ισχύ από τον δέκτη ώστε να μπορεί να ξεχωρίσει τα ανάλογα

σήματα και να βάλει στη σωστή σειρά τα δεδομένα που λαμβάνει. (Dargie & Poellabauer 2010)

Απώλεια Διαδρομής (Path Loss): Οι απώλειες που μπορεί να έχουμε σε μία ασύρματη επικοινωνία από το “path loss” εξαρτώνται άμεσα από την ύπαρξη ή μη της οπτικής επαφής (LoS: Line of Sight). Κάποια εμπόδια μπορεί να μην αφήνουν καθόλου είτε ένα τμήμα είτε και ολόκληρο το σήμα να περάσει με αποτέλεσμα να έχουμε μειωμένη απόδοση με πολύ μεγάλο βαθμό.

Παρεμβολές Ραδιοσημάτων: Οι παρεμβολές από ραδιοσήματα (Radio Signal Interference) διαχωρίζονται σε Εξωγενές (Inward) και Ενδογενές (Outward). Εξωγενές παρεμβολές είναι παρεμβολές που έχουν προκαλέσει άλλες συσκευές (είτε Wi-Fi είτε άλλες τεχνολογίες που χρησιμοποιούν το ίδιο εύρος συχνοτήτων π.χ. Bluetooth ή ακόμα και φούρνοι μικροκυμάτων) με αποτέλεσμα το σήμα να φτάνει στον δέκτη αλλοιωμένο. Ενδογενές παρεμβολές είναι παρεμβολές που έχει προκαλέσει ο ίδιος ο πομπός σε άλλα συστήματα ασύρματης επικοινωνίας. Όσο πιο χαμηλή είναι η ένταση ενός σήματος τόσο λιγότερη επίπτωση έχει στα γειτονικά του σήματα. **Διαχείριση Ενέργειας:** Θα πρέπει να γίνεται σωστή διαχείριση ενέργειας, ώστε να μεγιστοποιείται η αυτονομία των συσκευών που συνδέονται στο ασύρματο δίκτυο. (Dargie & Poellabauer 2010)

Ασυμβατότητα Συστημάτων: Για το σωστό στήσιμο ενός WLAN θα πρέπει να λάβουμε υπόψη και την ασυμβατότητα μεταξύ προϊόντων διαφορετικών κατασκευαστών. **Προστασία της Υγείας των Χρηστών:** Υπάρχουν περιορισμοί που έχουν υποβληθεί όσο αφορά την ένταση του σήματος κυρίως για την υγεία των χρηστών.

Το Πρόβλημα του Κρυμμένου Κόμβου: Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται όταν υπάρχει ένας σταθμός που δεν μπορεί να ανιχνεύσει την δραστηριότητα ενός άλλου σταθμού ώστε να αναγνωρίσει ότι το μέσο χρησιμοποιείται. Δύο laptop που είναι συνδεδεμένα στο ίδιο access point αλλά είναι σε διαφορετικές άκρες της

κάλυψης του δικτύου του access point με αποτέλεσμα να μη «βλέπει» το ένα laptop το άλλο, μπορεί να ξεκινήσουν να στέλνουν πακέτα πληροφοριών ταυτόχρονα προκαλώντας συγκρούσεις (collisions). Υπάρχουν μέθοδοι, όπως το CSMA/CA, που βοηθάνε στο να αποφευχθούν τέτοια προβλήματα, αλλά δεν είναι πάντα 100% αποτελεσματικά. Ασφάλεια Δικτύου: Η συνολική λειτουργία ενός ασύρματου δικτύου εμπεριέχεται στα χαμηλότερα επίπεδα της αρχιτεκτονικής ενός δικτύου και δεν ενυπάρχει με άλλες λειτουργίες όπως εγκατάσταση σύνδεσης ή άλλες υπηρεσίες (π.χ. login) που προσφέρουν τα ανώτερα στρώματα. Έτσι το μόνο θέμα που σχετίζεται με την ασφάλεια στα ασύρματα δίκτυα είναι τα θέματα ασφαλείας των χαμηλότερων στρωμάτων, π.χ. κρυπτογράφηση (encryption) δεδομένων. Για αυτό το λόγο, έχουν δημιουργηθεί διάφορες τεχνικές κωδικοποίησης οι οποίες καθιστούν δύσκολη την υποκλοπή της πληροφορίας που μεταδίδεται. Ένα ασύρματο δίκτυο είναι προστατευμένο σε δύο επίπεδα. Authentication – χρησιμοποιείται για την επιβεβαίωση ότι η συσκευή που ζητάει προσπέλαση στο δίκτυο έχει εγκριθεί. Encryption – αφού έχει εγκριθεί η συσκευή οι πληροφορίες που μεταδίδονται στο δίκτυο κρυπτογραφούνται για να την αποφυγή υποκλοπή. (Dargie & Poellabauer 2010)

1.5. Από τον Τηλέγραφο ως τις Σύγχρονες Ασύρματες Επικοινωνίες

Το 1888 ο Heinrich Rudolf Hertz επιβεβαίωσε την ύπαρξη ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων (τα οποία είχαν ήδη αναφερθεί σε εργασίες των Maxwell και Faraday) ισχυριζόμενος ότι δε θα έβρισκαν ποτέ κάποια πρακτική εφαρμογή. Η διάψευση όμως δεν άργησε να έρθει. Μόλις πέντε χρόνια αργότερα, το 1893, ο Nikola Tesla κατασκευάζει το πρώτο ασύρματο σύστημα επικοινωνίας. Ο ίδιος, το 1895, καταφέρνει να μεταδώσει σήματα Μορς σε απόσταση 50 χιλιομέτρων, κάνοντας έτσι μια επίδειξη των δυνατοτήτων του ασύρματου μέσου.

Το 1901 μεταδίδεται το πρώτο υπερατλαντικό σήμα από τον Guglielmo Marconi, ο οποίος ίδρυσε και την πρώτη εταιρία υπερατλαντικού ασύρματου τηλεγράφου το 1903.

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. Μερικά αντιπροσωπευτικά παραδείγματα αποτελούν το ραδιόφωνο, η τηλεόραση, η κινητή τηλεφωνία, οι δορυφορικές επικοινωνίες, η επικοινωνία μέσω υπέρυθρης ακτινοβολίας (infrared) και η τεχνολογία Bluetooth. Όσον αφορά τη δικτύωση υπολογιστών ή άλλων συσκευών, οι ασύρματες τεχνολογίες δικτύωσης συγκεντρώνουν πολλά πλεονεκτήματα με σημαντικότερο όλων την εξάλειψη της ανάγκης ύπαρξης δομημένης καλωδίωσης, κάτι που καθιστά την επικοινωνία πολύ πιο ευέλικτη και ανταγωνιστική σε κόστος έναντι της ενσύρματης.

1.6. Κατηγορίες Ασύρματων Δικτύων

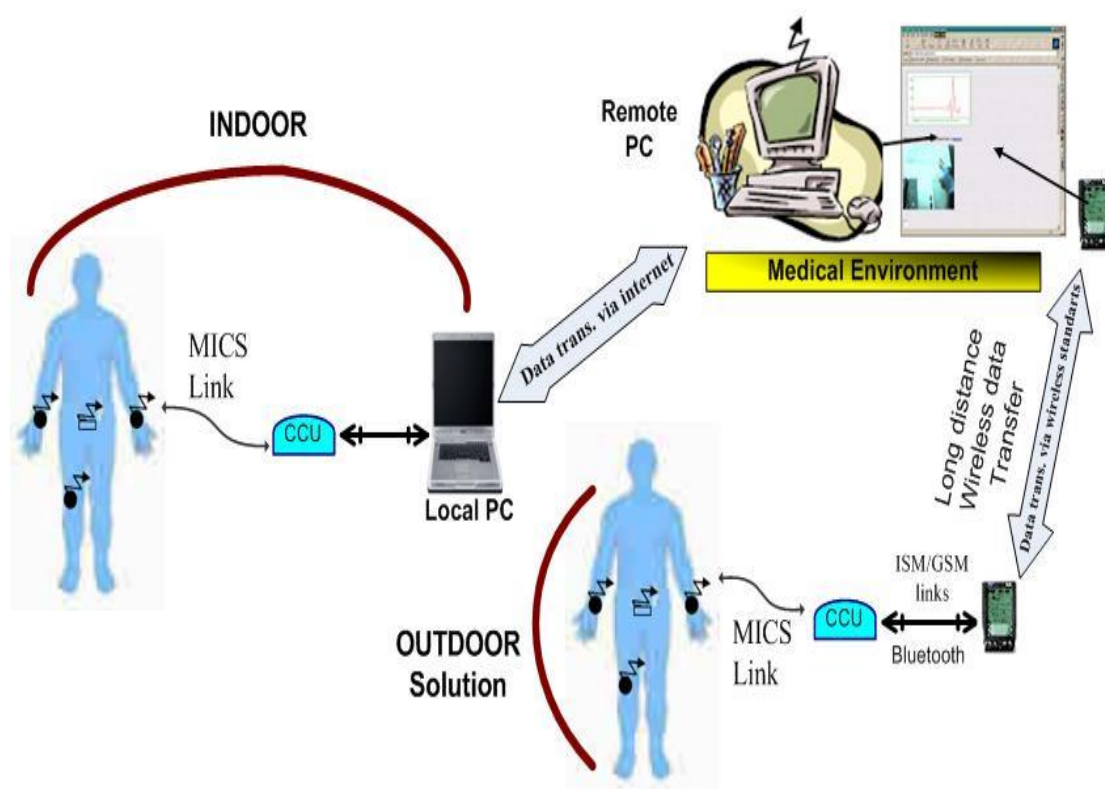
Τα ασύρματα δίκτυα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με την περιοχή την οποία καλύπτουν:

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

Τα WBAN δίκτυα αποτελούνται από αισθητήρες (sensors) που είναι εμφυτευμένοι ή τοποθετημένοι πάνω στο σώμα ή τα ρούχα ενός ανθρώπου και επιβλέπουν διάφορες ζωτικές λειτουργίες του ανθρώπινου οργανισμού ή μετρούν διάφορους δείκτες υγείας. Οι αισθητήρες, χρησιμοποιώντας τεχνολογίες ασύρματων

δικτύων, αποστέλλουν σε πραγματικό χρόνο τα δεδομένα σε ένα κοντινό σημείο (κατοικία) και από εκεί τα δεδομένα αποστέλλονται σε ένα κέντρο βοήθειας ή σε ένα νοσοκομείο (Conti 2003, Moron et.al. 2007).

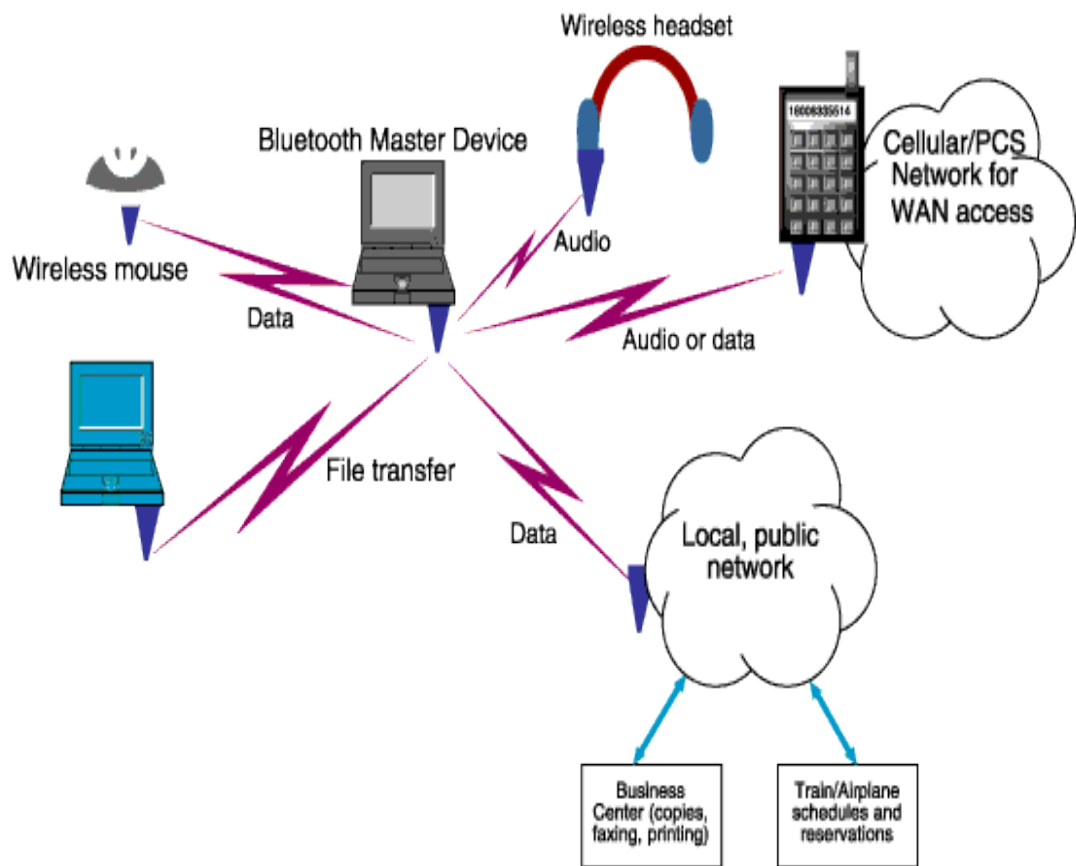
Το πρωτόκολλο IEEE 802.15.6 προορίζεται για τα WBAN δίκτυα (IEEE 802.15 TG6 2007).



Εικόνα 1- Παράδειγμα WBAN

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

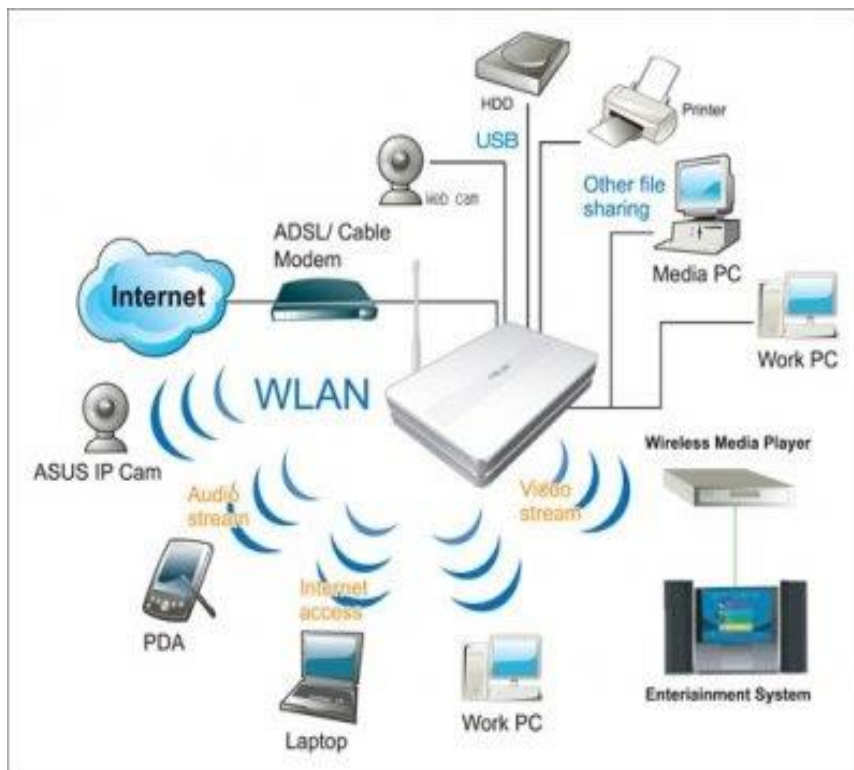
Τα WPAN είναι δίκτυα μικρής εμβελείας, εξυπηρετούν έναν χρήστη και καλύπτουν χώρο πχ. ενός γραφείου ή ενός δωματίου και συνολική απόσταση περίπου δέκα μέτρων (Bravo-Escos 2002). Παράδειγμα δικτύου WPAN είναι το Bluetooth το οποίο ορίζεται από το πρωτόκολλο του IEEE 802.15.1 (IEEE 802.15.1 TG1a 2005). Βασικό κριτήριο της απόδοσης των WPAN (όπως και των WBAN) δικτύων είναι η κατανάλωση ενέργειας (Omeni et.al 2007).



Εικόνα 2 - Παράδειγμα WPAN

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

Τα WLAN δίκτυα έχουν μεγαλύτερη εμβέλεια από τα WPAN και συνήθως καλύπτουν χώρους πχ. ενός ορόφου, μίας οικίας, κλπ. Τα WLAN είναι ο πλέον δημοφιλής τρόπος ασύρματης επικοινωνίας δεδομένων. Το πρωτόκολλο που έχει επικρατήσει στα WLAN είναι το IEEE 802.11 (IEEE 802.11 2001). (Omeni et.al 2007).



Εικόνα 3- Παράδειγμα WLAN

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

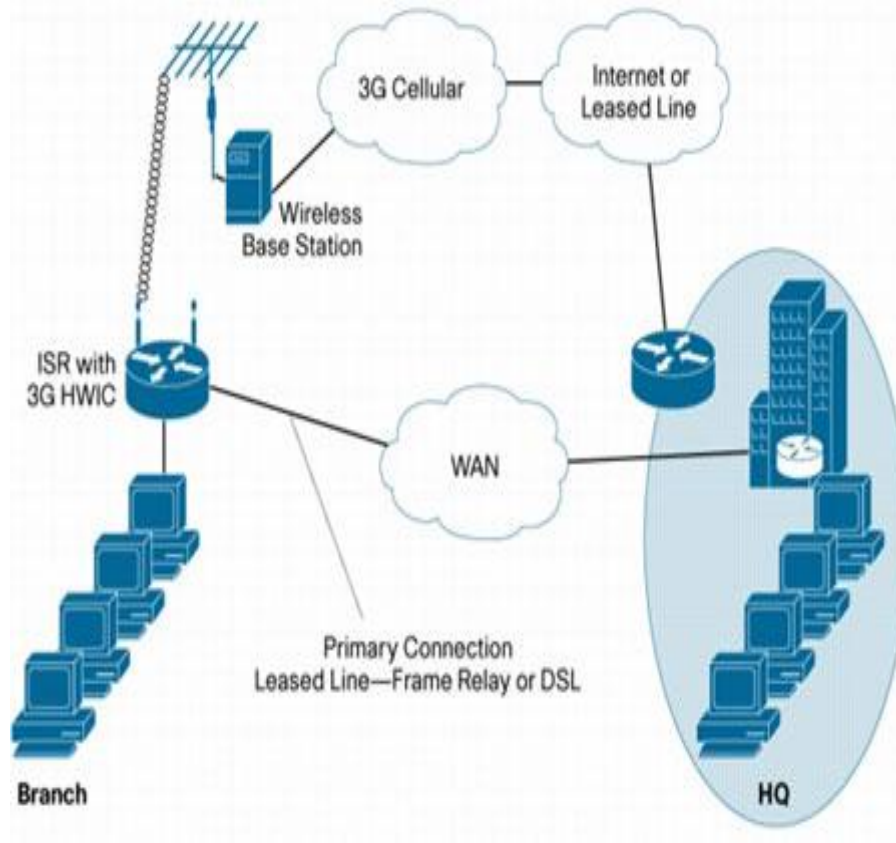
Τα WMAN δίκτυα καλύπτουν γεωγραφικές περιοχές πχ. μικρών πόλεων ή αποστάσεις μερικών χιλιομέτρων. Τα WMAN στην Βόρειο Αμερική χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο IEEE 802.16 (IEEE 802.16 2007) (τεχνολογία WiMAX), στην Νότια Κορέα το Wi-Bro.



Εικόνα 4- Παράδειγμα WMAN

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

Τα WWAN καλύπτουν περιοχές μιας ή περισσότερων χωρών και είναι ευρέως διαδεδομένα στην κινητή τηλεφωνία και παρέχουν την δυνατότητα μεταφοράς δεδομένων. Τα WWAN διαθέτουν τις 2.5G, 3G τεχνολογίες και την τεχνολογία της επόμενης γενιάς 4G. (Omeni et.al 2007).



Εικόνα 5 - Παράδειγμα WWLAN

1.7. Η ομάδα HEW (High Efficiency WLAN) του IEEE

Η IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) είναι μια παγκόσμια τεχνολογική, επαγγελματική, μη πολιτική οργάνωση με σκοπό την προώθηση της θεωρίας και των εφαρμογών της επιστήμης του Ηλεκτρολόγου Μηχανικού και Μηχανικού Υπολογιστών για την εξέλιξη του επαγγέλματος με γνώμονα την κοινωνική προσφορά.

Στην IEEE είναι σήμερα εγγεγραμμένοι περισσότεροι από 425.000 Ηλεκτρολόγοι Μηχανικοί εκ των οποίων περισσότεροι από 90.000 φοιτητές, σε περισσότερες από 160 χώρες, γεγονός που την καθιστά τη μεγαλύτερη τεχνολογική επαγγελματική κοινότητα στον κόσμο. (Omeni et.al 2007).

Οι πλειοψηφία των εργασιών που έχει ανατεθεί στην ομάδα High Efficiency WLAN (HEW) περιλαμβάνει σενάρια υψηλής ρυθμοαπόδοσης τα οποία θα επιτευχθούν στο κοντινό μέλλον. Στα επόμενα χρόνια η ομάδα στοχεύει να αυξήσει σημαντικά την ρυθμοαπόδοση με το πρότυπο που σχεδιάζεται, το IEEE 802.11ax. Επίσης, η ομάδα στοχεύει να βελτιώσει τη απόδοση όσον αφορά την ενέργεια των συσκευών που τροφοδοτούνται από μπαταρίες. (Omeni et.al 2007).

Η ομάδα HEW του IEEE, αποσκοπεί σε βελτιώσεις και τροποποιήσεις τροποποίηση στο Φυσικό επίπεδο (Physical - PHY) καθώς και στην δημιουργία ενός υποεπιπέδου ελέγχου πρόσβασης μέσου (Medium Access Control - MAC) με σκοπό τη βελτίωση της απόδοσης του WLAN, εστιάζοντας στην εμπειρία που θα προσφέρεται στον τελικό χρήστη με όρους ρυθμοαπόδοσης και ενεργειακής αποδοτικότητας.

Η ομάδα αυτή αποτελείται πάνω από 300 άτομα που προέρχονται από διάφορους τομείς, όπως silicon vendors, πάροχους υπηρεσιών, σύμβουλους οργανισμών, πανεπιστημιακά ιδρύματα, και σχεδιαστές συστημάτων. Τα άτομα που αποτελούν την ομάδα προέρχονται από 20 διαφορετικές χώρες. (Omeni et.al 2007).

Η Ανάπτυξη της τεχνολογίας που ορίζεται από τα πρότυπα IEEE 802 είναι ήδη σε παγκόσμιο επίπεδο διάχυτη , οδηγείται από τις συνεχώς αυξανόμενες ανάγκες των δικτύων σε όλο τον κόσμο . Νέοι τομείς εφαρμογής θεωρείται ότι θα μπορούσαν να αυξήσουν την οικογένεια των προτύπων IEEE 802 στα δίκτυά τους . Για να διαχειριστούν όλους αυτούς τους τομείς, τα πρότυπα IEEE 802 εξελίσσονται και

επεκτείνονται συνεχώς. Η επιτυχία των προτύπων IEEE 802 από το ξεκίνημα τους έως και σήμερα, υπήρξε δίκαιη, ανοικτή και με διαφανείς τρόπους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2- ΔΙΚΤΥΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ

2.1.Σενάρια υψηλής χρήσης στο νέο πρότυπο

Το κίνητρο για να αναπτυχθεί το νέο πρότυπο IEEE 802.11ax, σχετίζεται με τις προβλεπόμενες απαιτήσεις των χρηστών στην δεκαετία 2020-2030. Αυτές οι απαιτήσεις των χρηστών κατά κύριο λόγο σχετίζονται με την λήψη του highdefinition οπτικοακουστικού σε πραγματικό χρόνο και με διαδραστικό περιεχόμενο σε σενάρια υψηλής χρήσης (density), σε δίκτυα WLAN. (Novlan 2009)

Ένα WLAN σενάριο υψηλής χρήσης, αναφέρεται στην περίπτωση κατά την οποία υπάρχουν πολλά γειτονικά δίκτυα WLAN, χρησιμοποιώντας επικαλυπτόμενα κανάλια, πολλοί σταθμοί (STAs) υπό την κάλυψη ενός και μόνο AP, ή και τα δύο. Η Εικόνα 6 απεικονίζει και περιγράφει τρία βασικά σενάρια για δίκτυα WLAN επόμενης γενιάς:

- α) ένα στάδιο
- β) ένα τρένο
- γ) ένα κτίριο διαμερισμάτων.

Σε αυτά τα «πυκνά» σενάρια, οι περισσότερες σχετικές προκλήσεις που καλούνται να αντιμετωπίσουν οι επιστήμονες σχετίζονται με θέματα παρεμβολών, οι

οποίες αυξάνουν το ποσοστό σφάλματος πακέτου και μειώνουν την ρυθμοαπόδοση (δηλαδή, τον αριθμό των ταυτόχρονων μεταδόσεων σε μια δεδομένη περιοχή) .

Επιπλέον, η παρουσία πολλών STAs στην ίδια περιοχή αυξάνει την πιθανότητα δύο ή περισσότερα STAs να ξεκινήσουν ταυτόχρονα μια μετάδοση, η οποία οδηγεί σε σύγκρουση. Στο σενάριο του σταδίου , πολλοί άνθρωποι συγκεντρώνονται σε μικρές περιοχές, λόγω μιας δίκης, ή συνέδριου ή ενός αθλητικού γεγονότος. Η παρουσία πολλών ανθρώπων οδηγεί σε μία υψηλή πυκνότητα STAs και στην ανάγκη για την ανάπτυξη πολλών APs να προσφέρουν ικανοποιητική εξυπηρέτηση.

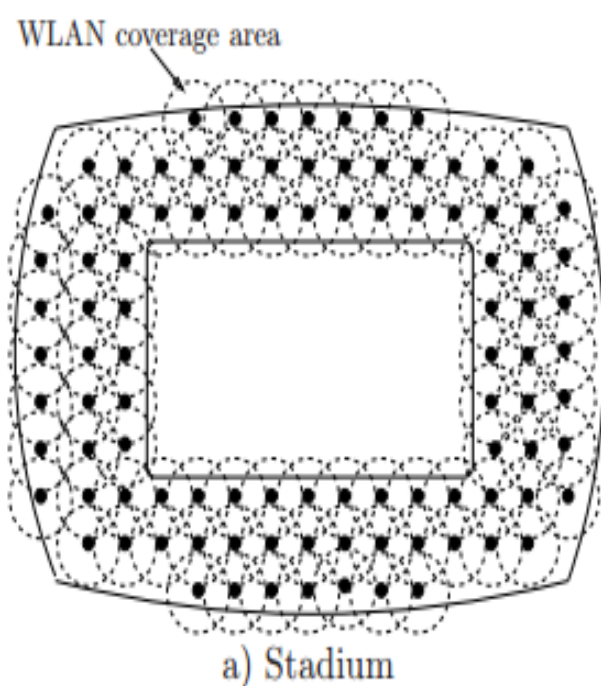
Μια βασική πρόκληση σε αυτά τα σενάρια είναι να αναπτυχθούν, να βελτιστοποιηθούν και να συντονιστούν ένας μεγάλος αριθμός APs και STAs. Οι δημόσιες συγκοινωνίες είναι επίσης ένα βασικό σενάριο για τα δίκτυα WLAN επόμενης γενιάς, επειδή τα τρένα, τα λεωφορεία και τα αεροπλάνα θα προσφέρουν ευρυζωνική πρόσβαση στο Διαδίκτυο. Σε αυτά τα σενάρια, η χρήση μπορεί να υψηλή, με διάφορους ανθρώπους ανά τετραγωνικό μέτρο. Στη συνέχεια, ένας έξυπνος συντονισμός AP μπορεί να βοηθήσει τη βελτίωση της χωρικής επαναχρησιμοποίησης, και η χρήση ενός αποτελεσματικού πρωτοκόλλου ως μέσο πρόσβασης μπορεί να βοηθήσει την υποστήριξη πολλών ταυτόχρονων συσκευών. (Novlan 2009)

Τέλος, σε μια πολυκατοικία, μπορούμε να βρούμε πολλαπλά αυτόνομα και ετερογενή WLANs επικαλύψεις, συμπεριλαμβανομένων των δικτύων WLAN μικρής εμβέλειας που προσφέρουν υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης σε μικρές χώρους .

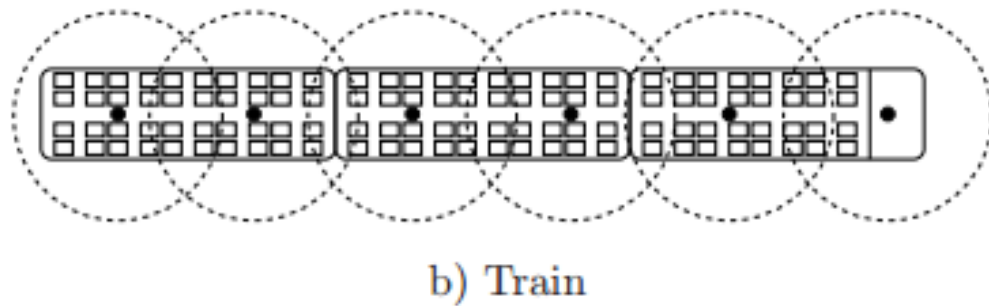
Σε αυτό το σενάριο, κάθε WLAN είναι κατά κύριο λόγο διαμορφωμένο με τέτοιο τρόπο, ώστε να λειτουργεί ανεξάρτητα από τα άλλα, όπου η επιλογή του καναλιού, το πλάτος του καναλιού και η ισχύς μετάδοσης είναι τυχαία ή με προκαθορισμένες τιμές.

Ως εκ τούτου, αυτόνομα δίκτυα WLAN πρέπει να είναι σε θέση να εφαρμόσουν τους έξυπνους μηχανισμούς αυτο-ρύθμισης και αυτο-προσαρμογής για την ελαχιστοποίηση των παρεμβολών μεταξύ των δικτύων. Τα δίκτυα WLAN πρέπει επίσης να συνυπάρχουν με άλλα ασύρματα δίκτυα που λειτουργούν στη ζώνη ISM,

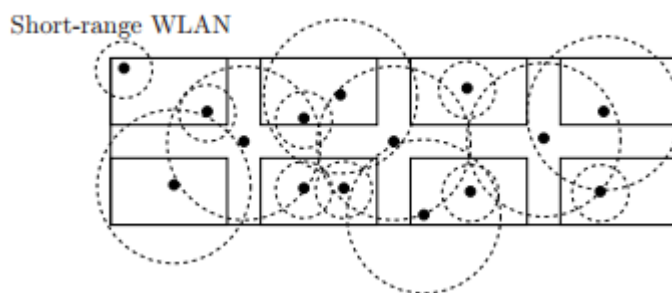
όπως τα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων και τα Personal Area Networks. Επιπλέον, Long-Term Evolution (LTE) φορείς θεωρούν σήμερα την ανάπτυξη των δικτύων LTE στη ζώνη ISM , η οποία είναι γνωστή ως LTE-χωρίς άδεια, ανοίγοντας έτσι περαιτέρω προκλήσεις συνύπαρξης για δίκτυα WLAN. (Boris 2016)



Εικόνα 6-Σενάριο χρήσης σε στάδιο



Εικόνα 7- Σενάριο χρήσης σε Τρένο

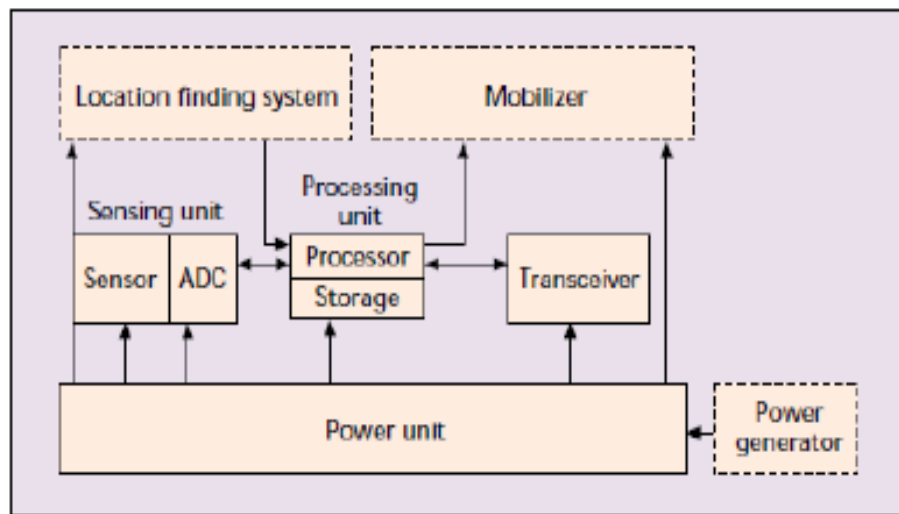


Εικόνα 8- Σενάριο χρήσης σε πολυκατοικία

2.1. Περιγραφή των Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων

Σύμφωνα με το άρθρο «10 Emerging Technologies That Will Change the World» του MIT Technology Review , το οποίο δημοσιεύτηκε στο διαδίκτυο το 2003, η πρώτη από τις δέκα αναπτυσσόμενες τεχνολογίες οι οποίες πιθανολογείται ότι θα προκαλέσουν τεχνολογική επανάσταση στο μέλλον είναι τα ασύρματα δίκτυα, τα οποία αποτελούνται από κόμβους (nodes) μικρών διαστάσεων και

χαμηλού κόστους με ενσωματωμένους αισθητήρες (sensors), για την καταγραφή και παρακολούθηση μετρήσιμων παραμέτρων όπως θερμοκρασία, ήχος, δόνηση, πίεση, κίνηση και ρύπανση. Τα παραπάνω δίκτυα ονομάζονται Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων (Wireless Sensor Networks. WSNs) (Akyildiz, & Melodia 2008)

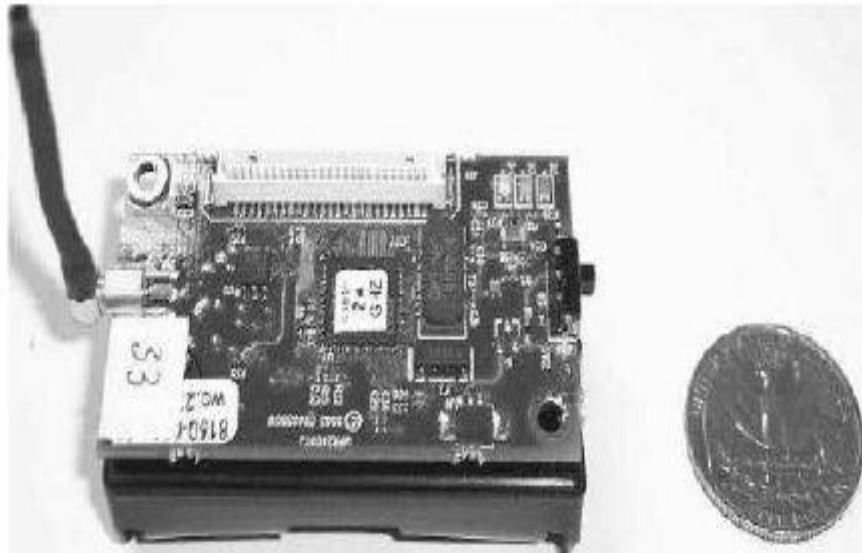


Εικόνα 9- Τα επιμέρους υποσυστήματα ενός SN.

Πηγή: Πηγή: Μανάφα(2013)

Τα WSNs μπορούν να περιλαμβάνουν από μερικές δεκάδες ως και αρκετές χιλιάδες κόμβους αισθητήρων (Sensor Nodes, SNs). Τα SNs είναι συνήθως τυχαία διασπαρμένα στο πεδίο και σχηματίζουν μεταξύ τους ένα αυτό-διαμορφούμενο. αδόμητο (ad-hoc) δίκτυο στο οποίο γίνονται ασύρματες ζεύξεις μεταξύ γειτονικών SNs. Κύριο χαρακτηριστικό αυτών των δικτύων είναι ότι τα SNs που βρίσκονται εκτός εμβέλειας, μεταξύ τους, μπορούν να επικοινωνήσουν ασύρματα χρησιμοποιώντας ενδιάμεσα SNs για την προώθηση των μηνυμάτων (ασύρματη

επικοινωνία πολλαπλών βημάτων, multi-hop wireless communication) . (Al-Karaki and Ahmed E. Kamal, 2004)



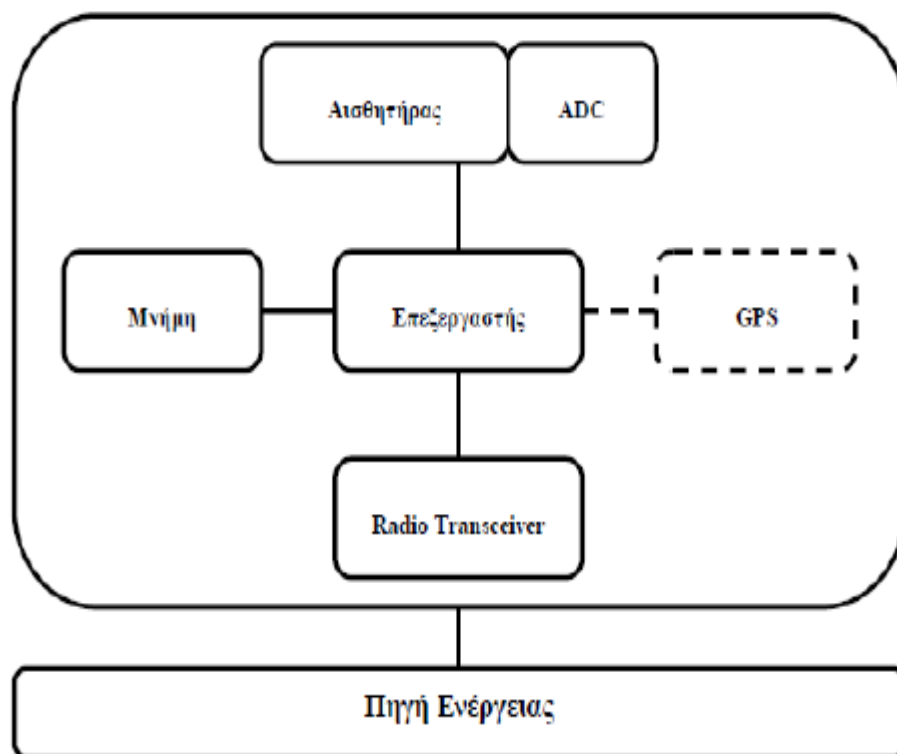
Εικόνα 10 - Αισθητήριοι κόμβοι

Πηγή: Μανάφα(2013)

Κάθε SN αποτελείται από τα παρακάτω: υποσύστημα επικοινωνίας (radio unit ή transceiver), υποσύστημα επεξεργασίας (processing unit) το οποίο ενσωματώνει μικροεπεξεργαστή (processor) και μνήμη (storage) επεξεργασίας και αποθήκευσης δεδομένων, υποσύστημα αισθητήρων για συλλογή δεδομένων (sensing unit) και υποσύστημα τροφοδοσίας (power unit) το οποίο συνήθως αποτελείται από μια μικρή μπαταρία, η οποία παρέχει μια περιορισμένη ενεργειακή αυτονομία (Al-Karaki and Ahmed E. Kamal, 2004).

Κύριο μέρος των ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων αποτελεί ο κόμβος του αισθητήρα. Όλοι οι επιστήμονες ερευνούν και προσπαθούν να βελτιώσουν αυτό το

μέρος. Στη βασική αρχιτεκτονική ενός κόμβου περιλαμβάνονται το τμήμα των αισθητήρων, ένας μικροελεγκτής (Micro Controller Unit), μια συσκευή επικοινωνίας και μια πηγή ενέργειας. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται τα παραπάνω συστατικά μέρη ενός κόμβου



Εικόνα 11- Σχηματικό διάγραμμα κόμβου αισθητήρα

Πηγή: dione.lib.unipi.gr

Αν και οι τύποι των αισθητήρων εμφανίζουν μεγάλη ποικιλία, αφού εξαρτώνται άμεσα από την εκάστοτε εφαρμογή, για τα WSN έχει αναπτυχθεί ένας

σχετικά περιορισμένος αριθμός μονάδων ασύρματης επικοινωνίας. Στον Πίν. 1. συνοψίζονται τα βασικά χαρακτηριστικά των πιο συχνά χρησιμοποιούμενων μονάδων. Στα χαρακτηριστικά αυτά περιλαμβάνονται η ταχύτητα του επεξεργαστή, το μέγεθος της προγραμματιζόμενης μνήμης και της μνήμης RAM, η φέρουσα συχνότητα για την επικοινωνία και η ταχύτητα μετάδοσης.

Πίνακας 1 - Βασικά χαρακτηριστικά των πιο συχνά χρησιμοποιούμενων μονάδων ασύρματης επικοινωνίας

Mote type	CPU speed (MHz)	Prog. mem. (kB)	RAM (kB)	Radio freq. (MHz)	Tx. rate (kbps)
<i>Berkeley</i> [3]					
WeC	8	8	0.5	916	10
rene	8	8	0.5	916	10
rene2	8	16	1	916	10
dot	8	16	1	916	10
mica	6	128	4	868	10/40
mica2	16	128	4	433/868/916	38.4 kbaud
micaz	16	128	4	2.4 GHz	250
Cricket [3]	16	128	4	433	38.4 kbaud
EyesIFX [17]	8	60	2	868	115
TelosB/Tmote [3]	16	48	10	2.4 GHz	250
SHIMMER [16]	8	48	10	BT/2.4 GHz ^a	250
Sun SPOT [9]	16–60	2 MB	256	2.4 GHz	250
BTnode [1]	8	128	64	BT/433–915 ^a	Varies
IRIS [3]	16	128	8	2.4 GHz	250
V-Link [15]	N/A	N/A	N/A	2.4 GHz	250
TEHU-1121 [7]	N/A	N/A	N/A	0.9/2.4 GHz	N/A
NI WSN-3202 [6]	N/A	N/A	N/A	2.4 GHz	250
Imote [3]	12	512	64	2.4 GHz (BT)	100
Imote2 [3]	13–416	32 MB	256	2.4 GHz	250
Stargate [3]	400	32 MB	64 MB SD	2.4 GHz	Varies ^b
Netbridge NB-100 [3]	266	8 MB	32 MB	Varies ^b	Varies ^b

^a BTnode and SHIMMER motes are equipped with two transceivers: Bluetooth and a low-power radio.

^b The transmission rate of the Stargate board and the Netbridge depends on the communication device connected to it (MicaZ node, WLAN card, etc.).

Το υποσύστημα αισθητήρων σε ένα SN εκτός από τους αισθητήρες περιλαμβάνει και ένα κύκλωμα το οποίο μετατρέπει τα δεδομένα που συλλέγονται από τους αισθητήρες από την αναλογική τους μορφή σε ψηφιακή (Analog to Digital Converter, ADC), έτσι ώστε να είναι δυνατή η επεξεργασία τους από τον επεξεργαστή του SN πριν την αποστολή τους προς μία κεντρική βάση δεδομένων μέσω του ασύρματου δικτύου. Επιπρόσθετα ένα SN μπορεί να είναι εξοπλισμένο με τα παρακάτω: υποσύστημα εύρεσης γεωγραφικού στίγματος (location finding system) το οποίο βοηθάει στην εύρεση της ακριβούς θέσης του SN μέσα στην περιοχή ανάπτυξης του δικτύου, υποσύστημα κίνησης (mobilizer) ώστε να μπορεί να μετακινείται και υποσύστημα αναπλήρωσης ενέργειας (power generator) για την επαναφόρτιση της μπαταρίας του. (Al-Karaki and Ahmed E. Kamal, 2004)

Βασικός στόχος ενός WSN είναι η συλλογή και μεταφορά δεδομένων από τα SNs σε μια κεντρική βάση συγκέντρωσης (sink ή Processing Element, PE) και η επεξεργασία τους. Τα δεδομένα που συλλέγονται από τα SNs μπορούν να προεπεξεργαστούν από τα ίδια έστω και με τις μειωμένες υπολογιστικές δυνατότητες που αυτά διαθέτουν (λόγω χαμηλής υπολογιστικής ισχύος επεξεργαστή και περιορισμένης μνήμης και ενέργειας) πριν σταλούν προς το PE, έτσι ώστε να μειωθεί η ποσότητα της διακινούμενης πληροφορίας και να μην επιβαρύνεται το WSN με περιττό δικτυακό φορτίο. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα των WSNs αποτελεί το ότι ακόμη και στην περίπτωση που καταστραφούν κάποια SNs ή καταναλωθεί η διαθέσιμη ενέργεια τους, τα υπόλοιπα με τη χρήση κατάλληλων αλγορίθμων δρομολόγησης έχουν τη δυνατότητα να προδιαγράψουν εναλλακτικές διαδρομές και να στείλουν τα συλλεγμένα δεδομένα προς το ΙΕ.

Τέλος το PE μπορεί να ελέγχεται απ' ευθείας από το χρήστη είτε από ένα τοπικό τερματικό, είτε από ένα απομακρυσμένο τερματικό χρησιμοποιώντας στη δεύτερη περίπτωση το διαδίκτυο, κάποια δορυφορική σύνδεση ή κάποια άλλη τεχνολογία απομακρυσμένης επικοινωνίας. (Jiangi & Manivannan 2004)

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων έχουν αρκετές ομοιότητες με τα ad-hoc δίκτυα. Ωστόσο έχουν και αρκετές διαφορές οι οποίες είναι:

- Το πλήθος κόμβων
- Η Μεθοδολογία εκπομπής
- Οι Δυνατότητες κόμβου
- Ο Τρόπος χρησιμοποίησης
- Η Απουσία μοναδικού χαρακτηριστικού
- Η Κινητικότητα
- Η Αναπλήρωση ενέργειας
- Η πυκνότητα ανάπτυξης

2.2. ΔΙΚΤΥΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ (WSNs): ΣΥΝΤΟΜΗ ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ, ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΚΑΙ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ

2.2.1. Σύντομη Ιστορία των VWSNs

Όπως έχει συμβεί και με πλήθος άλλων τεχνολογιών η «γέννηση» και η εξέλιξη των δικτύων αισθητήρων, πρόγονων των WSNs, προήλθε από στρατιωτικά ερευνητικά προγράμματα. Η πρώτη γνωστή εφαρμογή δικτύων αισθητήρων υπήρξε το SOSUS (Sound Surveillance System, Σύστημα Ηχητικής Παρακολούθησης) . Το παραπάνω δίκτυο χρησιμοποιήθηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1950, κατά τη διάρκεια του ψυχρού πολέμου, για την ανίχνευση και τον εντοπισμό Σοβιετικών υποβρυχίων με τη βοήθεια ειδικών ακουστικών αισθητήρων (υδρόφωνα). Το SOSUS παραμένει ακόμη σε λειτουργία, για ειρηνικούς σκοπούς και χρησιμοποιείται

κυρίως για την παρακολούθηση διάφορων φαινομένων όπως σεισμικές δραστηριότητες, παρακολούθηση φαλαινών κ.λπ. (Noury 1994)

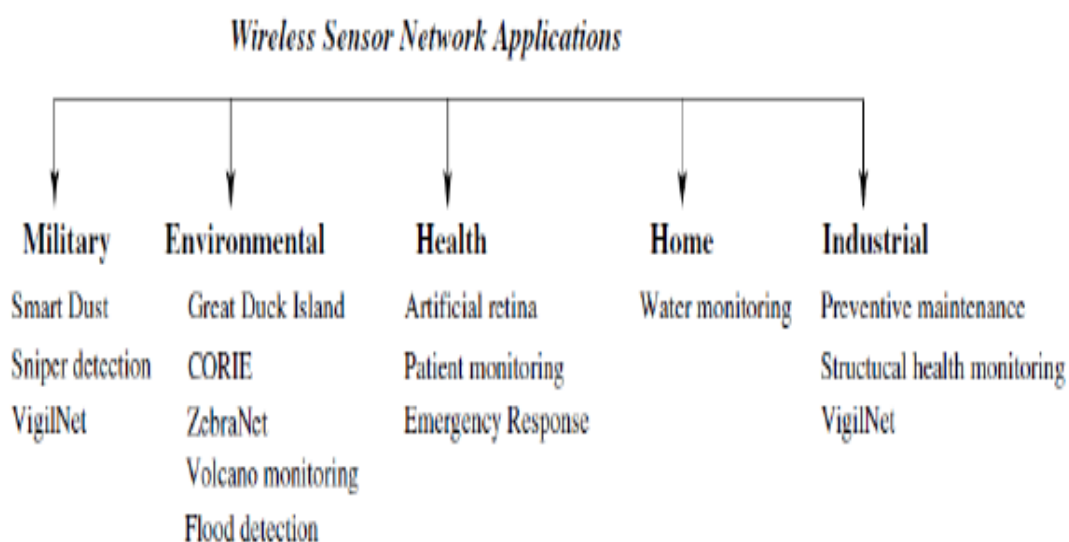
Το επόμενο δίκτυο αισθητήρων αναπτύχθηκε επίσης για στρατιωτική χρήση. Γύρω στο 1980 το πρόγραμμα Distributed Sensor Networks (DSN. Κατανεμημένο Δίκτυο Αισθητήρων) ξεκίνησε από την Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) . Ο πρόγονος της DARPA ήταν η Advanced Research Projects Agency (ARPA) που είχε δημιουργήσει παλαιότερα (1969) το δίκτυο ARPANET, το οποίο υπήρξε ο πρόγονος του σημερινού Διαδικτύου (Internet). Η δυνατότητα να επεκταθεί το ARPANET στα δίκτυα αισθητήρων απασχόλησε σε μεγάλο βαθμό τον R. Kahn (συν-εφευρέτη του πρωτοκόλλου TCP/IP και με καθοριστικό ρόλο στη δημιουργία και ανάπτυξη του διαδικτύου), ταυτόχρονα με την έρευνα σε εμπειρικές τεχνικές ανάλυσης ακουστικού σήματος. (Jiangi & Manivannan 2004)

Η ραγδαία ανάπτυξη των ασύρματων επικοινωνιών, η τεχνολογία των μικρομηχανικών συστημάτων (Micro-Electro-Mechanical Systems, MEMS) και η δυνατότητα κατασκευής χαμηλής κατανάλωσης-κόστους μικροεπεξεργαστών επέτρεψε την ανάπτυξη των δικτύων που σήμερα ονομάζονται WSNs. Η πρόοδος της τεχνολογίας συμπιέζει το κόστος παραγωγής των SNs και το μέγεθος τους, με αποτέλεσμα να γίνεται ολοένα και πιο ελκτική η ανάπτυξη μεγάλης κλίμακας WSNs αποτελούμενων από χιλιάδες SNs. Τέτοιου είδους WSNs θα μπορούν να καλύψουν ολόκληρες πόλεις ή μεγάλες δασικές εκτάσεις και θα έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν κάθε είδους πληροφορία στους χρήστες τους.(Matsumoto 1998)

2.2.2. Εφαρμογές των WSNs

Στις επόμενες παραγράφους Θα αναφερθούν κάποιες αντιπροσωπευτικές

εφαρμογές των WSNs οι οποίες είτε έχουν προταθεί σε ερευνητικό επίπεδο, είτε έχουν ήδη υλοποιηθεί σε σημερινές εμπορικές εφαρμογές. Μεταξύ άλλων οι εφαρμογές αυτές είναι: στρατιωτικές, περιβαλλοντικές, υγείας και άλλες διάφορες εμπορικές εφαρμογές (βιομηχανία, κατασκευές κ.λπ.). Εδώ να τονιστεί ότι η χρήση των WSNs δεν περιορίζεται φυσικά μόνο στους παραπάνω τομείς αλλά επεκτείνεται σε ένα πολύ ευρύτερο φάσμα δραστηριοτήτων της σύγχρονης ζωής. (Verdone 2008)



Εικόνα 12- -κατηγοριοποίηση των εφαρμογών των WSN

Στρατιωτικές εφαρμογές

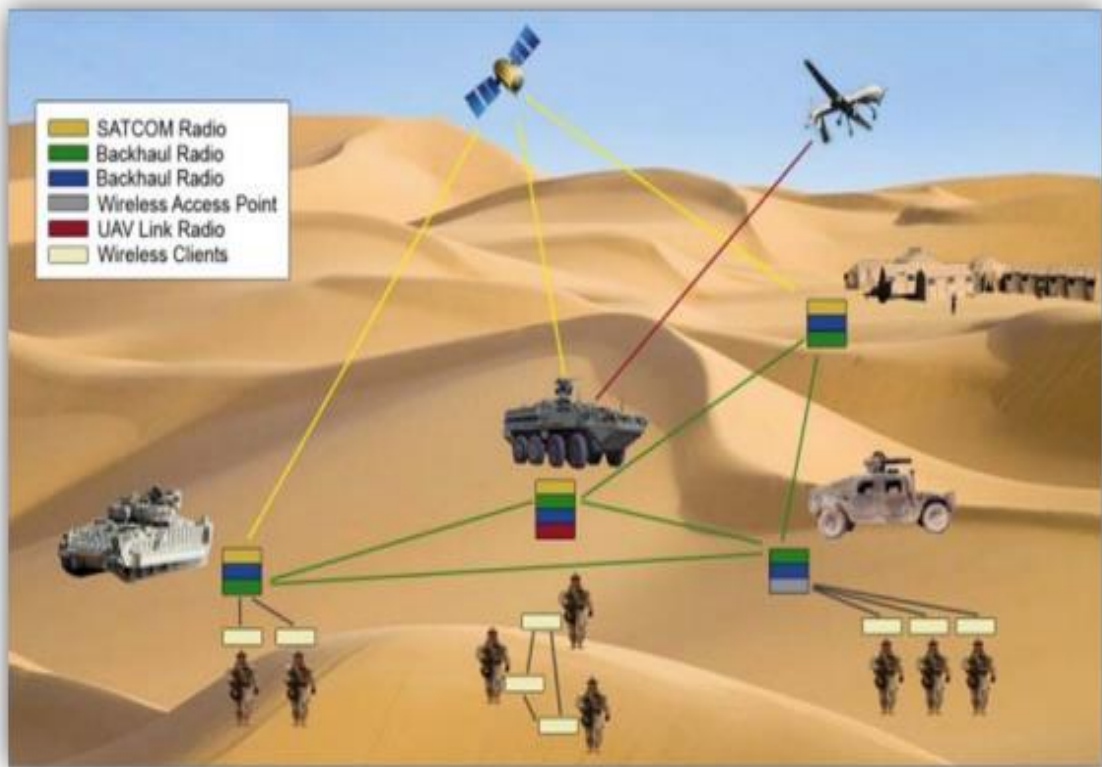
Ένας σημαντικός όγκος έρευνας που σχετίζεται με WSNs αφορά τη χρησιμοποίησή τους σε στρατιωτικές εφαρμογές τα WSNs προήλθαν από στρατιωτικά ερευνητικά προγράμματα. Η ταχεία εγκατάσταση, η δυνατότητα αυτό- οργάνωσης και τα μεγάλα ποσοστά ανοχής σε πιθανή βλάβη των SNs καθιστούν τα WSNs ιδανικά για χρησιμοποίησή σε συστήματα διοίκησης, ελέγχου, επικοινωνιών, πληροφορικής, πληροφοριών, επιτήρησης, αναγνώρισεων και σκόπευσης (C4ISR). Εφόσον τα WSNs αποτελούνται από πλήθος χαμηλού κόστους SNs, τα οποία διασκορπίζονται στην περιοχή ενδιαφέροντος με σχετική μεγάλη πυκνότητα, ακόμη και αν καταστραφεί ένα μέρος αυτών από εχθρικές ενέργειες τα υπόλοιπα μπορούν να συνεχίσουν κανονικά το έργο τους χωρίς να επηρεαστεί σημαντικά η συνολική απόδοση του δικτύου. Κάτι τέτοιο αποδεικνύεται ιδιαίτερα χρήσιμο σε ένα πεδίο μάχης, όπου η συνεχής ροή πληροφοριών μπορεί να αποβεί καθοριστική για την έκβαση της. Μερικά παραδείγματα χρήσης των WSNs σε στρατιωτικές εφαρμογές είναι η παρακολούθηση των φιλιών δυνάμεων (έλεγχος ζωτικών λειτουργιών των στρατιωτών και έλεγχος εξοπλισμού-ποσότητας πυρομαχικών), η παρακολούθηση του πεδίου μάχης και των γεωγραφικών ιδιαιτεροτήτων του, η αναγνώριση εχθρικών δυνάμεων, για την έγκαιρη προειδοποίηση επίθεσης από χημικά, βιολογικά, πυρηνικά όπλα και η εκτίμηση φιλιών και εχθρικών απωλειών . (Jiangi & Manivannan 2004)

Περιβάλλον

Μερικές από τις περιβαλλοντικές εφαρμογές που μπορούν να έχουν τα WSNs είναι η παρακολούθηση πτηνών, άγριων ζώων και εντόμων, στον τομέα της γεωργίας για την παρακολούθηση διάφορων παραγόντων που επηρεάζουν τις καλλιέργειες, η παρακολούθηση και η προστασία μιας ευρύτερης γεωγραφικά

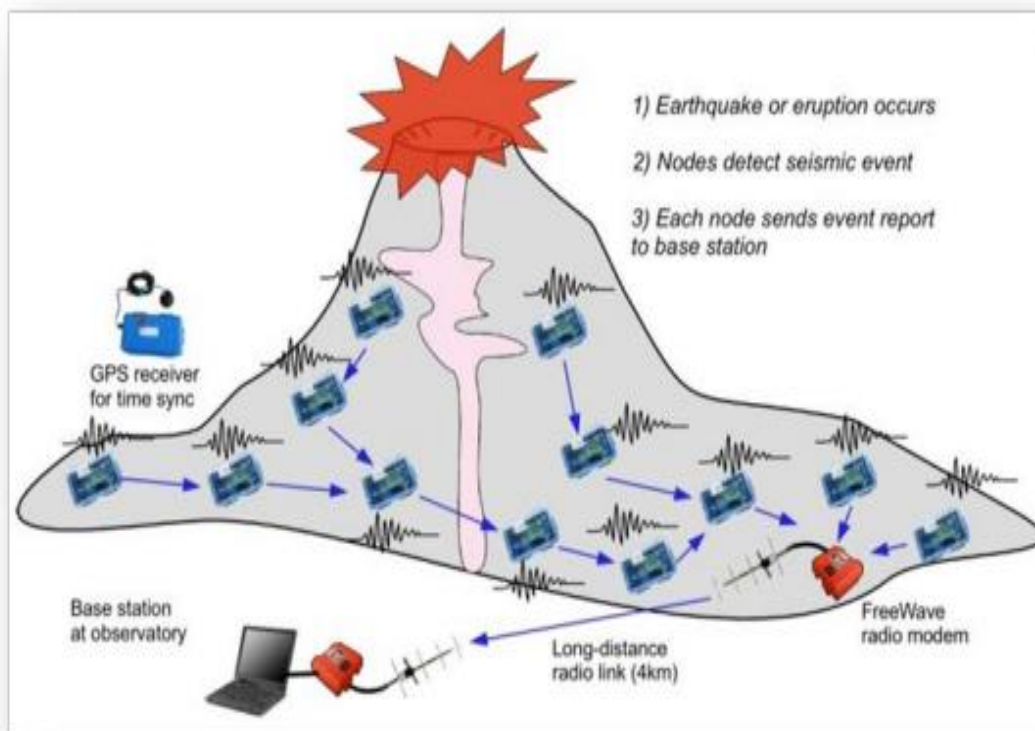
περιοχής όπως ένα δάσος, η προστασία από χημικά-βιολογικά απόβλητα υδάτινων πόρων, η επιτήρηση εδάφους, υπεδάφους και ατμόσφαιρας μέσω της καταγραφής περιβαλλοντολογικών μετρήσεων και η παρακολούθηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης (Dargie 2010)

Τα SNs σε ένα δάσος μπορούν να τοποθετηθούν είτε τυχαία είτε σε συγκεκριμένα σημεία ενδιαφέροντος (π.χ. δυσπρόσιτες περιοχές). Στην περίπτωση που κάποιος αισθητήρας μετρήσει μια απότομη μεταβολή στη θερμοκρασία ή ένα υψηλό επίπεδο φωτός (κατά τη διάρκεια της νύχτας) προωθεί αμέσως ένα μήνυμα συναγερμού προς το PE το οποίο με τη σειρά του ενημερώνει αυτόματα την πυροσβεστική υπηρεσία (εικόνα 15). Έτσι κερδίζεται πολύτιμος χρόνος για την κινητοποίηση επίγειων και εναέριων μέσων πυρόσβεσης. Σε μια τέτοια εφαρμογή, επειδή τα SNs πρέπει να είναι σε θέση να δουλεύουν αυτόνομα για όσο το δυνατόν μεγαλύτερο χρονικό διάστημα κρίνεται επιτακτική η ανάγκη επαναφόρτισης των μπαταριών τους (π.χ. με χρήση ηλιακής ενέργειας). (Dargie 2010)



Εικόνα 13- Χρήση αισθητήρων σε στρατιωτικές εφαρμογές

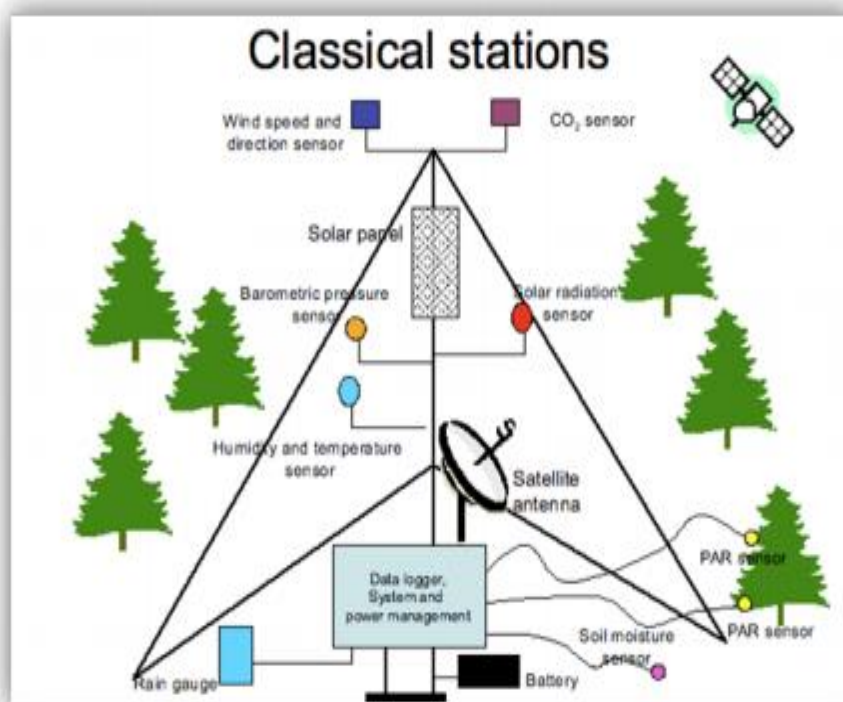
Πηγή: <http://apothetirio.teiep.gr>



Εικόνα 14- Χρήση αισθητήρων σε ηφαίστειο

Πηγή:

<https://dspace.lib.uom.gr/bitstream/2159/16132/3/PaschalidisAthanasiosMsc2014.pdf>



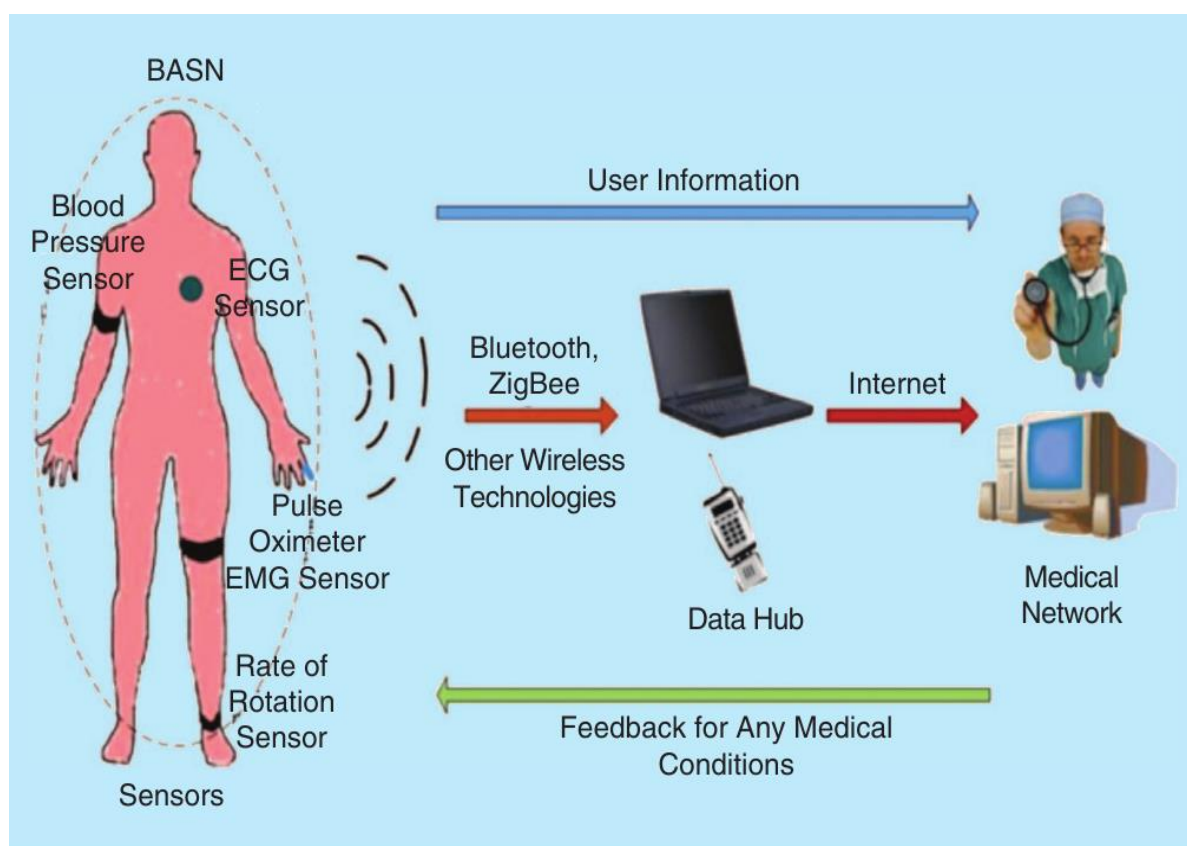
Εικόνα 15- Χρήση αισθητήρων για την πρόληψη δασικής πυρκαγιάς

Πηγή: <http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=751&language=en-US>

Υγεία

Τα WSNs μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διευκόλυνση ατόμων με ειδικές ανάγκες (π.χ, ενημέρωση τυφλών για πιθανά επικείμενα εμπόδια), παρακολούθηση ασθενών, επίβλεψη ηλικιωμένων ατόμων στο σπίτι, διάγνωση ασθενειών, επίβλεψη φαρμακευτικής αγωγής σε νοσοκομεία, εντοπισμός γιατρών και «σθενών σε χώρους μεγάλων νοσοκομείων. (Batalin 2005)

Στην περίπτωση χρήσης ενός WSN σε ένα μεγάλο νοσοκομείο, οι γιατροί και κάθε ασθενής θα φέρουν από ένα μικρό και ελαφρύ SN πάνω τους. Κάθε SN θα έχει συγκεκριμένο έργο αναλόγως το άτομο που θα το φέρει. Για παράδειγμα σε έναν ασθενή θα μπορεί να παρακολουθεί τον καρδιακό ρυθμό ενώ σε έναν άλλον την αρτηριακή πίεση. Ο αισθητήρας που θα φέρει ο κάθε γιατρός θα επιτρέπει στους συνάδελφους τους να τον εντοπίσουν γρήγορα, εντός των εγκαταστάσεων του νοσοκομείου, σε περίπτωση ανάγκης. (Dargie 2010)



Εικόνα 16- Η χρήση αισθητήρων στην ιατρική

Πηγή: <http://lifesciences.ieee.org/articles/542-body-area-sensor-networks-requirements-operations-and-challenges>

«Έξυπνο» Σπίτι

Οι εφαρμογές που μπορούν να έχουν τα WSNs σε περιβάλλοντα σπιτιού είναι πρακτικά απεριόριστες. Ενδεικτικά μερικές είναι ο αυτοματισμός διάφορων οικιακών συσκευών με την εμφύτευση μικροσκοπικών SNs τα οποία θα τους δίνουν τη δυνατότητα να αλληλεπιδρούν μεταξύ τους αλλά και να συνδέονται με εξωτερικά δίκτυα όπως το διαδίκτυο. Έτσι ένα «έξυπνο» ψυγείο, αφού προηγουμένως έχει ενημερωθεί για τις προτιμήσεις του ιδιοκτήτη του, θα μπορεί να παραγγέλνει τα τρόφιμα που εντοπίζει ότι λείπουν, η ηλεκτρική σκούπα θα καθαρίζει αυτόνομα τις ώρες που δεν βρίσκεται κανείς στο σπίτι και ο χρήστης θα μπορεί μέσω του διαδικτύου να δίνει εντολές σε διάφορες συσκευές (π.χ. το σύστημα κλιματισμού) αλλά και να ενημερώνεται για την κατάσταση αυτών, είτε αυτόματα είτε κατά βούληση.(Verdone 2008)

Επίσης, τα WSNs σε οικιακά περιβάλλοντα θα μπορούν να προσαρμόζονται στις ανάγκες των χρηστών και να δρουν ανάλογα. Για παράδειγμα, όταν ο χρήστης επιστρέφει το βράδυ στο σπίτι τα φώτα θα ανάβουν αυτόματα ενώ ταυτόχρονα, αν ο ίδιος το επιθυμεί τηλεόραση ή οποιαδήποτε άλλη συσκευή ήχου θα ενεργοποιείται στο κανάλι της επιλογής του. Το βράδυ, κατά την είσοδο του σε επιλεγμένα δωμάτια το WSN θα ανάβει αυτόματα το φως και μετέπειτα θα έχει τη δυνατότητα να το σβήνει, όταν διαπιστώνει ότι δεν βρίσκεται πλέον κανείς στο δωμάτιο. Επίσης το WSN θα μπορεί να ελέγχει το επίπεδο φωτισμού και θέρμανσης, για την επίτευξη της μεγίστης δυνατής οικονομίας και άνεσης και επιπλέον θα επιτηρεί τη στάθμη του πετρελαίου της κεντρικής θέρμανσης, έτσι ώστε να ειδοποιεί άμεσα για αναπλήρωση όταν αυτό κριθεί απαραίτητο. (Batalin 2005)



Εικόνα 17- Έξυπνο Σπίτι

Εμπορικές Εφαρμογές των WSNs

Τα WSNs μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πλήθος εμπορικών εφαρμογών όπως η καταγραφή και παρακολούθηση της αποχής υλικών, η παρακολούθηση βιομηχανικών μηχανών και δομικών συσκευών, η παρακολούθηση της ποιότητας προϊόντων σε γραμμές βιομηχανικής παραγωγής, στη δημιουργία «έξυπνων» περιβαλλόντων εργασίας, στον κλιματικό έλεγχο κτιρίων, στην καθοδήγηση και έλεγχο μηχανών και ρομπότ σε αυτοματοποιημένα βιομηχανικά περιβάλλοντα, σε «έξυπνα» παιχνίδια που έχουν τη δυνατότητα αλληλεπίδρασης με τους χρήστες, σε

αρχαιολογικούς χώρους και μουσεία για την παρακολούθηση των εκθεμάτων και την αλληλεπίδραση με τους επισκέπτες, για παρακολούθηση περιοχών όπου συνέβησαν καταστροφές, στα μέσα μεταφοράς (για την επίτευξη καλύτερου ελέγχου κυκλοφορίας), στην προστασία υλικής περιουσίας, στον εντοπισμό και παρακολούθηση οχημάτων, στην παρακολούθηση αποθηκών και εμπορευμάτων κ.λπ. (Gavalas 2005)

Τα WSN, που χαρακτηρίζονται από ευκολία στην εγκατάσταση και την κλιμάκωση καθώς και από μεγάλη ακρίβεια στις μετρήσεις, φαίνεται να αποτελούν ιδανική εναλλακτική λύση για την υλοποίηση παρακολούθησης και ελέγχου στη βιομηχανία. Ορισμένες από τις εφαρμογές των WSN στη βιομηχανία είναι οι εξής:

- Παρακολούθηση καταπόνησης εξοπλισμού
- Διαχείριση αποθεμάτων
- Έλεγχος της ποιότητας του προϊόντος
- Κατασκευή ευφυών χώρων εργασίας
- Ενεργειακός έλεγχος μεγάλων κτιρίων
- Έλεγχος ρομπότ σε περιβάλλοντα αυτοματοποιημένης λειτουργίας
- Έλεγχος και αυτοματισμός της διαδικασίας παραγωγής
- Παρακολούθηση περιοχών όπου υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να εμφανισθούν καταστροφές
- Εντοπισμός και παρακολούθηση οχημάτων

Ερευνητικές Περιοχές των WSNs

Η ανάπτυξη των WSNs στηρίζεται σε ένα ευρύ φάσμα επιμέρους τεχνολογιών όπως υλικό (hardware) των SNs, λογισμικό (software) και τις δικτυακές-ασύρματες επικοινωνίες. Παρακάτω θα εξεταστούν οι περιοχές που παρουσιάζουν μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον στο χώρο των WSNs και τα σημαντικότερα προβλήματα που απασχολούν σήμερα τους ερευνητές, Μια έρευνα στα WSNs θα διαχωριστεί σε δύο μεγάλες κατηγορίες: αυτήν που εστιάζει στην αρχιτεκτονική συστήματος και σε αυτήν που ασχολείται με τον έλεγχο του δικτύου και των επικοινωνιών. .(Verdone 2008)

Αρχιτεκτονική Συστήματος

Αυτή η ενότητα περιγράφει τις ερευνητικές τάσεις στην αρχιτεκτονική συστήματος των WSNs. Περιλαμβάνει τους εξής τομείς: λειτουργικά συστήματα και υλικό των SNs, εύρεση θέσης των SNs (localization), χωροχρονική συσχέτιση (spatial temporal correlation), βέλτιστη τοποθέτηση SNs στο πεδίο-χώρο. χρονικό συγχρονισμό (time synchronization) των .SNs, ασφάλεια WSNs και μυστικότητα (privacy) δεδομένων που καταγράφονται από αυτά, εντοπισμός και παρακολούθηση στόχων και τέλος γλώσσες προγραμματισμού που χρησιμοποιούνται στα SNs. .(Verdone 2008)

Λειτουργικά Συστήματα και Υλικό

Πολλές ερευνητικές ομάδες, τόσο στην ακαδημαϊκή κοινότητα όσο και στη βιομηχανία, συμμετέχουν ενεργά στην ανάπτυξη του υλικού των SNs. Σκοπός τους είναι η περαιτέρω μείωση του μεγέθους τους, ταυτόχρονα με τη συμπίεση του κόστους κατασκευής. Ο πιο διαδεδομένος τύπος SN σήμερα είναι οι κόμβοι Berkeley, οι οποίοι και αναπτύχθηκαν αρχικά στο ομώνυμο πανεπιστήμιο. Δυναμική είσοδο στο χώρο κατασκευής SNs έχει πραγματοποιήσει και η εταιρία SUN με τα SunSpots 1199 τα οποία αν και έχουν αρκετά υψηλότερο κόστος από τους κόμβους Berkeley διαθέτουν πολύ μεγαλύτερες δυνατότητες και μεγαλύτερη επεκτασιμότητα (προσθήκη διάφορων τύπων αισθητήρων, μνήμης επέκτασης κ.λπ.).

Στον τομέα του λογισμικού ο πιο μεγάλος όγκος των εφαρμογών που «τρέχουν» σήμερα στα δίκτυα αισθητήρων είναι συμβατός με το TinyOS ένα λειτουργικό σύστημα που σχεδιάστηκε ειδικά για δίκτυα του συγκεκριμένου τύπου. Το TinyOS προσφέρει σχετικά μεγάλη ευελιξία για την ανάπτυξη εφαρμογών, παρά τις περιορισμένες δυνατότητες των SNs. (Verdone 2008)

Γενικά παρέχει στους προγραμματιστές ένα σύνολο από βασικές υπηρεσίες οι οποίες μπορούν να φανούν χρήσιμες για την υλοποίηση κατανεμημένων αλγορίθμων. Άλλο ένα σημαντικό πλεονέκτημα του TinyOs είναι το ότι αποτελεί ένα δωρεάν και ανοιχτού κώδικα (open source) λειτουργικό σύστημα με πολύ μικρές απαιτήσεις σε μνήμη και επεξεργαστική ισχύ. Βασικά του μειονεκτήματα αποτελούν η πολυπλοκότητα και η δυσκολία εκμάθησής του, ιδιαίτερα από κάποιον που δεν έχει εμπειρία σε λειτουργικά τύπου Unix-Linux. Το TinyOs χρησιμοποιείται σήμερα στο σύνολο των υπάρχοντων SNs, εκτός από τα SunSpots τα οποία νομιμοποιούν μια ανοιχτού κώδικα εικονική μηχανή, την Squawk, η οποία είναι συμβατή με τη γλώσσα προγραμματισμού Java ME (Micro Edition) και «τρέχει» χωρίς την ανάγκη ύπαρξης λειτουργικού συστήματος μιας και η ίδια το

υποκαθιστά. Στο μέλλον είναι πολύ πιθανό ότι και άλλες μεγάλες εταιρίες (Microsoft, IBM)

2.3. Βέλτιστη Τοποθέτηση SNs

Τα SNs μπορούν είτε να διασπαρθούν μαζικά σε μια περιοχή ή χώρο, είτε να τοποθετηθούν ένα προς ένα. Μερικοί μέθοδοι εγκατάστασης των SNs είναι οι παρακάτω:

- Τοποθέτηση ένα προς ένα από άνθρωπο ή robot.
- Διασπορά από αεροπλάνο.
- Διασπορά από ένα βλήμα ή πύραυλο που θα τα μεταφέρει.

Η περιοχή που μπορεί να καλύψει ένα WSN εξαρτάται από τον αριθμό των SNs του, το πρότυπο τοποθέτησής τους αλλά και από τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά του πεδίου. Για την επαρκή και μέγιστη δυνατή κάλυψη ενός χώρου, λαμβάνοντας υπόψη και τη μέγιστη απόσταση επικοινωνίας των SNs, πρέπει να υπάρχει ένα σχέδιο για το πώς πρέπει να τοποθετηθούν τα SNs στο χώρο που πρέπει να καλυφθεί. Έτσι επιτυγχάνεται οικονομία στον αριθμό των χρησιμοποιούμενων SNs και περιορισμός του κόστους, μειώνεται ο ηλεκτρομαγνητικός θόρυβος που επηρεάζει αρνητικά την ασύρματη επικοινωνία μεταξύ των κόμβων αφού λιγοστεύουν οι εκπομπές δεδομένων, μειώνεται η συμφόρηση δεδομένων και αποφεύγονται ανεπιθύμητα φαινόμενα όπως η ύπαρξη πολλών αλληλεπικαλυπτόμενων SNs σε μια περιοχή και η ύπαρξη σχετικά λίγων σε μια άλλη. Οι ερευνητές, όσον αφορά τη βέλτιστη τοποθέτηση των SNs σε ένα γεωγραφικό

χώρο, έχουν ασχοληθεί με διάφορες προσεγγίσεις του προβλήματος. Στις παρακάτω εργασίες, τα SNs είναι εφοδιασμένα με μονάδες κίνησης και μπορούν να κινηθούν αυτόνομα για να βρουν τις βέλτιστες θέσεις στο χώρο.

Οι Batalin et al. προτείνουν μια αρχιτεκτονική που συνδυάζει στατικά και κινητά SNs ώστε να επιτυγχάνεται καλύτερη κάλυψη του χοίρου, από την άποψη της χωροχρονικής συσχέτισης . Επίσης, τα τελευταία χρόνια γίνεται έρευνα για τη βέλτιστη τοποθέτηση των SNs λαμβάνοντας υπόψη και τις τρεις διαστάσεις του χώρου. (Batalin 2005)

2.4. Χρονικός Συγχρονισμός

Στα WSNs ο συντονισμός διαδικασιών είναι απολύτως αναγκαίος, για διεργασίες που πρέπει να ξεκινήσουν σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές στο σύνολο ή μέρος των SNs, για το συγχρονισμό δικτυακών αλλά και άλλων λειτουργιών. Οι λύσεις χρονικού συγχρονισμού που χρησιμοποιούνται σε άλλου τύπου δίκτυα π.χ. το Δικτυακό Χρονικό Πρωτόκολλο, το οποίο χρησιμοποιείται στο Διαδίκτυο, δεν είναι κατάλληλες για περιβάλλοντα WSNs λόγω του μεγάλου πλήθους μηνυμάτων που απαιτούνται για να επιτευχθεί ο συγχρονισμός. Αυτό θα είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της κατανάλωσης της ήδη περιορισμένης ενέργειας των SNs και τη μεγάλη χρήση του εύρους ζώνης (bandwidth) του δικτύου. (JProbe, 2007)

Για τους παραπάνω λόγους, οι ερευνητές ασχολήθηκαν με τη δημιουργία κατάλληλων, για τις ιδιομορφίες των WSNs. πρωτοκόλλων χρονικού συγχρονισμού. Κάποιες εργασίες πρότειναν τη χρήση GPS για το χρονικό συγχρονισμό των SNs . Ένα πολύ σημαντικό στοιχείο στις λύσεις χρονικού συγχρονισμού σε περιβάλλοντα WSNs

αποτελεί και ο συνολικός χρόνος στον οποίο επιτυγχάνεται ο συγχρονισμός του συνόλου των SNs. Μερικές εφαρμογές απαιτούν τον ελάχιστο δυνατό χρόνο συγχρονισμού για να λειτουργήσουν σωστά π.χ. μεταπήδηση συχνοτήτων (Frequency Hopping) ταυτόχρονα σε πολλά SNs. Bandwidth είναι το μέγεθος των δεδομένων που μπορεί να μεταφερθεί «η μονάδα του χρόνου». Η ασφάλεια των WSNs είναι ένας τομέας με μεγάλη βαρύτητα, δεδομένου ότι τα δίκτυα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε «ευαίσθητες» εφαρμογές όπως η προστασία υλικών αγαθών, η επιτήρηση εξουσιοδοτημένων χώρων, στρατιωτικές εφαρμογές κ.λπ. Τα SNs ενός WSN παρουσιάζουν πολλούς περιορισμούς και πολλές φορές, καλούνται να λειτουργήσουν χωρίς επιτήρηση σε εξωτερικά περιβάλλοντα. Αυτό φέρνει στο προσκήνιο το πρόβλημα προστασίας τους από κακόβουλους χρήστες, οι οποίοι θα προσπαθήσουν να θέσουν ένα μέρος ή ακόμα και ολόκληρο το WSN εκτός λειτουργίας.

Οι Avancha et al. συνοψίζουν τις ερευνητικές κατευθύνσεις που σχετίζονται με την ασφάλεια των WSNs. Επίσης, οι Wood και Staneonic εξετάζουν την αντιμετώπιση των επιθέσεων τύπου άρνησης εξυπηρέτησης (Denial of Service, DoS) σε WSNs και προτείνουν διάφορα αντίμετρα τα οποία όμως δεν μπορούν να προστατεύσουν πλήρως ένα WSN σε όλες τις περιπτώσεις. Σε γενικές γραμμές, οι υπάρχουσες προτάσεις που αφορούν την ασφάλεια των WSNs δεν μπορούν να αντιμετωπίσουν αποτελεσματικά επιθέσεις παρεμβολής των συχνοτήτων επικοινωνίας των SNs (ένας τύπος DoS) με αποτέλεσμα αυτές πολύ συχνά να οδηγούν σε πλήρη κατάρρευση του δικτύου. Αυτός ήταν και ο κύριος λόγος που μας οδήγησε στην έρευνα σε αυτόν τον τομέα και στην πρόταση δύο προσεγγίσεων που δίνουν στα WSNs τη δυνατότητα αποτελεσματικής άμυνας εναντίων τέτοιων επιθέσεων. (Avanacha 2009)

Εκτός από τον τομέα της ασφάλειας, ο τομέας της προστασίας των δεδομένων που συλλέγονται και διακινούνται σε ένα WSN παρουσιάζει επίσης μεγάλο ενδιαφέρον. Τα WSNs είναι σε θέση να συλλέξουν σε μικρό χρονικό διάστημα

τεράστιο όγκο πληροφοριών ο οποίος, σε μερικές περιπτώσεις, μπορεί να περιέχει προσωπικά δεδομένα. Φανταστείτε τη λειτουργία ενός WSN σε ένα νοσοκομείο όπου ο κάθε αισθητήρας έχει τη δυνατότητα να δώσει πόσης <ρύσης πληροφορίες για τον κάθε ασθενή. Μπορεί κάτι τέτοιο να εξυπηρετεί βέβαια το ιατρικό προσωπικό αλλά τίθεται θέμα διαχείρισης και προστασίας αυτών των δεδομένων ώστε, για παράδειγμα, να είναι προσβάσιμα μόνο από τους ιατρούς που παρακολουθούν το συγκεκριμένο ασθενή και όχι από όλο το ιατρικά προσωπικό. (Avanacha 2009)

2.5. Εντοπισμός και Παρακολούθηση

Μια κοινή εφαρμογή των WSNs είναι ο εντοπισμός και η εύρεση της ακριβούς θέσης ενός στόχου, ο οποίος έχει ανιχνευθεί από δύο ή περισσότερα SNs. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα του παραπάνω προβλήματος είναι ο υπολογισμός της θέσης ενός οχήματος σύμφωνα με τις μετρήσεις που λαμβάνονται από κάθε SN που βρίσκεται στην περιοχή ενδιαφέροντος.

Οι Bergamo et al. δίνουν μια λύση στο παραπάνω πρόβλημα δυνατότητα να χρησιμοποιήσει ειδικά περιβάλλοντα ανάπτυξης εφαρμογών (Integrated Development Environments, IDEs), π.χ. Netbeans και Eclipse.

2.6. Ενέργεια - Έλεγχος Δικτύου και Επικοινωνιών

Αυτή η ενότητα περιγράφει τις ερευνητικές τάσεις οι οποίες εστιάζουν σε θέματα ελέγχου δικτύου και επικοινωνιών σε WSNs. Οι αρχιτεκτονικές που

χρησιμοποιούνται σε άλλους τύπους δικτύων, όπως για παράδειγμα τα ad-hoc δίκτυα που ακολουθούν το πρότυπο 802.11, δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν στα WSNs, κυρίως λόγω των μοναδικών χαρακτηριστικών τους αλλά και των απαιτήσεων των εφαρμογών που «τρέχουν» σε αυτά. Επιπλέον υπάρχουν αρκετές διαφορές μεταξύ των δύο αυτών τύπων δικτύων (WSNs και 802.11 - συμβατών ad-hoc δικτύων) οι οποίες επιτείνουν την «συμβατότητα μεταξύ τους. Περιληπτικά, οι διαφορές αυτές είναι: (Johunson, 2002)

- Ο αριθμός των SNs σε ένα WSN είναι κατά πολύ μεγαλύτερο c από τον αριθμό των κόμβων ενός ad-hoc δικτύου.
- Η πυκνότητα ανάπτυξης των SNs ενός WSN στην περιοχή ενδιαφέροντος είναι συχνά μεγάλη.
- Τα SNs από κατασκευής, έχουν περιορισμένα αποθέματα ενέργειας και μειωμένη υπολογιστική ισχύ και μνήμη.
- Το περιορισμένο εύρος ζώνης ενός WSN δεν επιτρέπει τη χρήση πακέτων επιβεβαίωσης δεδομένων.
- Η πιθανότητα βλάβης κάποιου SN είναι μεγάλη (δεδομένου ότι αυτά τοποθετούνται σε εξωτερικούς χώρους και είναι εκτεθειμένα στις περιβαλλοντολογικές συνθήκες).
- Η μέγιστη δυνατή εμβέλεια επικοινωνίας των SNs είναι περιορισμένη.
- Τα SNs χρησιμοποιούν συνήθως, επικοινωνία «ευρείας εκπομπής» (broadcast) ενώ τα περισσότερα 802.11 ad-hoc δίκτυα βασίζονται στην επικοινωνία σημείου προς σημείο.
- Τα SNs ενός WSN συνήθως, δεν έχουν κάποιο μοναδικό αναγνωριστικό (ID) εξαιτίας του μεγάλου μεγέθους της επικεφαλίδας που απαιτεί μια τέτοια τιμή, καθώς και του μεγάλου αριθμού τους.

- Τα SNs συνήθως, αναπτύσσονται στην περιοχή ενδιαφέροντος χωρίς να μετακινούνται από αυτή, σε αντίθεση με τους κόμβους των ad-hoc δικτύων όπου παρουσιάζεται μεγάλη κινητικότητα.

- Τα SNs στο πλείστο των περιπτώσεων δεν έχουν τη δυνατότητα αναπλήρωσης της ενέργειας τους σε αντίθεση με τους κόμβους των ad-hoc δικτύων που συνήθως, έχουν την παραπάνω δυνατότητα. Επιπλέον η αρχιτεκτονική ενός WSN πρέπει να:

- Χρησιμοποιεί τις ασύρματες επικοινωνίες με τέτοιο τρόπο ώστε να παρέχει τη μέγιστη ενεργειακή οικονομία.

- Να μοιράζει διεργασίες σε γειτονικά SNs.

- Να συνδυάζει τη δρομολόγηση δεδομένων με μεθόδους μέγιστης δυνατής εξοικονόμησης ενέργειας. Όπως συμπεραίνεται από τα παραπάνω, η έρευνα στον έλεγχο δικτύου και επικοινωνιών σε VVSNs ενσωματώνει την έρευνα πάνω σε επικοινωνιακά πρωτόκολλα εξοικονόμησης ενέργειας, ελέγχου συμφόρησης, δρομολόγησης δεδομένων και διαχείρισης τοπολογίας και τέλος μοντελοποίησης. (Akyildiz & Melodia 2007)

2.7. Επικοινωνιακά Πρωτόκολλα Εξοικονόμησης Ενέργειας

Οι κόμβοι ενός WSN πρέπει να είναι σε θέση να λειτουργούν για όσο το δυνατόν μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα, σε περιοχές οι οποίες τις πιο πολλές φορές είναι απομακρυσμένες ή δυσπρόσιτες. Για τον παραπάνω λόγο θεωρείται κρίσιμης σημασίας η όσο το δυνατόν μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας, η οποία θα οδηγήσει στην αύξηση της ζωής (lifetime) των SNs και κατά επέκταση του WSN. Η διαδικασία που καταναλώνει τα πιο μεγάλα ποσοστά ενέργειας σε ένα SN είναι η επικοινωνία, δηλαδή η χρήση του πομπού του για την ασύρματη αποστολή δεδομένων. (Bougard 2008)

Για να μειωθεί η ενεργειακή κατανάλωση της επικοινωνίας σε ένα SN πρέπει να βελτιστοποιηθούν όλα τα επίπεδα (layers) επικοινωνίας ξεκινώντας από το φυσικό επίπεδο και καταλήγοντας στο επίπεδο εφαρμογής. Το επίπεδο που επηρεάζει περισσότερο την κατανάλωση ενέργειας είναι το επίπεδο διασύνδεσης δεδομένων (Data Link Layer, DLL) και πιο συγκεκριμένα το υποεπίπεδο πρόσβασης στο μέσο (Medium Access Control, MAC), ιδιαίτερα σε δίκτυα με ραδιοπομπούς μικρού κύκλου καθήκοντος (low duty cycle). Έρευνες που έχουν ως στόχο τη μειωμένη ενεργειακή κατανάλωση των W'SNs, είναι οι [48] και [155], οι (ποιες και προτείνουν βελτιωμένα πρωτόκολλα MAC. Επίσης οι Reason και Rabaey στο [173] προτείνουν ένα επικοινωνιακά πρωτόκολλο το οποίο βασίζεται στο σύστημα χρονικής πολυπλεξίας (Time Division Medium Access, TDMA), για την επέκταση της ζωής των SNs. (Bougard 2008)

2.8. Ασφάλεια - Έλεγχος Συμφόρησης

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 συνήθως γίνεται χρησιμοποιώντας μηχανισμούς από άκρο σε άκρο (end-to-end), σε συνδυασμό με μηχανισμούς επιπέδου δικτύου. Παρόλα αυτά, οι παραπάνω μηχανισμοί δεν είναι κατάλληλοι 'μα τα ασύρματα δίκτυα διότι οι ταυτόχρονες

μεταδόσεις στα διάφορα «κανάλια» επικοινωνίας αλληλεπιδρούν και επηρεάζουν το ένα το άλλο, ενώ η ποιότητα του κάθε καναλιού παρουσιάζει μεγάλη διακύμανση ανά διαφορετικές χρονικές περιόδους. Επίσης, το μεγάλο πλήθος μηνυμάτων επιβεβαίωσης (Acknowledge Messages) που απαιτούν για τη λειτουργία τους οι μηχανισμοί συμφόρησης των ενσύρματων δικτύων, τη δέσμευση μεγάλου επικοινωνιακού εύρους ζώνης και επιπλέον αυξημένη κατανάλωση ενέργειας των SNS. Για τους παραπάνω λόγους κρίνεται επιτακτική η σχεδίαση αποδοτικών μηχανισμών ελέγχου συμφόρησης για τα WSNs οι οποίοι θα λαμβάνουν υπόψη τις ιδιαιτερότητες τους. Οι Hew et al. στο προτείνουν ένα κατακεντρωμένο και κλιμακωτό (distributed and scalable) αλγόριθμο ο οποίος εξαλείφει τη συμφόρηση σε ένα WSN και εξασφαλίζει μια ομαλή ροή πακέτων δεδομένων προς το PE. (Johnson, 2002)

2.9. 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. Επίσης, η πυκνότητα σε ένα WSN μπορεί να φτάσει ως και τα 20 SNS ανά κυβικό μέτρο κάτι που δημιουργεί επιπλέον δυσκολίες στη διαχείριση της τοπολογίας. Οι αλλαγές στην τοπολογία ενός WSN οφείλονται στις παρακάτω αλλαγές που μπορούν να συμβούν στα SNS:

- Ποσοστό διαθέσιμης ενέργειας.
- Αλλαγή θέσης.

- Δυνατότητες επικοινωνίας.
- Δυσλειτουργία.

Δυστυχώς, η παρουσίαση δυσλειτουργιών στα SNs ενός WSN είναι ένα σύνηθες φαινόμενο, κυρίως, λόγω της εξάντλησης των ενεργειακών αποθεμάτων τους, καταστροφής από καιρικές συνθήκες ή δολιοφθορά, «μπλοκαρίσματος» των επικοινωνιακών καναλιών κ.λπ. Επίσης, σε WSNs που περιλαμβάνουν και SNs με δυνατότητες εκκίνησης, όπως είναι φυσικό η τυπολογία αλλάζει συνεχώς.

Επιπρόσθετα στα WSNs οι αλγόριθμοι δρομολόγησης θα πρέπει να ικανοποιούν όσο το δυνατόν περισσότερα από τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Ελάχιστη δυνατή κατανάλωση επικοινωνιακού εύρους ζώνης.
- Ανοχή σε λάθη μετάδοσης. Johunson, 2002b
- Χαμηλή υπολογιστική πολυπλοκότητα.
- Μικρός χρόνος υπολογισμού δρομολογήσεων.
- Ταχύτατη ανταπόκριση σε αλλαγές τοπολογίας.
- Αποφυγή κυκλικών διαδρομών.
- Υπολογισμός πολλαπλών διαδρομών.
- Υποστήριξη παροχής υπηρεσιών με χαρακτηριστικά QoS (Quality of Service, Ποιότητα της Υπηρεσίας).

Εκμετάλλευση του τρόπου που τα δεδομένα «ρέουν» στο δίκτυο χρησιμοποιώντας τους πόρους του (network flow, ροή δικτύου).

Πιο αναλυτικά, δυνατότητα δρομολόγησης των δεδομένων με τέτοιο τρόπο ώστε να αυξάνεται ο μέσος όρος ζωής των SNs μέσω της μειωμένης ενεργειακής κατανάλωσης. Οι αλγόριθμοι δρομολόγησης σε WSNs μπορούν να διακριθούν με βάση το αν η δρομολόγηση γίνεται κατακεντρωμένα (distributed) σε κάθε SN ή κεντρίκοποιημένα (centralized) από το SN που αποστέλλει δεδομένα. Στην πρώτη περίπτωση κάθε SN αποφασίζει για το επόμενο SN στο οποίο θα προωθήσει το

πακέτο, ενώ στη δεύτερη περίπτωση η διαδρομή που θα ακολουθήσει κάθε πακέτο, καθορίζεται από το SN που έχει αποστείλει αρχικά το πακέτο. Οι διαδρομές αυτές μπορεί να είναι είτε στατικές, είτε να προσαρμόζονται δυναμικά στην εκάστοτε κατάσταση του WSN, κάτι ιδιαίτερα χρήσιμο σε συχνές αλλαγές τοπολογίας. Ένας άλλος τρόπος διαχωρισμού των αλγόριθμων δρομολόγησης είναι σε προσανατολισμένους στα δεδομένα ή δεδομένο-κεντρικούς (data-centric), ιεραρχικούς (hierarchical) και σε αυτούς που βασίζονται στη θέση των SNs (location-based) (Johunson, 2002)

Υπάρχουν ακόμη μερικοί υβριδικοί αλγόριθμοι, οι οποίοι συνδυάζουν τα χαρακτηριστικά δύο κατηγοριών. Οι δεδομένο-κεντρικοί αλγόριθμοι βασίζονται σε ερωτήματα (παρόμοια με τα SQL ερωτήματα σε μια βάση δεδομένων) και εξαρτώνται από την ύπαρξη ονομάτων-ετικετών σε όλα τα είδη δεδομένων που συλλέγουν τα SNs. Οι ιεραρχικοί αλγόριθμοι στοχεύουν στην ομαδοποίηση των SNs με τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται η συνδεσιμότητα του WSN, ελαχιστοποιώντας ταυτόχρονα την κατανάλωση ενέργειας. Τέλος, οι αλγόριθμοι που βασίζονται στη θέση των SNs, για να δρομολογήσουν δεδομένα προς αυτά, πρέπει να γνωρίζουν την ακριβή γεωγραφική θέση του κάθε SN στο δίκτυο. Ένας από τους πιο διάσημους ιεραρχικούς αλγόριθμους δρομολόγησης για WSNs είναι ο LEACH, ο οποίος χωρίζει τα SNs ενός WSNs σε συστάδες (clusters) με σκοπό την καλύτερη δρομολόγηση δεδομένων ώστε να επιτυγχάνεται αύξηση του ορίου ζωής του WSN, μέσω της μειωμένης κατανάλωσης ενέργειας και μειωμένος χρόνος αντίδρασης.

Ο LEACH ενσωματώνει μια κατανεμημένη τεχνική δημιουργίας συστάδων από SNs και ειδικούς αλγόριθμους οι οποίοι προσαρμόζουν τις συστάδες ανάλογα με την τοπολογία και εναλλάσσουν ανά τακτά χρονικά διαστήματα ίο SN που παίζει το ρόλο του αρχηγού συστάδας (Cluster Head, CH), ώστε να κατανέμεται εξίσου η ενεργειακή κατανάλωση σε όλα τα SNs της συστάδας (το CH καταναλώνει περισσότερη ενέργεια από τα υπόλοιπα SNs λόγω του ότι η επεξεργασία των δεδομένων από όλη τη συστάδα καθώς και η αποστολή τους προς το PE γίνεται μόνο από αυτό).

Επίσης ο LEACH ενσωματώνει τεχνικές που επιτρέπουν τη συνεργασία των SNS μιας συστάδας για τη διεκπεραίωση ορισμένων εργασιών, ώστε να επιτυγχάνεται περαιτέρω οικονομία ενέργειας. Μια από τις εργασίες αυτές είναι ο συγκερασμός δεδομένων με τον οποίο πληροφορίες που συλλέχτηκαν από πολλά SNS, φιλτράρονται βάσει κάποιων κανόνων ή κριτηρίων. Παραδείγματα συγκερασμού δεδομένων αποτελούν διάφορες στατιστικές διεργασίες όπως ο μέσος όρος και το συνολικό άθροισμα.

2.10. Δίκτυα αισθητήρων και Κινητοί Πράκτορες (Mobile Agents)

2.10.1. Mobile agent

Ένας πράκτορας είναι ένα πρόγραμμα που βοηθά τους ανθρώπους και ενεργεί για λογαριασμό τους. Παρά το γεγονός ότι ο ορισμός αυτός είναι κατά βάση ορθός, δεν εξηγεί ακριβώς το σκοπό των κινητών πρακτόρων. Υπάρχουν χιλιάδες διαφορετικοί τύποι κινητών Πρακτόρων με ειδικές λειτουργίες και πολλές ρυθμίσεις. Τους συναντάμε σε λειτουργικά συστήματα ηλεκτρονικών υπολογιστών, σε δίκτυα, σε βάσεις δεδομένων. Έχουν την ικανότητα να αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον εκτέλεσης τους και να ενεργούν ασύγχρονα και αυτόνομα σε αυτό. Δεν απαιτείται η παροχή πληροφοριών στον πράκτορα ή να καταναλώσει οποιαδήποτε πόρο . (Sato 2007)

Ορισμός από τη σκοπιά του συστήματος

Ένας πράκτορας είναι ένα αντικείμενο λογισμικού που βρίσκεται μέσα σε ένα περιβάλλον εκτέλεσης και κατέχει τις παρακάτω ιδιότητες

- Αλληλεπιδραστικότητα: ανιχνεύει τις αλλαγές στο περιβάλλον και ενεργεί σύμφωνα με αυτές τις αλλαγές
- Αυτονομία: έχει τον έλεγχο των δικών του ενεργειών
- Καθοδηγούμενο σύμφωνα με κάποιο στόχο
- Χρονικά συνεχής: εκτελείται χωρίς να σταματήσει ποτέ

- Μπορεί να έχει οποιοδήποτε από τις ακόλουθες ιδιότητες
- Επικοινωνία: είναι σε θέση να επικοινωνεί με άλλους παράγοντες
- Κινητός: μπορεί να ταξιδέψει από τον ένα κόμβο σε άλλο σε παγκόσμια κλίμακα
- Μάθηση: Προσαρμόζεται σύμφωνα με τις προηγούμενες εμπειρίες.
- Εμπιστευτικότητα (Sato 2007)

Λειτουργίες των Mobile agents

Οι ευφυείς πράκτορες εκτελούν συνεχώς τρεις λειτουργίες (Arathy & Remya 2014):

- Μάθηση, κατανόηση: Ανάλογα με το περιβάλλον προσαρμόζονται κατάλληλα
- Συλλογισμός
- Οι ευφυείς πράκτορες είναι οντότητες λογισμικού που εκτελούν ένα σύνολο διαδικασιών εξ ονόματος ενός χρήστη ή ενός άλλου προγράμματος με κάποιο βαθμό ανεξαρτησίας ή αυτονομίας. Οι πράκτορες μπορούν με αυτές τις ενέργειες υιοθετούν ορισμένη γνώση ή αντιπροσώπευση των στόχων ή των επιθυμιών του χρήστη.

Ένας πιο περιεκτικός ορισμός θεωρείται ο εξής:

Κινητός πράκτορας είναι μία οντότητα λογισμικού που λειτουργεί συνεχώς και αυτόνομα μέσα σε ένα περιβάλλον στο οποίο φιλοξενούνται κι άλλοι πράκτορες και διεργασίες. Η απαίτηση για συνέχεια και αυτονομία προέρχεται από την επιθυμία του πράκτορα να δραστηριοποιείται με ευέλικτα και έξυπνο τρόπο και να ανταποκρίνεται στις αλλαγές του περιβάλλοντος χωρίς να χρειάζεται κάθε φορά την ανθρώπινη καθοδήγηση ή παρέμβαση. Ένας πράκτορας μαθαίνει από την εμπειρία του. επικοινωνεί και συνεργάζεται με άλλους πράκτορες και μπορεί να μετακινείται από το ένα μέρος στο άλλο προκειμένου να ολοκληρώσει τις εργασίες του. (Hairong&Wang 2001)

Οι Κινητοί πράκτορες είναι αυτόνομα προγράμματα που μπορούν να μεταφέρονται από υπολογιστή σε υπολογιστή σε ένα δίκτυο. Η κατάσταση του προγράμματος λειτουργίας τους αποθηκεύεται και μεταδίδεται προς τον προορισμό. Το πρόγραμμα συνεχίζεται στους επιλεγμένους προορισμούς τους και γίνεται η επεξεργασία με την αποθηκευμένη κατάσταση. (Sato 2007)

Μπορούν να παρέχουν ένα ευέλικτο και σταθερό πλαίσιο για την υλοποίηση καταναμημένων εφαρμογών και των έξυπνων περιβαλλόντων για διάφορους σκοπούς, συμπεριλαμβανομένων βελτιώσεων στο latency και στο εύρος ζώνης των εφαρμογών πελάτη-εξυπηρετητή και τη μείωση της τρωτότητας. Στην πραγματικότητα, οι κινητοί πράκτορες έχουν αρκετά πλεονεκτήματα κατά την ανάπτυξη των διαφόρων υπηρεσιών σε έξυπνα περιβάλλοντα πέραν των καταναμημένων εφαρμογών.:

- Μείωση του κόστους επικοινωνίας: η Καταναμημένη υπολογιστική ισχύ χρειάζεται αλληλεπιδράσεις μεταξύ διαφορετικών υπολογιστών μέσω ενός δικτύου. Η λανθάνουσα κατάσταση και το traffic του δικτύου και των αλληλεπιδράσεων συχνά επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την ποιότητα και το συντονισμό των δύο προγραμμάτων που εκτελούνται σε διαφορετικούς υπολογιστές. (Sato 2007)

Αν ένα από τα προγράμματα είναι ένας κινητός πράκτορας μπορεί να μετακινηθεί από τον ένα υπολογιστή στον υπολογιστή και λειτουργεί σε επικοινωνία με το τοπικό επίπεδο. Δηλαδή, ένας κινητός πράκτορας διαθέτει την απαραίτητη τεχνολογία να εξ αποστάσεως επικοινωνίας για να λειτουργούν ως τοπικές επικοινωνίες.

- Ασύγχρονη εκτέλεση: Μετά την μετακίνηση προς τον προορισμό από την πλευρά του υπολογιστή, ένας κινητός πράκτορας δεν χρειάζεται να αλληλεπιδρά με τη πηγή από την πλευρά του υπολογιστή του. Ως εκ τούτου, ακόμη και όταν η πηγή μπορεί να κλείσει ή το δίκτυο μεταξύ του προορισμού και της πηγής μπορεί να αποσυνδεθεί, ο πράκτορας μπορεί να συνεχίσει την επεξεργασία στον τόπο

προορισμού. Αυτό είναι χρήσιμο στην επικοινωνία συμπεριλαμβανομένων των ασύρματων επικοινωνιών στα έξυπνα περιβάλλοντα.

Άμεση χειραγώγηση: Ένα κινητός πράκτορας εκτελείται τοπικά στον υπολογιστή που επισκέπτεται. Το μπορούν να έχουν άμεση πρόσβαση και να ελέγχουν τον εξοπλισμό για τον υπολογιστή για όσο διάστημα επιτρέπεται να το πράξουν. Αυτό είναι πολύ χρήσιμο στη διαχείριση του δικτύου, ιδιαίτερα όσον αφορά την ανίχνευση και αφαίρεση αποτυχίες συσκευή. Η εγκατάσταση ενός κινητού πράκτορα κοντά σε ένα σύστημα σε πραγματικό χρόνο μπορεί να αποτρέψει ενδεχόμενες καθυστερήσεις που προκαλούνται από τη συμφόρηση του δικτύου. (Sato 2007)

- Δυναμική-εγκατάσταση του λογισμικού: Οι κινητοί πράκτορες χρησιμεύουν ως μηχανισμός για την ανάπτυξη του λογισμικού, επειδή μπορούν να αποφασίσουν προορισμούς τους και τα δεδομένα που μπορεί να αναπτυχθεί δυναμικά εκεί, μόνο όταν αυτό είναι απαραίτητο. Αυτό είναι χρήσιμο στα έξυπνα περιβάλλοντα, όπου οι υπολογιστές έχουν περιορισμένους πόρους.

- Εύκολη ανάπτυξη των κατανεμημένων εφαρμογών: Οι περισσότερες κατανεμημένες εφαρμογές αποτελούνται από Τουλάχιστον δύο προγράμματα, δηλαδή, το πρόγραμμα από την πλευρά του πελάτη το πρόγραμμα από την πλευρά του διακομιστή και συχνά τα ανταλλάσσουν μεταξύ τους κωδικούς και διάφορα δεδομένα . Ωστόσο, δεδομένου ότι ένα κινητό μέσο το ίδιο μπορεί να μεταφέρει τις πληροφορίες του σε ένα άλλο υπολογιστή, μπορούμε να γράψουμε μόνο ένα ενιαίο πρόγραμμα για τα καθορισμένα κατανεμημένα υπολογιστικά.

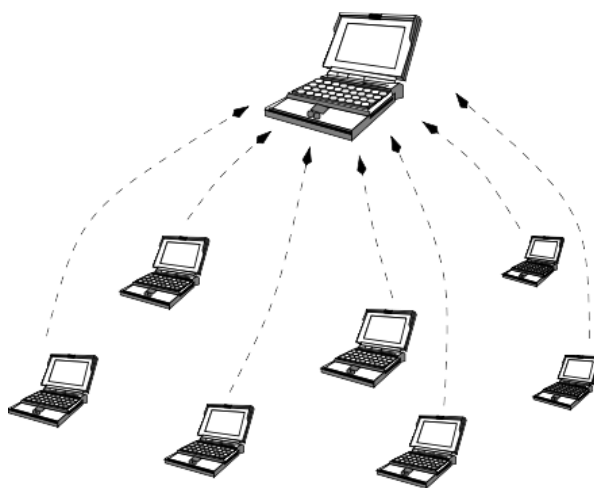
2.10.2. DISTRIBUTED SENSOR NETWORK(DSN)

Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που μελετήθηκαν σε κάθε δίκτυο αισθητήρων είναι συγχώνευσης δεδομένων. Ένα Client / server παράδειγμα υπήρξε ένα ευρέως χρησιμοποιούμενο μοντέλο computing σε παραδοσιακά κατανεμημένα δίκτυα αισθητήρων (DSN). Ωστόσο, η συσκευή των ασύρματων δικτύων αισθητήρων (ΑΔΑ) και ο adhoc χαρακτήρας της έφεραν νέες προκλήσεις στο υπο μελέτη έργο.

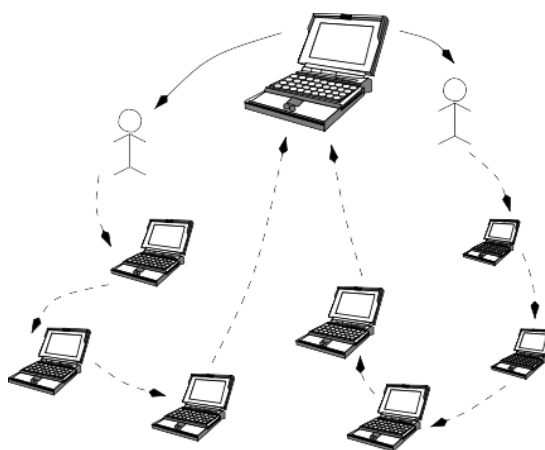
Για παράδειγμα, οι πρόοδοι στην τεχνολογία αισθητήρων επιτρέπει καλύτερα, φθηνότερα και μικρότερα αισθητήρες που θα χρησιμοποιηθούν, η οποία οδηγεί σε ένα πολύ μεγαλύτερο αριθμό αισθητήρων αναπτυχθεί. Από την άλλη πλευρά, οι αισθητήρες επικοινωνούν μέσω ασύρματων δικτύων όπου το εύρος ζώνης του δικτύου είναι πολύ χαμηλότερο από ό, τι στην ενσύρματη επικοινωνία. Παρακάτω περιγράφεται η χρήση του κινητού πράκτορα για τη σύντηξη δεδομένων σε ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. (Hairong&Wang 2001)

Σε αυτό το μοντέλο υπολογισμού, τα δεδομένα παραμένουν στην τοπική περιοχή, ενώ η διαδικασία της σύντηξης (κωδικός) κινείται στους χώρους των δεδομένων. Με τη διαβίβαση της μηχανής υπολογισμού αντί των δεδομένων, η απαίτηση του εύρους ζώνης του σε μεγάλο βαθμό μειώνεται και η απόδοση της διαδικασίας σύντηξης είναι πιο σταθερή. Ένα από τα βασικά προβλήματα σε αυτό βασίζεται στην αρχιτεκτονική WSN (MAWSN) και είναι το πώς να σχεδιάσουν τη διαδρομή (ή διαδρομή) για ένα κινητό μέσο, προκειμένου να επιτευχθεί προοδευτική ακρίβεια σύντηξης. Αυτή η εργασία παρουσιάζει μια μέθοδο για να δημιουργηθεί ένα βέλτιστο δρομολόγιο για το κινητό πράκτορα να εκπληρώσει το έργο ολοκλήρωσης, ενώ καταναλώνουν ελάχιστο ποσό των πόρων, συμπεριλαμβανομένου του χρόνου και της δύναμης. (Hairong&Wang 2001)

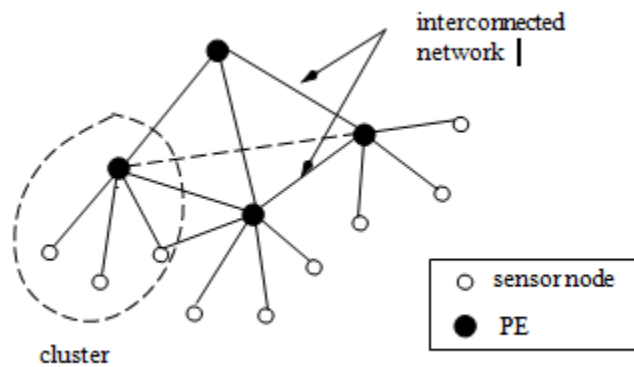
Στην εικόνα 19 και 20 παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική του DSN και του MAWSN αντίστοιχα. (Hairong&Wang 2001)



Εικόνα 18 - DSN



Εικόνα 19- MAWSN



Εικόνα 20- Γενική αρχιτεκτονική του DSN

ΠΡΟΚΛΗΣΗ ΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΤΗΣ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥΣ

Ορίζουμε το κινητό παράγοντα ως μία οντότητα από τέσσερα χαρακτηριστικά

:

- ταυτοποίηση,
- διαδρομή,
- χώρος δεδομένων
- μέθοδος.

Αυτά τα χαρακτηριστικά εξηγούνται ως εξής:

- Ταυτοποίηση: Είναι με τη μορφή 2-tuple (i, j) , όπου το i υποδεικνύει τον αριθμό αναγνώρισης του αποστολέα και το j τον αύξων αριθμό που δίνεται από τον διεκπεραιωτή της. Κάθε κινητό μέσο μπορεί με μοναδικό τρόπο ο οποίος

προσδιορίζεται με αυτόν τον προσδιορισμό. Χρησιμοποιούμε $M_{Ai, j}$ για να δείχνουν διαφορετικοί οι κινητοί πράκτορες. (Hairong&Wang 2001)

- Διαδρομή: περιλαμβάνει τις πληροφορίες που έχουν ανατεθεί από το PE της κατά την αποστολή.
- Χώρος Δεδομένων: Ρυθμίζει τα ιδιωτικά δεδομένα των πρακτόρων και τα αποτελέσματα της διαδρομής
- Μέθοδος: η εφαρμογή των Αλγορίθμων της συγχώνευσης δεδομένων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ

3.1. το πρόβλημα κατανάλωσης της ενέργειας

Η ενέργεια είναι το κύριο εμπόδιο για το σχεδιασμό ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, οδηγώντας σε περιορισμένη διάρκεια ζωής αυτών. Διάφορα πρωτόκολλα επικοινωνίας και αλγόριθμοι έχουν δοκιμαστεί με σκοπό να βρεθούν οι βέλτιστες λύσεις για την μείωση κατανάλωσης ενέργειας των αισθητήριων κόμβων.

Ο σχηματισμός συμπλέγματος και η clusterhead επιλογή είναι κρίσιμα ζητήματα στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, τα οποία μπορεί να παρατείνουν τη διάρκεια ζωής τους και γενικότερα να βελτιώσουν την απόδοσης του δικτύου αισθητήρων. Προκειμένου να διατηρηθεί η σταθερότητα των clusters, η επιλογή των

clusterhead βασίζεται στην ενέργεια των ασύρματων κόμβων και στην συνδεσιμότητα τους. (Xiao et al, 2016)

3.2. Η έννοια της Εντροπίας

Εντροπία

Η σημασία της εντροπίας

Η μέση αβεβαιότητα μας για το ποιό γεγονός θα συμβεί μέσα από ένα σύνολο γεγονότων ονομάζεται εντροπία και είναι ο σταθμισμένος μέσος όρος των μέτρων της πληροφορίας όλων των γεγονότων:

$$H = -\sum_{i=1}^N p_i \log p_i$$

Ονομάζεται και μέση πληροφορία.

- Σε αυτή την περίπτωση η μονάδα μέτρησης της εντροπίας είναι το bit.

Έστω ότι έχουμε τα παρακάτω σύνολα γεγονότων:

I. $E = [A_1, A_2]$	$P = [\frac{1}{256}, \frac{255}{256}]$	Απ.: $H(E) = 0.0368$ bit
II. $E = [B_1, B_2]$	$P = [\frac{1}{2}, \frac{1}{2}]$	Απ.: $H(E) = 1$ bit
III. $E = [\Gamma_1, \Gamma_2]$	$P = [\frac{7}{16}, \frac{9}{16}]$	Απ.: $H(E) = 0.987$ bit

Βασικές ιδιότητες της εντροπίας:

Μερικές βασικές ιδιότητες της εντροπία πηγής:

- Μέγιστη εντροπία
- Η εντροπία μιας πηγής (X, P_X) διακριτών συμβόλων είναι μέγιστη όταν τα σύμβολα της πηγής είναι ισοπίθανα:

$$p_1 = p_2 = \dots = p_N = \frac{1}{N}$$

Η αβεβαιότητα μας (εντροπία) για την έξοδο της πηγής είναι μέγιστη όταν η πιθανότητες εμφάνισης των συμβόλων της πηγής είναι ίσες.

- Σχετική εντροπία

τότε:

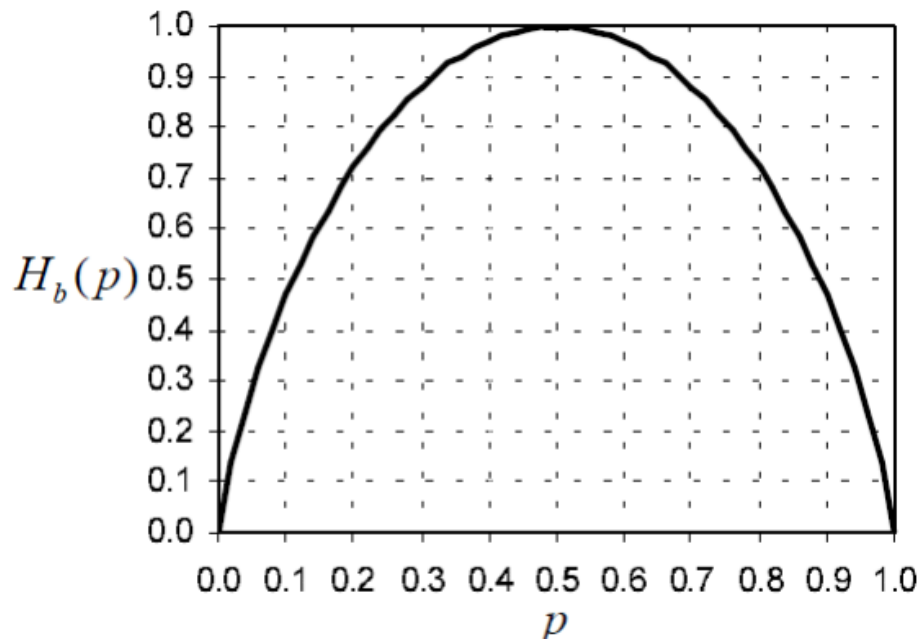
$$H(X, P_X / Q_X) = \sum_{i=1}^N p_i \log \frac{p_i}{q_i}$$

Είναι η απόσταση **Kullback-Leibler** των κατανομών P_X και Q_X για το αλφάβητο X .

19

Εντροπία Δυαδικής Πηγής δίνεται από την Συνάρτηση Shannon:

$$H_b(p) = -p \log p - (1-p) \log(1-p)$$



3.3. Μέθοδος Μέγιστης Εντροπίας (Max Entropy Method)

Η μέθοδος της μέγιστης εντροπίας έχει χρησιμοποιηθεί με επιτυχία στα υποτιμημένα συστήματα. Το πρόβλημα σχεδιασμού του δικτύου, με τη δρομολόγηση και την τοπολογία ως υποπροβλήματα, είναι ένα υποτιμημένο σύστημα και ένας καλός υποψήφιος για την εφαρμογή της μεθόδου εντροπίας. (Thi 2016)

Τα ασύρματα δίκτυα ad-hoc με ταχέως μεταβαλλόμενη τοπολογία και η σχέση ποιότητας, όπου η ταχύτητα του νέου υπολογισμού είναι ζωτικής σημασίας, έχουν πρόσφατα ερευνηθεί με επιτυχία με την βοήθεια της μέγιστης εφαρμογής μεθόδου εντροπίας.

Στην ερευνητική κοινότητα, υπάρχει έρευνα που αποδεικνύει ένα θεώρημα που καθορίζει ασυμπτωτικές ιδιότητες της μέγιστης εντροπίας για τον καθορισμό της δρομολόγησης. Αυτό το αποτέλεσμα, εκτός του ότι αποτελεί ενδιαφέρον, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να κατευθύνει την αρχική προσέγγιση για επαναληπτική βελτιστοποίηση των αλγορίθμων και να επιταχύνουν τη σύγκλιση τους.

Η μέθοδος μέγιστης εντροπίας (MAX ENTROPY METHOD) χρησιμοποιήθηκε πρόσφατα με μεγάλη επιτυχία σε πολλούς διαφορετικούς τομείς όπου εμπλέκονται υποτιμημένα συστήματα. Συχνότερα, η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται στην κρυσταλλογραφία, στην χημεία και τη φυσική, αλλά και σε πολλές άλλες πολύ διαφορετικές περιοχές, όπως η επεξεργασία φυσικής γλώσσας, οι μεταφορές, η αναγνώριση χαρακτήρων, η επεξεργασία εικόνας.

Η βασική ιδέα της μεθόδου της μέγιστης εντροπίας είναι να πάρουμε μια μοναδική λύση από την υποτίμηση τους συστήματος εισάγοντας ένα πρόσθετο περιορισμό ώστε να μεγιστοποιηθεί η συνάρτηση εντροπίας. Οι άλλοι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για την επίλυση των υποτιμημένων συστημάτων χρησιμοποιούν την ίδια τεχνική, δηλαδή, εισάγουν επιπλέον τεχνητά εμπόδια που κάνουν τον αριθμό των περιορισμών ίσο με τον αριθμό των αγνώστων.

Η διαφορά τους είναι ότι η μέθοδος μέγιστης εντροπίας εισάγει τον πιο φυσικό πρόσθετο περιορισμό: ένα που δεν εισάγει καμία νέα, αυθαίρετη και αδικαιολόγητη πληροφορία. Χρησιμοποιεί μόνο τις πληροφορίες που του δίνονται και δεν κάνει υποθέσεις για πληροφορίες που δεν έχει. Είναι ενδιαφέρον να αναφέρουμε ότι εκτός από τις πρακτικές χρήσεις, υπήρχαν πολλές θεωρητικές συζητήσεις σχετικά με την πραγματική έννοια της αρχής της μέγιστης εντροπίας. (Thi 2016)

Ο προκάτοχος της αρχής της μέγιστης εντροπίας είναι η αρχή του ανεπαρκούς λόγου (James Bernoulli: "Ars Conjectandi", 1713). Αναφέρει ότι, ελλείψει της κάθε πληροφορίας (γνώσης), όλα τα αποτελέσματα θα πρέπει να θεωρείται εξίσου πιθανά. Αυτή η αρχή του ανεπαρκούς λόγου συμμετείχε στις συζητήσεις για την εκ των προτέρων πιθανοτήτων (τις πιθανότητες ενός συμβάντος, ή μια κατάσταση γνώσης) και τις σχετικές συχνότητες. Οι σχετικές συχνότητες κυριαρχούν και μερικά χρήσιμα έργα από τους Laplace και Bayes επικρίθηκαν. Τα έργα του Shannon για τη θεωρία των πληροφοριών άνοιξε μια νέα ευκαιρία για την αναζωογόνηση της αρχής του ανεπαρκούς λόγου, αυτή τη φορά ως μια πιο εξελιγμένη μέθοδο μέγιστης εντροπίας που εισήχθη από τον Jaynes

Αυτές οι θεωρητικές συζητήσεις σχετικά με την πραγματική έννοια της μεθόδου της μέγιστης εντροπίας είναι ενδιαφέροντες, αλλά δεδομένου ότι η μέθοδος ήταν να εφαρμοστεί με επιτυχία σε πολλούς τομείς, για κάθε νέα περιοχή εφαρμογής το πιο σημαντικό κριτήριο δεν είναι πόσο καλά μπορούμε να εξηγήσουμε τη σχέση μεταξύ της μεθόδου της μέγιστης εντροπίας (Max entropy Method) MEM και εκείνη την περιοχή, αλλά πόσο χρήσιμο είναι το έχουμε αποτελέσματα πάρτε από την εφαρμογή της μεθόδου.

3.3.1. Ορισμός της μεθόδου της Μέγιστης Εντροπίας

Ο επίσημος ορισμός της μεθόδου της μέγιστης εντροπίας είναι ο εξής:

Υποθέτουμε ότι διακριτές τυχαίες τιμές X , x_1, x_2, \dots, x_n , θεωρούνται ως άγνωστοι, αλλά οι αντίστοιχες πιθανότητες $p_1, p_2, p_3, \dots, p_n$ δεν είναι γνωστές.

Επίσης οι αναμενόμενες τιμές για τις $k < n-1$ λειτουργίες του X (Για παράδειγμα οι πρώτες K στιγμές) είναι γνωστές (Thi 2016)

$$E[f_r(X)] = m_r \quad r = 1, 2, \dots, k$$

Στην πραγματικότητα δεν είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε τις τιμές x_1, x_2, \dots, x_n , ή αναλυτικές εκφράσεις για τις λειτουργίες f_r , $r = 1, 2, \dots, k$. Αρκεί να γνωρίζουμε τις τιμές $f_r(x_i)$; $r = 1, 2, \dots, k$; $i = 1, 2, \dots, n$. Επίσης, δεν χρειάζεται να αρχικοποιήσουμε τις πιθανότητες p_1, p_2, \dots, p_n . Συνεπώς, μπορούμε να θέσουμε ένα σύνολο αριθμών t_1, t_2, \dots, t_n .

Στη συνέχεια εισάγουμε:

$$p_i = \frac{t_i}{\sum t_j}$$

Αυτό μας δίνει (μαζί με το $\sum p_i = 1$) $k+1 < n$ περιορισμούς από άγνωστες μεταβλητές p_1, p_2, \dots, p_n . Αυτό το σύστημα είναι απροσδιόριστο και έχει άπειρες λύσεις. Αυτό όμως που μας ενδιαφέρει είναι να βρούμε είναι η μοναδική λύση η οποία μεγιστοποιεί την εντροπία του συστήματος. Αυτή θα είναι και η βέλτιστη λύση, υπό την έννοια ότι θα χρησιμοποιεί μόνο από τις ήδη διαθέσιμες πληροφορίες. Οι μη διαθέσιμες πληροφορίες θέτουν ένα περιορισμό ο οποίος μπορεί να εκφραστεί ως:

Μεγιστοποίηση της συνάρτησης της εντροπίας:

$$H(p_1, p_2, \dots, p_n) = -K \sum_{i=1}^n p_i \ln(p_i)$$

Αν το $K = 1$, τότε η εντροπία θα εκφραστεί σε φυσικές μονάδες (παρά σε bits). Αυτό το σύστημα μπορεί να λυθεί με την μέθοδο Lagrange multipliers και υπάρχει διαθέσιμος αλγόριθμος για την λύση. Παρ' όλα αυτά η συνάρτηση που πρέπει να ελαχιστοποιηθεί δεν είναι στην πιο απλή περίπτωση όπου δηλαδή υπάρχει μόνο ένας περιορισμός, η αναμενόμενη τιμή. Η διαδικασία Newton-Raphson δεν βοηθάει σε αυτή την περίπτωση, αλλά για αυτό το σύστημα, ο πίνακας του Jacobian matrix είναι συμμετρικός και πεπερασμένος.

3.3.2. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΕΝΤΡΟΠΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

Το πρόβλημα του σχεδιασμού του δικτύου είναι να βρεθεί η κατάλληλη τοπολογία, η κατάλληλη δρομολόγηση και χωρητικότητα, έτσι ώστε το κόστος ή καθυστέρηση στο δίκτυο να ελαχιστοποιείται. Αφού αποφασιστεί η τοπολογία και η δρομολόγηση, υπάρχουν ακριβείς μέθοδοι για την ανάθεση της χωρητικότητας που θα ελαχιστοποιούν την καθυστέρηση ή το κόστος. Ωστόσο, υπάρχουν μερικά θεωρητικά αποτελέσματα σχετικά με την επιλογή της τοπολογίας και της δρομολόγησης. Οι περισσότεροι από τους αλγορίθμους που χρησιμοποιούνται είναι ευρετικοί και πολλοί από αυτούς δεν δίνουν τα επιθυμητά αποτελέσματα. Στην εργασία του Tuba(2013) παρουσιάζεται μια προσπάθεια να χρησιμοποιηθεί η μέθοδος της μέγιστης εντροπίας για να επιλεγεί (αρχικά) η τοπολογία και η δρομολόγηση.(Tuba 2013)

Ο σχεδιασμός και η ανάλυση του δικτύου περιλαμβάνει σχεδόν πάντα τα ακαθόριστα συστήματα, ειδικά όταν η πολιτική δρομολόγησης πρέπει να προσδιοριστεί. Ο

αριθμός των πιθανών διαδρομών μεγαλώνει με το παραγοντικό του αριθμού των κόμβων του δικτύου και ο αριθμός των πιθανών τοπολογιών μεγαλώνει εκθετικά όταν αυξάνεται ο αριθμός των συνδέσμων. Ο αριθμός των περιορισμών είναι συνήθως ένα πολυώνυμο του αριθμού των κόμβων του δικτύου. Αυτό σημαίνει ότι στο σχεδιασμό του δικτύου ένας καλός υποψήφιος για την λύση είναι η χρήση της μεθόδου της μέγιστης εντροπίας.(Tuba 2013)

Στο πρόβλημα του σχεδιασμού του δικτύου, οι περισσότερες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται σήμερα, εισάγουν νέους, τεχνητούς περιορισμούς. Αυτοί οι τεχνητοί περιορισμοί δεν έχουν κανένα άλλο λόγο ύπαρξης από το να εξισώσουν τον αριθμό των αγνώστων με τον αριθμό των περιορισμών. Η μέθοδος μέγιστης εντροπίας έχει μία πολύ σημαντική ιδιότητα: λύνει τα υποτιμημένα συστήματα χωρίς την εισαγωγή νέας πληροφορίας. Ένα ακόμη σημαντικό χαρακτηριστικό είναι ότι η μέθοδος της μέγιστης εντροπίας κάνει τα πράγματα ως το δυνατόν πιο ισάξια ισότιμοι. Είναι ιδιαίτερα σημαντικό ένα δίκτυο να μην υπερφορτώνεται ή να υποχρησιμοποιεί τις συνδέσεις δηλαδή, η κυκλοφορία θα πρέπει να διανέμεται όσο γίνεται πιο δίκαια κατά μήκος όλων των γραμμών. Μία πολύ απλή τέτοια λειτουργία είναι το γινόμενο όλων των μεταβλητών. Η συνάρτηση παραγοντοποίησης φαίνεται απλούστερη σε σύγκριση με την συνάρτηση της εντροπίας που περιλαμβάνει λογάριθμους, αλλά όταν λαμβάνουμε υπόψη την περίπτωση ύπαρξης μερικών παραγώγων όταν αυτό χρειάζεται, βλέπουμε ότι η λειτουργία εντροπία είναι καλύτερη δεδομένου ότι διαχωρίζει τις μεταβλητές.

Είναι δυνατό να εφαρμοστεί η μέθοδος της μέγιστης εντροπίας εάν η ανάλυση αρχίζει με εντελώς διασυνδεδεμένο δίκτυο n κόμβων. Ορισμένες γραμμές θα αφαιρεθούν αργότερα στη διαδικασία της βελτίωσης της αξιοποίησης ή της μείωσης του κόστους. Στη συνέχεια, όταν η τοπολογία γίνεται αρκετά αραιή, μπορούν να εισαχθούν και άλλες μέθοδοι βελτιστοποίησης δρομολόγησης. Για να εφαρμοστεί η μέγιστη μέθοδος εντροπίας πρέπει πρώτα να καθοριστεί ποιες θα είναι οι μεταβλητές του συστήματος. Υπάρχουν μερικοί συνδυασμοί των απαιτούμενων τιμών της κυκλοφορίας που μπορεί να χρησιμοποιηθούν για δεδομένου ότι για την εφαρμογή της MEM (Max Entropy Method) δεν είναι απαραίτητο να

ξεκινήσουμε με πιθανότητες, αλλά με ένα αυθαίρετο σύνολο αριθμών που μπορούν να ομαλοποιηθούν (διαιρώντας κάθε ένα από αυτούς τους αριθμούς με το άθροισμα τους).

Ο Προτεινόμενος αλγόριθμος υπολογίζει μια λογική λύση που είναι ανθεκτική σε σχέση με τις συχνά δυναμικές αλλαγές της συνάρτησης κόστους. Η μέγιστη λύση εντροπία μπορεί να είναι ένα καλό σημείο εκκίνησης για την περαιτέρω βελτιστοποίηση θεωρώντας ότι η συνάρτηση κόστους με «ποινές» καθυστέρησης περιλαμβάνει την θεωρία ουρών που είναι συνήθως υπολογιστικά δαπανηρή. Εναλλακτικά, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η MEM με δυναμικό τρόπο. (Tuba 2013)

Για να βελτιωθεί ο αλγόριθμος κάποια θεωρητικά αποτελέσματα μπορούν να βοηθήσουν άμεσα την αρχική προσέγγιση.

Ο αλγόριθμος που περιγράφηκε σε προηγούμενη ενότητα χρησιμοποιεί την μέθοδο της μέγιστης εντροπίας ως βάση αλλά ξεκινά με ένα πλήρως συνδεδεμένο δίκτυο και επαναληπτικά αφαιρεί τις γραμμές για να μειώσει την αντικειμενική συνάρτηση (συνδυασμός κόστους και καθυστέρησης). Από τη στιγμή που αυτός ο ακριβός από άποψη υπολογισμού αλγόριθμος, βοηθάει να επιλεγεί το αρχικό σημείο για να μειωθεί ο χρόνος σύγκλισης

Θεώρημα 1: Για ένα πλήρως συνδεδεμένο δίκτυο με N κόμβους και δεδομένο φορτίο L_{ij} ; $i, j = 1, n$; $i \neq j$; (απαιτούμενη κυκλοφορία από κόμβο i σε κόμβο j), η λύση για την εύρεση της μέγιστης εντροπίας, ασυμπτωματικά θα διανέμει δικτυακή κυκλοφορία (η κυκλοφορία που απομένει ακυρώνεται, μετά την κυκλοφορία για τον ίδιο τύπο μηνυμάτων μεταξύ των ίδιων κόμβων σε αντίθετες κατευθύνσεις) σε απευθείας μονοπάτια με αναλογία μήκους 2:1. Αυτό σημαίνει ότι το προσφερόμενο φορτίο L_{ij} για κάθε ζεύγος των κόμβων i και j θα σταλεί ως εξής (Tuba 2013):

$\frac{2}{n} L_{ij}$ θα σταλούν σε απευθείας μονοπάτια $path [i; j]$ και

$\frac{1}{n} L_{ij}$ θα σταλεί σε κάθε $n-2$ μονοπάτια μήκους δύο: $[i; k] - [k; j]$, $k = 1, n$;

$$k \triangleleft i, j$$

Για την απόδειξη του παραπάνω θεωρήματος χρειαζόμαστε 3 λήματα:

Λήμμα 1 : Θεωρούμε ένα σύστημα με n πιθανότητες και 2 ανεξάρτητα σύνολα περιορισμών όπου το πρώτο σύνολο θέτει p_1, \dots, p_k και το δεύτερο σύνολο περιορισμών απαντά σε

$$p_{k+1}; \dots; p_n; \quad 1 \leq k < n.$$

Αν τα αθροίσματα των δύο ομάδων πιθανοτήτων διατηρηθούν σταθερά :

$$\sum_{i=1}^k p_i = c \quad \sum_{i=k+1}^n p_i = 1 - c$$

η μέγιστη εντροπία του συστήματος μπορεί να γίνει ως δύο ξεχωριστές μεγιστοποιήσεις , μία για κάθε ομάδα πιθανοτήτων. Η απόδειξη είναι ασήμαντη

Λήμμα 2: Για την μεγιστοποίηση της εντροπίας για ένα πλήρως διασυνδεδεμένο δίκτυο με n κόμβους (η μόνη κυκλοφορία του δικτύου από κόμβο i σε κόμβο j) και η συνολική κυκλοφορία του δικτύου παραμένει σταθερή. ΤΟ μόνο που χρειάζεται να λάβουμε υπόψη

είναι μονοπάτια μήκους 1 και 2 (απευθείας μονοπάτια $[i; j]$ και $n - 2$ μονοπάτια μήκους 2 $[i, k]-[k, j]; k = 1; n; k \neq i; j$.

Όλες οι υπόλοιπες γραμμές δεν θα κουβαλάνε καθόλου δικτυακή κυκλοφορία

Λήμμα 3 : Για ένα πλήρως συνδεδεμένο δίκτυο με n κόμβους και προσφερόμενο φορτίο L_{ij} και T , συνολική κυκλοφορία στο δίκτυο , η εντροπία μεγιστοποιείται αν η κυκλοφορία δρομολογηθεί μεταξύ των μονοπατιών μήκους 2 και 1 στις ακόλουθες ποσότητες:

$$e_2 = [R + \sqrt{Q}]^{\frac{1}{3}} + [R - \sqrt{Q}]^{\frac{1}{3}} + \frac{d}{3(n-2)}$$

$$e_1 = d - (n-2)e_2$$

Όπου:

$$R = \frac{d^3 + 9(n-2)(n-3)dp^2}{27(n-2)^3}$$

$$Q = \frac{p^2d^4 + (2n^2 - 18n + 27)p^4d^2 + n^3(n-2)p^6}{27(n-2)^4}$$

$$d = \frac{L_{ij}}{2T} \quad p = \frac{1}{n(n-1)}$$

Η συνάρτηση της εντροπίας είναι η ακόλουθη:

$$\begin{aligned}
 H(e_2) = & - [p + d - (n - 2)e_2] \ln[p + d - (n - 2)e_2] - \\
 & - [p - d + (n - 2)e_2] \ln[p - d + (n - 2)e_2] - \\
 & - 2(n - 2) [(p + e_2) \ln(p + e_2) + (p - e_2) \ln(p - e_2)] \\
 & - (n - 1)(n - 2) p \ln(p)
 \end{aligned}$$

Για την μεγιστοποίηση της εντροπίας, χρειάζεται να πάρουμε το παράγωγο και το εξισώσουμε με το μηδέν:

$$\frac{dH}{de_2} = (p + e_2)^2 [p - d + (n - 2)e_2] - (p - e_2)^2 [p + d - (n - 2)e_2] = 0$$

This gives third degree equation

$$e_2^3 - \frac{d}{n-2} e_2^2 + \frac{np^2}{n-2} e_2 - \frac{dp^2}{n-2} = 0$$

Χρησιμοποιώντας τον τύπο Cardano, στην παραπάνω εξίσωση έχουμε:

$$e_2^3 + ae_2^2 + be_2 + c = 0$$

Θέτοντας:

$$e_2 = t - \frac{a}{3}$$

Και έχοντας την εξίσωση:

$$t^3 + pt + q = 0$$

Όπου:

$$p = \frac{-d^2 + 3(n-2)np^2}{3(n-2)^2}$$
$$q = \frac{-2[d^3 + 9(n-2)(n-3)dp^2]}{27(n-2)^3}$$

Η λύση για το t είναι:

$$t = A + B$$

3.4. Επικοινωνιακά Πρωτόκολλα Εξοικονόμησης Ενέργειας

Οι κόμβοι ενός WSN πρέπει να είναι σε θέση να λειτουργούν για όσο το δυνατόν μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα, σε περιοχές οι οποίες τις πιο πολλές φορές είναι απομακρυσμένες ή δυσπρόσιτες. Για τον παραπάνω λόγο θεωρείται κρίσιμης σημασίας η όσο το δυνατόν μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας, η οποία θα

οδηγήσει στην αύξηση της ζωής (lifetime) των SNs και κατά επέκταση του WSN. Η διαδικασία που καταναλώνει τα πιο μεγάλα ποσοστά ενέργειας σε ένα SN είναι η επικοινωνία, δηλαδή η χρήση του πομπού του για την ασύρματη αποστολή δεδομένων. (Bougard 2008)

Για να μειωθεί η ενεργειακή κατανάλωση της επικοινωνίας σε ένα SN πρέπει να βελτιστοποιηθούν όλα τα επίπεδα (layers) επικοινωνίας ξεκινώντας από το φυσικό επίπεδο και καταλήγοντας στο επίπεδο εφαρμογής. Το επίπεδο που επηρεάζει περισσότερο την κατανάλωση ενέργειας είναι το επίπεδο διασύνδεσης δεδομένων (Data Link Layer, DLL) και πιο συγκεκριμένα το υποεπίπεδο πρόσβασης στο μέσο (Medium Access Control, MAC), ιδιαίτερα σε δίκτυα με ραδιοπομπούς μικρού κύκλου καθήκοντος (low duty cycle). Έρευνες έχουν ως στόχο τη μειωμένη ενεργειακή κατανάλωση των WSNs, οι οποίες και προτείνουν βελτιωμένα πρωτόκολλα MAC. Επίσης οι Reason και Rabaey προτείνουν ένα επικοινωνιακό πρωτόκολλο το οποίο βασίζεται στο σύστημα χρονικής πολυπλεξίας (Division Medium Access, TDMA), για την επέκταση της ζωής των SNs. (Bougard 2008)

Ο ασύρματος αισθητήριος κόμβος, αφού είναι μια μικρό-ηλεκτρονική συσκευή μπορεί να εφοδιαστεί με μια περιορισμένη πηγή ενέργειας (<0.5 Ah, 1.2V). Η αντικατάσταση αυτής της πηγής ενέργειας συνήθως είναι αδύνατη, συνεπώς η ζωή του αισθητήριου κόμβου εξαρτάται από αυτήν. Σε ένα δίκτυο αισθητήρων ο κάθε κόμβος παίζει το ρόλο του αποστολέα αλλά και του δρομολογητή. Τυχόν βλάβες σε κάποιους από τους κόμβους δημιουργούν ανάγκη για αναδιοργάνωση του δικτύου και επαναδρομολόγηση των μηνυμάτων. Συνεπώς η σωστή διαχείριση της ενέργειας των κόμβων παίζει μεγάλο ρόλο. Η κατανάλωση ενέργειας μπορεί να αποδοθεί σε τρεις λειτουργίες: αίσθηση, επικοινωνία και επεξεργασία δεδομένων. (Bougard 2008)

Η ενέργεια είναι το κύριο εμπόδιο για το σχεδιασμό ασύρματων δικτύων αισθητήρων (ΑΔΑ) πρακτικά, οδηγώντας σε περιορισμένο διάρκειας ζωής του WSN. Τα διαφορετικά πρωτόκολλα επικοινωνίας και ορισμένοι αλγόριθμοι μπορούν να βρουν τρόπους για να μειώσουν την κατανάλωση ενέργειας. Ο σχηματισμός

συμπλέγματος και η clusterhead επιλογή είναι κρίσιμα ζητήματα στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, τα οποία μπορούν να παρατείνουν τη διάρκεια ζωής και επίσης να βελτιώσουν την απόδοση του δικτύου.

Στην ερευνητική κοινότητα έχουν γίνει μερικές αξιόλογες προσπάθειες στην αναζήτηση αλγορίθμων σε συνδυασμό άλλων μεθόδων ώστε να επιτευχθεί όσο το δυνατόν περισσότερο εξοικονόμηση ενέργειας.

Η ανίχνευση, η επεξεργασία και η ανταλλαγή δεδομένων είναι οι κύριες δραστηριότητες ενός αισθητήριου κόμβου(sensor node) , η οποία προκαλεί την κατανάλωση της ενέργειας. Η ανταλλαγή δεδομένων απαιτεί την κατανάλωση της υπολειπόμενης ενέργειας. Το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας αποθηκεύεται στην μπαταρία του αισθητήριου κόμβου. Αρκετή ενέργεια καταναλώνεται σε ένα αισθητήριο κόμβο για τις λειτουργίες της ανίχνευσης και της επεξεργασίας. Οι κόμβοι των δικτύων τροφοδοτούνται από την ενέργεια που συσσωρεύεται στις μπαταρίες τους, οι οποίες μπορεί να είναι είτε ανανεώσιμες ή μη ανανεώσιμες. Μερικοί κόμβοι χρησιμοποιούν μηχανισμούς συγκομιδής ενέργειας για την παραγωγή ενέργειας από τη θερμική ή την ηλιακή ενέργεια ή ακόμα και από δονήσεις.

Αυτή η δυνατότητα συγκομιδής ενέργειας προσθέτει ορισμένη πολυπλοκότητα στον σχεδιασμό των αισθητήριων κόμβων, δεδομένου ότι χρειάζονται πολύπλοκα κυκλώματα τα οποία θα είναι σε θέση να παράγουν ενέργεια. Οι κόμβοι χρησιμοποιούν διάφορες τεχνικές για την εξοικονόμηση ενέργειας. (Lin et al 2006)

Μερικά παραδείγματα των μεθόδων εξοικονόμησης ενέργειας είναι (Lin et al 2006)

- Dynamic power management (DPM) – Δυναμική διαχείριση ενέργειας
- Dynamic voltage scaling(DVS)- Δυναμική κλιμάκωση βολτ
- Dynamic frequency scaling (DFS) : Δυναμική κλιμάκωση συχνότητας

Ένας κόμβος αισθητήρα, χρησιμοποιώντας την τεχνική DPM, προσπαθεί να ελαχιστοποιήσει την κατανάλωση ενέργειας από την αδρανοποίηση όσο των δυνατών περισσότερων λειτουργιών. Τα συστατικά μέρη του κόμβου που θα αδρανοποιηθούν μπορεί να επιλέγονται τυχαία ή μετά από ένα προκαθορισμένο χρονοδιάγραμμα. Το μειονέκτημα αυτής μεθόδου είναι ότι η διαδικασία ενεργοποίησης και απενεργοποίησης των συστατικών μερών του αισθητήριου κόμβου καταναλώνει σημαντική ποσότητα ενέργειας.

Η τεχνική DVS είναι ένα μηχανισμός με τον οποίο ένας κόμβος διαφοροποιεί το επίπεδο τάσης εισόδου στα συστατικά του. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την μειωμένη κατανάλωση ενέργειας κατά διαστήματα των μερών του κόμβου όταν αυτά είναι ανενεργά.

Η τεχνική DFS, επιτυγχάνει την εξοικονόμηση ενέργειας μεταβάλλοντας τη συχνότητα λειτουργίας του επεξεργαστή. Δεδομένου ότι η κατανάλωση ενέργειας του επεξεργαστή και η συχνότητα έχουν άμεση σχέση, η συχνότητα αυξάνει την ενέργεια που καταναλώνεται από τον επεξεργαστή. Χρησιμοποιώντας χαμηλές συχνότητες επιτυγχάνεται αργή επεξεργασία των δεδομένων στον επεξεργαστή. (Zilan et al 2007)

3.5. Μοντέλο εξοικονόμησης ενέργειας βασισμένο στην εντροπία

Στην συμβατική μέθοδο ομαδοποίησης, διαιρώντας το δίκτυο, οι κόμβοι ασύρματου αισθητήρα οργανώνονται σε μικρές ομάδες που ονομάζονται συστάδες (clusters) και στη συνέχεια, ένας ασύρματος κόμβος από κάθε ένα από αυτά επιλέγεται ώστε να ενεργήσει ως ένα clusterhead που επιτρέπει σε άλλους

ασύρματους κόμβους να ενταχθούν και να σχηματίσουν το σύμπλεγμα. (Zilan et al 2007)

Σε ένα δίκτυο αισθητήρων (WSN), η ομαδοποίηση είναι μια σημαντική τεχνική για να διαιρέσει το μεγάλο δίκτυο σε διάφορα υπο-δίκτυα. Οι υπάρχουσες αρχιτεκτονικές συμπλέγματος μειώνουν δραστικά την κατανάλωση ενέργειας και επιτρέπουν την αποτελεσματική υλοποίηση του πρωτοκόλλου MAC και άλλων πρωτοκόλλων δρομολόγησης, των μηχανισμών ασφαλείας και της συσσωμάτωσης δεδομένων.

Μια συστάδα (cluster) είναι μια ομάδα διασυνδεδεμένων κόμβων με ένα ειδικό κόμβο που ονομάζεται clusterhead. Τα Clusterheads είναι υπεύθυνα για τη διαχείριση της λεγόμενης διασποράς, όπως ο προγραμματισμός του μέσου πρόσβασης, η διάδοση των μηνυμάτων ελέγχου ή της συνάθροιση των δεδομένων (Lin et al , 2006)

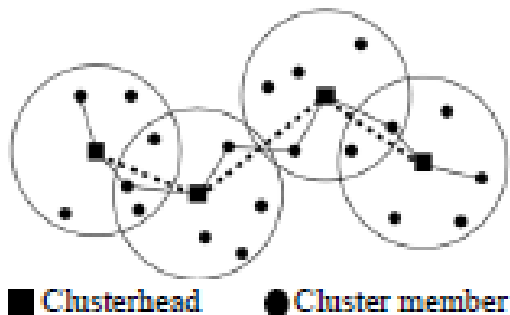
Ως εκ τούτου, ο ρόλος του clusterhead είναι κρίσιμος για τη σωστή λειτουργία του δικτύου. Αυτό αποτελεί σημαντικό ζήτημα, δεδομένου ότι οι συχνές αλλαγές των clusterhead επηρεάζουν αρνητικά την απόδοση των αλγορίθμων όπως η σταθερότητα των clusters, η ενέργεια των ασύρματων κόμβων αισθητήρων και της τοπολογίας.

Η εργασία των Xiao (2016) προτείνει μια μέθοδο cluster επιλογής βασισμένη στην Εντροπία.

Η στρατηγική που προτείνεται είναι να προβλέψει ένα κατάλληλο κόμβο που παραμένει ως clusterhead για μεγάλο χρονικό διάστημα με βάση την ενέργεια στον κόμβο. Η προτεινόμενη μέθοδος ανιχνεύει τέτοιες ομάδες σε ένα κόμβο με ένα κατανομημένο τρόπο και να διαλέγει το clusterhead με βάση την υπολογιζόμενη τιμή της εντροπίας της ενέργειας . Για το προσδιορισμό των clusterheads ορίζονται δύο παράμετροι: α) η ενέργεια των κόμβων και β) ο αριθμός των γειτονικών κόμβων

Μέσω των αποτελεσμάτων από τα πειράματα προσομοίωσης, αποδεικνύεται η απόδοση του προτεινόμενου συστήματος από την άποψη του μέσου αριθμού των συστάδων, το μέσο αριθμό των συμπλεγμάτων και του μέσου της σύνδεσης.

Χρησιμοποιώντας το ίδιο μοντέλο, όπως ο Shiozaki (Shiozaki, 1986), το οποίο θεωρείται ένα απλό μοντέλο, όπου το ραδιόφωνο διαλύει $E_{elec} = 50\text{ nJ} / \text{bit}$ για να εκτελεστεί ο πομπός ή να λάβει κάποιο κυκλώμα και $\epsilon_{amp} = 100\text{ pJ} / \text{bit} / \text{m}^2$ για τη μετάδοση του ενισχυτή. Υποθέτουμε ότι υπάρχει απώλεια d^2 ενέργειας λόγω του καναλιού μετάδοσης. (Χiao, 2016)



Εικόνα 21- Αρχιτεκτονική Cluster

Η ενέργεια των κυκλωμάτων (E_{elec}) εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως η ψηφιακή κωδικοποίηση, την διαμόρφωση, το φιλτράρισμα και την μετάδοση του σήματος. Λαμβάνοντας υπόψη ότι η ενέργεια του ενισχυτή $\epsilon_{amp} * d^2$ εξαρτάται από την απόσταση από το δέκτη και το αποδεκτό ποσοστό λάθους.

Για την μετάδοση ενός μηνύματος k -bit σε απόσταση d χρησιμοποιώντας το παραπάνω μοντέλο ραδιόφωνο δαπανά:

$$E_{Tx}(k, d) = E_{elec} * k + \epsilon_{amp} * k * d^2$$

όπου λ είναι εκθέτης της απώλειας της διαδρομής και συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 2 και 6

Υποθέτουμε ότι το ραδιοφωνικό κανάλι είναι συμμετρικό για μια δεδομένη σήματος προς θόρυβο (SNR) .

Για το μήνυμα που λαμβάνεται δαπανάται:

$$E_{Rx}(x) = E_{elec} * k$$

Ο SLEACH(Secure low-energy adaptive clustering hierarchy) επιλέγει τυχαία μερικούς κόμβους ως clusterheads και προσαρμόζει αυτό το ρόλο της εξισορρόπησης της ενέργειας στην απαγωγή των κόμβων στα δίκτυα αισθητήρων . Η λειτουργία του SLEACH χωρίζεται σε δύο γύρους και κάθε γύρος αρχίζει με τη φάση set-up και ακολουθείται από μια φάση σταθερής κατάστασης.

Στον SLEACH, όταν συστάδες δημιουργούνται για πρώτη φορά, κάθε κόμβος αποφασίζει αν πρέπει ή όχι να γίνει ένα cluster-head για τον τρέχοντα γύρο. Η απόφαση αυτή βασίζεται στο προτεινόμενο ποσοστό του επικεφαλής cluster για το δίκτυο και τον αριθμό των φορών που ο κόμβος υπήρξε ως επικεφαλής μέχρι εκείνη τη στιγμή . Η απόφαση αυτή λαμβάνεται από τον κόμβο ή επιλέγοντας έναν τυχαίο αριθμό μεταξύ 0 και 1. Αν ο αριθμός είναι μικρότερος από ένα κατώφλι $T(n)$, ο κόμβος γίνεται επικεφαλής του συμπλέγματος για τον τρέχοντα γύρο. (Xiao, 2016)

Το όριο έχει οριστεί ως:

$$T(n) = \begin{cases} \frac{P}{1 - p * (r * \text{mod}(1/p))}; & \text{if } n \in G \\ 0 & ; \text{ otherwise} \end{cases}$$

Επειδή, από τις παραπάνω υποθέσεις η μετάδοση της ενέργειας είναι άμεσα ανάλογη με την ενέργεια που καταναλώνεται, η εντροπία ενέργειας μπορεί να υπολογιστεί από την μετάδοση ενέργεια σύμφωνα με το μοντέλο Shannon

$$H_S(Y) = \int_{-\infty}^{+\infty} T_Y(y) \log T_Y(y) dy$$

$$H(T_P) = \int_0^M (T_{R\Theta}(P_i^{\alpha}) \log T_{R\Theta}(P_i^{\alpha})) dP_i$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4- ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ NS2 - ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΤΗΣ ΔΙΚΤΥΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ

4.1. Η χρησιμότητα του NS2

Ο NS2 Simulator (Έκδοση 2), είναι ένα ιδιαίτερα δημοφιλές εργαλείο προσομοίωσης καθοδηγούμενο από γεγονότα και είναι πολύ χρήσιμο στη μελέτη της δυναμικής φύσης των δικτύων επικοινωνίας.

Το πρόγραμμα NS2 προσφέρει την δυνατότητα προσομοίωσης ενσύρματων αλλά και ασύρματων λειτουργιών δικτύου και πρωτόκολλων (όπως για παράδειγμα αλγορίθμους δρομολόγησης, πρωτόκολλο TCP,UDP). Σε γενικές γραμμές το εργαλείο NS2 προσφέρει στους χρήστες διάφορους τρόπους να καθορίσουν τέτοια δίκτυα και να τα προσομοιώσουν τις διάφορες συμπεριφορές τους και λειτουργίες.

Το NS2 αποκτά όλο και περισσότερη δημοτικότητα στην έρευνα των δικτύων από το ξεκίνημα του το 1989. Προσφέρει στους χρήστες την δυνατότητα να δώσουν

εκτελέσιμες εντολές τις οποίες το NS2 τις λαμβάνει ως είσοδο. Τέτοια αρχεία έχουν την κατάληξη .TCL και αποτελούν αρχεία script. Αφού, δημιουργηθεί ένα τέτοιο αρχείο στη συνέχεια ο χρήστης το εισάγει στο πρόγραμμα ώστε να σχεδιαστεί ο κατάλληλος γράφος και να δημιουργηθεί το γραφικό περιβάλλον του δικτύου.

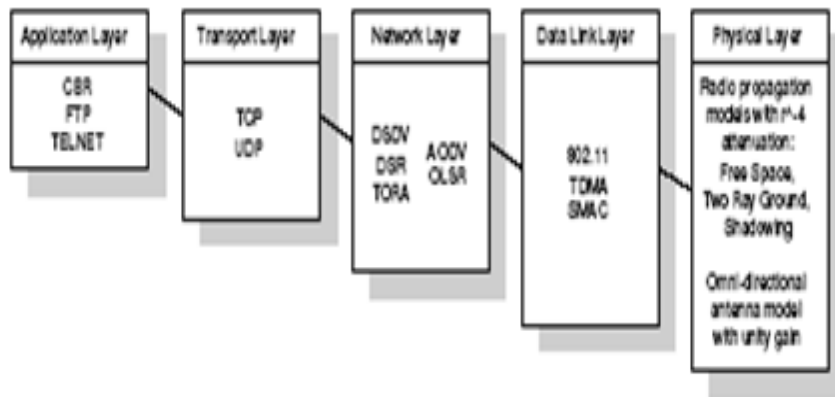
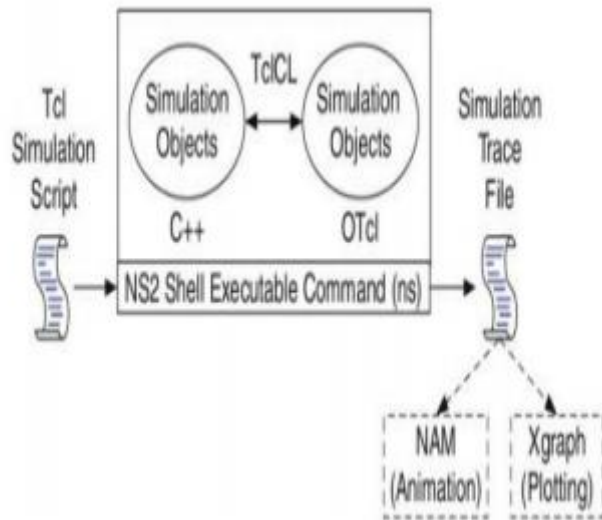
Το NS2 δέχεται δύο γλώσσες προγραμματισμού

A) την C++

B) την OTcl

Η γλώσσα προγραμματισμού C++ ορίζει τον εσωτερικό μηχανισμό (backend) των αντικειμένων της προσομοίωσης . Η γλώσσα OTcl εγκαθιστά και δημιουργεί την προσομοίωση, συναρμολογώντας και ρυθμίζοντας τα αντικείμενα καθώς και τα ξεχωριστά γεγονότα (frontend). Οι δύο γλώσσες προγραμματισμού C++ και OTcl ενώνονται μαζί και χρησιμοποιούν την TclCL. Ο σχεδιαστής δικτύου NAM είναι ένα εργαλείο το οποίο χρησιμοποιείται για προβολή δικτύων και χρησιμοποιεί πραγματικά πακέτα.

Μετά την δημιουργία ενός αρχείου trace, scripting γλώσσες όπως η AWK και η PERL μπορούν να χρησιμοποιηθούν ώστε να υπολογιστούν οι διάφορες μετρικές της απόδοσης των δικτύων. Σε αυτή την περίπτωση η Pearl χρησιμοποιείται με σκοπό να υπολογίζει τον μέσο όρο της καθυστέρησης των πακέτων από άκρη σε άκρη, δηλαδή από τον κόμβο της πηγής μέχρι τον τελικό κόμβο. Η Pearl είναι μία γλώσσα προγραμματισμού γενικού σκοπού και αρχικά δημιουργήθηκε για τον χειρισμό του κειμένου και σήμερα χρησιμοποιείται παγκοσμίως σε μια σειρά από λειτουργίες που συμπεριλαμβάνουν συστήματα διαχείρισης, κατασκευή ιστοσελίδων, προγραμματισμό δικτύων.



Εικόνα 22- Χρήση διαθέσιμων πρωτοκόλλων στο NS2

4.2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η έννοια της αίσθησης μπορεί να οριστεί ως μια τεχνική που χρησιμοποιείται για τη συλλογή πληροφοριών για ένα φυσικό αντικείμενο ή μια διαδικασία, συμπεριλαμβανομένων της πραγματοποίησης των γεγονότων (δηλαδή, αλλαγές στην κατάσταση σε περίπτωση ανόδου της θερμοκρασίας ή της πίεσης). Μια συσκευή που εκτελεί τέτοιες λειτουργίες βασισμένες στην αίσθηση ονομάζεται αισθητήρας. Ο περιορισμός, ο οποίος τις περισσότερες φορές συνδέεται με τον σχεδιασμό του δικτύου αισθητήρων είναι ότι οι κόμβοι αισθητήρων λειτουργούν με περιορισμένους πόρους ενέργειας. Συνήθως, τροφοδοτούνται μέσω μπαταριών, οι οποίες πρέπει είτε να αντικατασταθούν ή να επαναφορτιστούν (π.χ., χρησιμοποιώντας ηλιακή ενέργεια), όταν αυτές εξαντλούνται. (Gautam & Sen 2015)

Για ορισμένους κόμβους, καμία από τις παραπάνω επιλογές δεν είναι κατάλληλη, δηλαδή, οι κόμβοι θα απορρίπτονται μόλις εξαντληθεί η πηγή ενέργειας τους. Είτε η μπαταρία έχει την δυνατότητα να επαναφορτιστεί είτε όχι, επηρεάζει σημαντικά τη στρατηγική που εφαρμόζεται για την κατανάλωση ενέργειας. Έτσι, όταν δημιουργούμε κόμβο στον NS2, ένα ενεργειακό μοντέλο πρέπει να καθορίσει ποια είναι η ενέργεια που κάθε κόμβος θα έχει κατά την έναρξη της προσομοίωσης. Τα συστατικά που απαιτούνται για τη δημιουργία ενός ενεργειακού μοντέλου περιλαμβάνουν

- i) initialEnergy,
- ii) txPower
- iii) rxPower και
- iv) sensePower.

Η initialEnergy αντιπροσωπεύει το επίπεδο της ενέργειας στο κόμβο κατά την έναρξη της προσομοίωσης, txPower και rxPower αντιπροσωπεύει την ενέργεια που καταναλώνεται για την μετάδοση και λήψη των πακέτων. Και το πιο σημαντικό στοιχείο που το μοντέλο ενέργειας ενός κόμβου αισθητήρα πρέπει να περιέχει ονομάζεται "sensePower" δηλαδή η ενέργεια που καταναλώνεται από έναν αισθητήρα κατά τη

διάρκεια της λειτουργίας του. Επίσης είναι σημαντικό να αναφέρουμε την ακτίνα επικοινωνίας "RXThresh" και την ακτίνα αίσθησης "CSThresh" του κόμβου.

Η μορφή ενός αρχείου trace είναι η παρακάτω:

Type Identifier	Time	Source Node	Destination Node	Packet Name	Packet Size	Flags	Flow ID	Source Address	Destination Address	Sequence Number	Packet Unique ID
-----------------	------	-------------	------------------	-------------	-------------	-------	---------	----------------	---------------------	-----------------	------------------

Fig 3[6]: Trace file format

Εικόνα 23- Μορφή αρχείου trace

Το μοντέλο ενέργειας (ενεργειακό μοντέλο) αντιπροσωπεύει το επίπεδο της ενέργειας των κόμβων του δικτύου . Το μοντέλο ενέργειας που ορίζεται σε ένα κόμβο έχει μια αρχική τιμή που είναι ίση με το επίπεδο της ενέργειας που ο κόμβος έχει κατά την έναρξη της προσομοίωσης. Αυτή η ενέργεια έχει ονομαστεί ως initialEnergy_.

Στην προσομοίωση, η μεταβλητή "energy" αντιπροσωπεύει το επίπεδο της ενέργειας σε ένα κόμβο σε οποιοδήποτε καθορισμένο χρόνο. Η αξία των initialEnergy_ έχει περάσει ως είσοδος. Ένας κόμβος χάνει μια συγκεκριμένη ποσότητα ενέργειας για κάθε πακέτο που μεταδίδεται και κάθε πακέτο που έλαβε. Ως αποτέλεσμα, η αξία της initialEnergy_ σε έναν κόμβο μειώνεται. Το επίπεδο κατανάλωσης ενέργειας ενός κόμβου σε οποιαδήποτε στιγμή της προσομοίωσης μπορεί να προσδιοριστεί με την εύρεση της διαφοράς μεταξύ της τρέχουσας ενεργειακής αξίας και της αξίας

initialEnergy_. Εάν ένα ενεργειακό επίπεδο ενός κόμβου φτάσει στο μηδέν, δεν μπορεί να λάβει ή μεταδώσει πλέον άλλα πακέτα. Η ποσότητα της κατανάλωσης ενέργειας σε έναν κόμβο μπορεί να εκτυπωθεί στο αρχείο παρακολούθησης. Το επίπεδο ενέργειας του δικτύου μπορεί να καθοριστεί αθροίζοντας το επίπεδο ενέργειας ολόκληρης της κόμβου στο δίκτυο.

Ο απαραίτητος κώδικας για την προσομοίωση παρουσιάζεται παρακάτω:

#Filename: sample23.tcl

#####ENERGY_CONSUMPTION #####88

#####ENERGY MODEL #####88

Simulator Instance Creation

set ns [new Simulator]

#Fixing the co-ordinate of simutaion area

set val(x) 500

set val(y) 500

Define options

set val(chan) Channel/WirelessChannel ;# channel type

```
set val(prop) Propagation/TwoRayGround ;# radio-propagation
model
set val(netif) Phy/WirelessPhy ;# network interface type
set val(mac) Mac/802_11 ;# MAC type
set val(ifq) Queue/DropTail/PriQueue ;# interface queue type
set val(ll) LL ;# link layer type
set val(ant) Antenna/OmniAntenna ;# antenna model
set val(ifqlen) 50 ;# max packet in ifq
set val(nn) 10 ;# number of mobilenodes
set val(rp) AODV ;# routing protocol
set val(x) 500 ;# X dimension of topography
set val(y) 400 ;# Y dimension of topography
set val(stop) 10.0 ;# time of simulation end
set val(energymodel) EnergyModel ;#Energy set up
# set up topography object
set topo [new Topography]
$topo load_flatgrid $val(x) $val(y)
#Energy details file
set en [open energy_consumption.tr w]
#Transmission range setup\
```

#*** UNITY GAIN, 1.5m HEIGHT OMNI
DIRECTIONAL ANTENNA SET UP *******

Antenna/OmniAntenna set X_ 0

Antenna/OmniAntenna set Y_ 0

Antenna/OmniAntenna set Z_ 1.5

Antenna/OmniAntenna set Gt_ 1.0

Antenna/OmniAntenna set Gr_ 1.0

#*** SET UP COMMUNICATION AND
SENSING RANGE *******

#default communication range 250m

**# Initialize the SharedMedia interface with parameters to make
it work like the 914MHz Lucent WaveLAN DSSS radio interface**

\$val(netif) set CPTresh_ 10.0

\$val(netif) set CSTresh_ 2.28289e-11 ;#sensing range of 500m

**\$val(netif) set RXThresh_ 2.28289e-11 ;#communication range of
500m**

\$val(netif) set Rb_ 2*1e6

\$val(netif) set Pt_ 0.2818

\$val(netif) set freq_ 914e+6

\$val(netif) set L_ 1.0

```

# configure the nodes
$ns node-config -adhocRouting $val(rp) \
-llType $val(ll) \
-macType $val(mac) \
-ifqType $val(ifq) \
-ifqLen $val(ifqlen) \
-antType $val(ant) \
-propType $val(prop) \
-phyType $val(netif) \
-channelType $val(chan) \
-topoInstance $topo \
-energyModel $val(energymodel) \
-initialEnergy 10 \
-rxPower 0.5 \
-txPower 1.0 \
-idlePower 0.0 \
-sensePower 0.3 \
-agentTrace ON \

-routerTrace ON \
-macTrace OFF \
-movementTrace ON
# Node Creation

for {set i 0} {$i < 3} {incr i} {

set energy($i) [expr rand()*500]

$ns node-config -initialEnergy $energy($i) \
-rxPower 0.5 \
-txPower 1.0 \

```

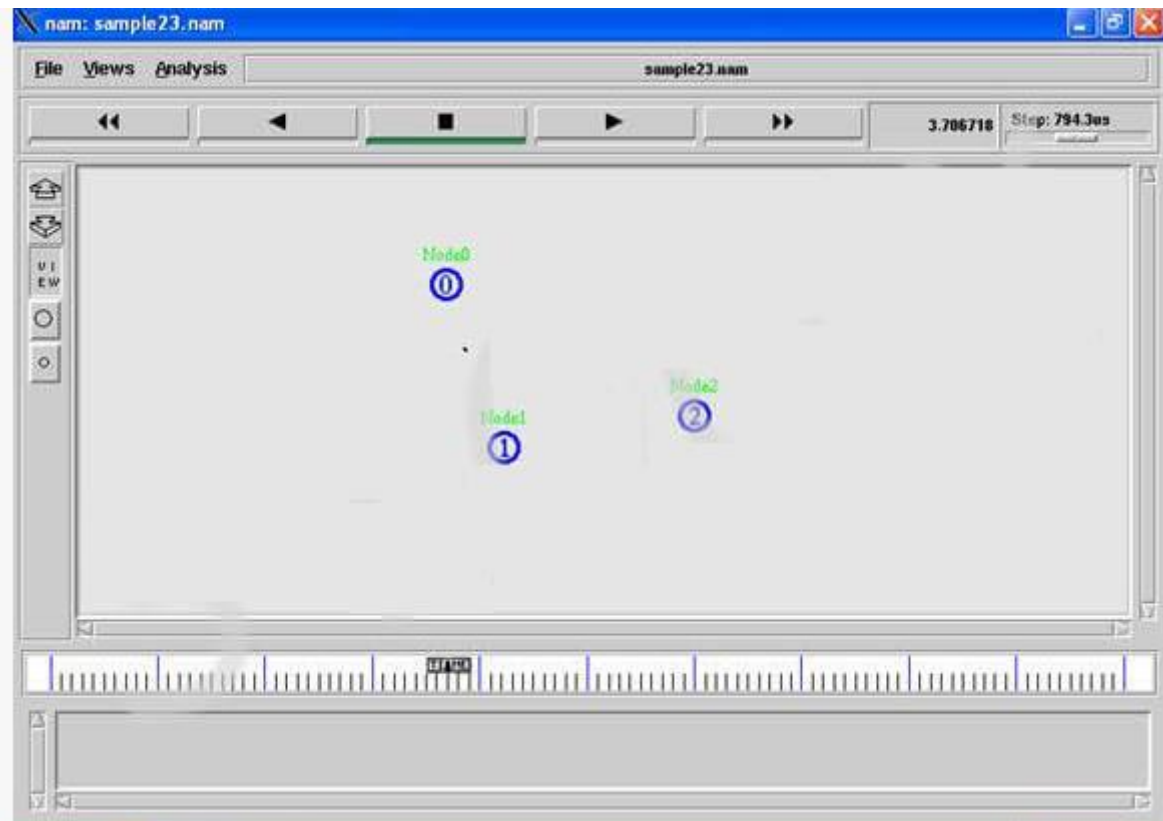
```

-idlePower 0.0 \
-sensePower 0.3
set node_($i) [$ns node]
$node_($i) color black
set E($i) $energy($i)
}

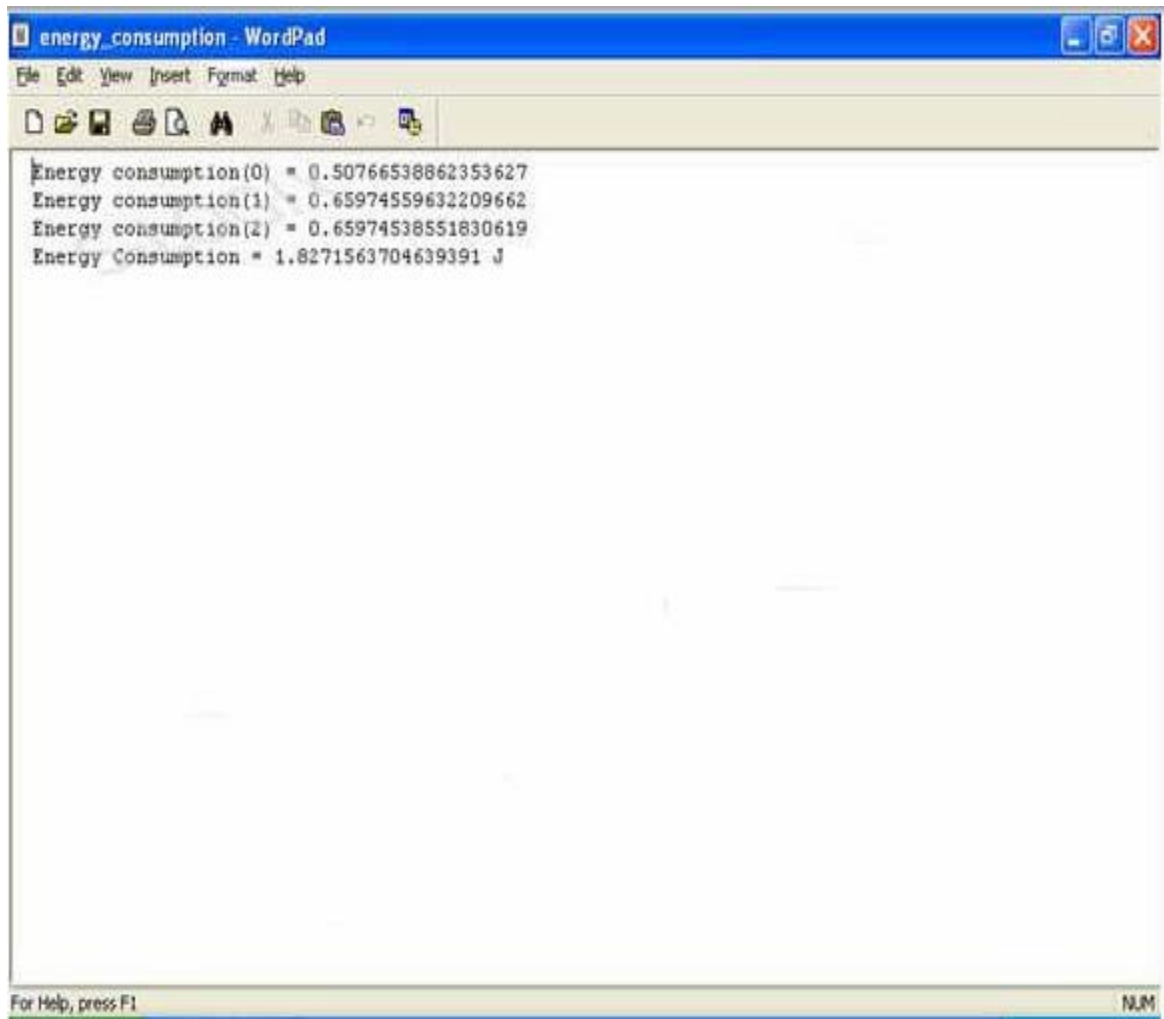
for {set i 0} {$i < $val(nn)} {incr i} {

set CE($i) [expr $InitialEnergy($i) - $FinalEnergy($i)]
puts $en "Energy consumption($i) = $CE($i)"
}
set energyConsumption 0
for {set i 0} {$i < $val(nn)} {incr i} {
set energyConsumption [expr $CE($i) + $energyConsumption]
}

```



Εικόνα 24- Δημιουργία κόμβων



Εικόνα 25- υπολογισμός κατανάλωσης ενέργειας

4.3. Υπολογισμός υπολειπόμενης ενέργειας

Ο απαραίτητος κώδικας για τον υπολογισμό της κατανάλωσης ενέργειας είναι:

```
#Filename: sample24.tcl  
  
*****RESIDUAL ENERGY *****88  
  
*****ENERGY MODEL *****88  
  
# Simulator Instance Creation  
set ns [new Simulator]  
#Fixing the co-ordinate of simutaion area  
set val(x) 500  
set val(y) 500  
# Define options  
set val(chan) Channel/WirelessChannel ;# channel type  
set val(prop) Propagation/TwoRayGround ;# radio-propagation  
model  
set val(netif) Phy/WirelessPhy ;# network interface type  
set val(mac) Mac/802_11 ;# MAC type  
set val(ifq) Queue/DropTail/PriQueue ;# interface queue type  
set val(ll) LL ;# link layer type  
set val(ant) Antenna/OmniAntenna ;# antenna model
```

```

set val(ifqlen) 50 ;# max packet in ifq
set val(nn) 10 ;# number of mobilenodes
set val(rp) AODV ;# routing protocol
set val(x) 500 ;# X dimension of topography
set val(y) 400 ;# Y dimension of topography
set val(stop) 10.0 ;# time of simulation end
set val(energymodel) EnergyModel ;#Energy set up
# set up topography object
set topo [new Topography]
$topo load_flatgrid $val(x) $val(y)
#Energy details file
set energy_file [open energy_file.tr w]
# general operational descriptor- storing the hop details in the
network
create-god $val(nn)
#Transmission range setup

#***** UNITY GAIN, 1.5m HEIGHT OMNI
DIRECTIONAL ANTENNA SET UP *****

Antenna/OmniAntenna set X_ 0
Antenna/OmniAntenna set Y_ 0

```

Antenna/OmniAntenna set Z_ 1.5
Antenna/OmniAntenna set Gt_ 1.0
Antenna/OmniAntenna set Gr_ 1.0

******* SET UP COMMUNICATION AND SENSING RANGE *******

#default communication range 250m

**# Initialize the SharedMedia interface with parameters to make
it work like the 914MHz Lucent WaveLAN DSSS radio interface**

\$val(netif) set CPTresh_ 10.0

\$val(netif) set CSTresh_ 2.28289e-11 ;#sensing range of 500m

**\$val(netif) set RXThresh_ 2.28289e-11 ;#communication range of
500m**

\$val(netif) set Rb_ 2*1e6

\$val(netif) set Pt_ 0.2818

\$val(netif) set freq_ 914e+6

\$val(netif) set L_ 1.0

configure the nodes

**\$ns node-config -adhocRouting \$val(rp) **

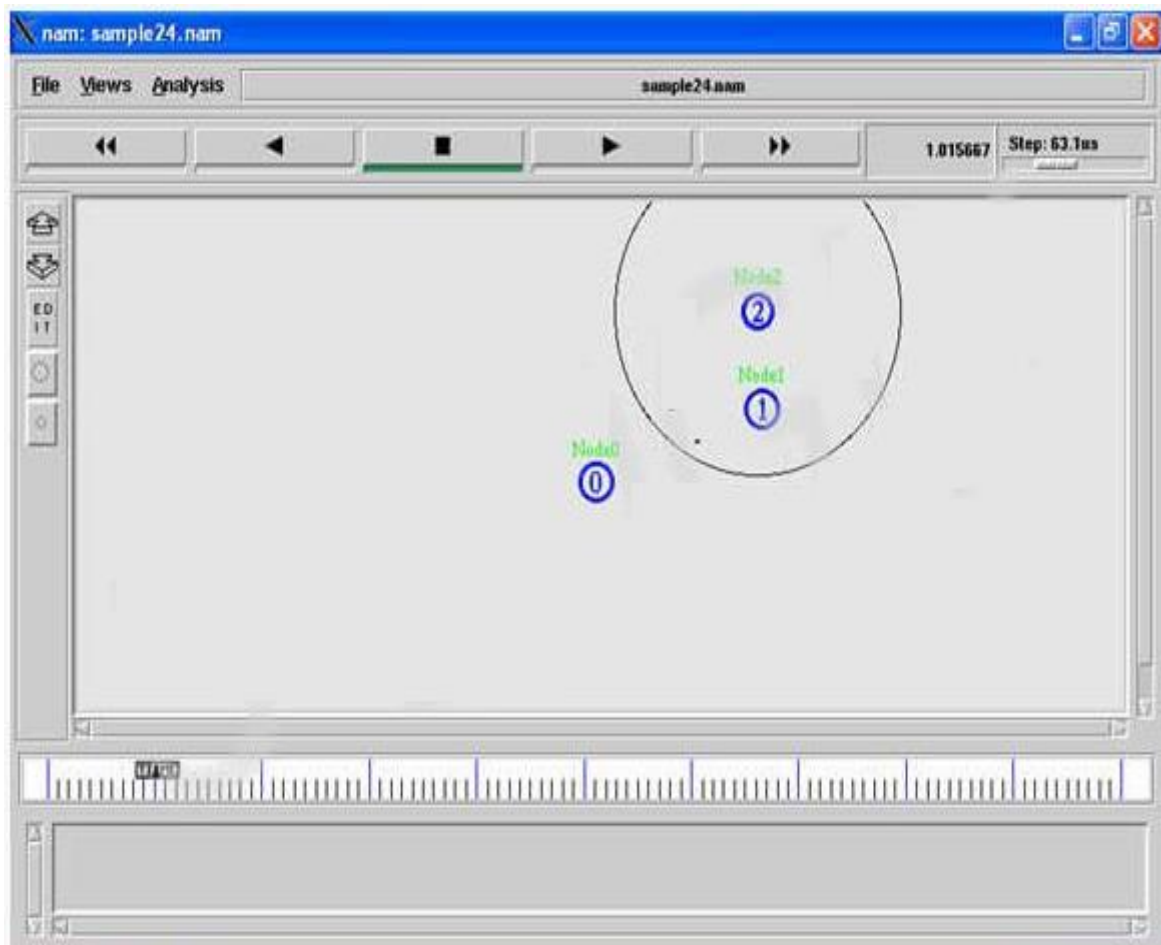
**-llType \$val(ll) **

**-macType \$val(mac) **

```
-ifqType $val(ifq) \  
-ifqLen $val(ifqlen) \  
-antType $val(ant) \  
-propType $val(prop) \  
-phyType $val(netif) \  
-channelType $val(chan) \  
-topoInstance $topo \  
-energyModel $val(energymodel) \  
-initialEnergy 10 \  
-rxPower 0.5 \  
-txPower 1.0 \  
-idlePower 0.0 \  
-sensePower 0.3 \  
-agentTrace ON \  
-routerTrace ON \  
-macTrace OFF \  
-movementTrace ON  
# Node Creation  
  
for {set i 0} {$i < 3} {incr i} {  
  
set energy($i) [expr rand()*500]  
  
$ns node-config -initialEnergy $energy($i) \  
-rxPower 0.5 \  
-txPower 1.0 \  

```

```
-idlePower 0.0 \  
-sensePower 0.3  
set node_($i) [$ns node]  
$node_($i) color black  
}
```



```
energy_file - WordPad
File Edit View Insert Format Help
Residual Energy of node 0 at 0.10000000000000001 = 442.022810
Residual Energy of node 1 at 0.10000000000000001 = 77.370988
Residual Energy of node 2 at 0.10000000000000001 = 374.203281

Residual Energy of node 0 at 1.1000000000000001 = 442.008634
Residual Energy of node 1 at 1.1000000000000001 = 77.355676
Residual Energy of node 2 at 1.1000000000000001 = 374.187969

Residual Energy of node 0 at 2.1000000000000001 = 441.946234
Residual Energy of node 1 at 2.1000000000000001 = 77.278236
Residual Energy of node 2 at 2.1000000000000001 = 374.106529

Residual Energy of node 0 at 3.1000000000000001 = 441.883834
Residual Energy of node 1 at 3.1000000000000001 = 77.192796
Residual Energy of node 2 at 3.1000000000000001 = 374.025089

For Help, press F1
```

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Θεολόγου Μ. Ε., Δίκτυα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών Αθήνα, Μάρτιος 2009, Εκδόσεις ΕΜΠ

Κωττής, Χ. Καψάλης, «Κεραίες και Ασύρματες Ζεύξεις», Εκδόσεις Τζιόλα, Αθήνα 2003.
Andrea Goldsmith, "Wireless Communications", Cambridge University, 2005.

Andrea Goldsmith, "Wireless Communications", Cambridge University, 2005.

Novlan, K.Rele, S.Srikathyayani, Coverage and density study of Wi-Fi in the TV White Spaces, 2010,

Omeni , O.C, Eljamaly (2007) , Energy Efficient Medium Access Protocol for Wireless Medical Body Area Sensor Networks

Boris Bellalta (2016) *IEEE 802.11ax: High-Efficiency WLANs*, Article in IEEE Wireless Communications · December 2015

Conti, Marco (2003) *Body, Personal, and Local Ad Hoc Wireless Networks*, CRC Press < ISBN

Boris Bellalta (2015), *IEEE 802.11ax: High-Efficiency WLANs* Universitat Pompeu Fabra, Barcelona (2015)

I. F. Akyildiz, T. Melodia, and K. R. Chowdhury, "A Survey on Wireless Multimedia Sensor Networks," **Computer Networks (Elsevier)**

Journal vol. 51, no. 4, pp. 921–960, March 2007 [pdf] [bibtex]
ISI Thomson Reuters FAST BREAKING PAPER IN COMPUTER SCIENCE

I. F. Akyildiz, T. Melodia, and K. R. Chowdhury, " *Wireless Multimedia Sensor Networks: Applications and Testbeds*," **Proceedings of the IEEE** Vol. 96, No. 10. (2008), pp. 1588-1605 [pdf]

Κωττής, Χ. Καψάλης, «Κεραίες και Ασύρματες Ζεύξεις», Εκδόσεις Τζιόλα, Αθήνα 2003.
Andrea Goldsmith, "Wireless Communications", Cambridge University, 2005.

Omeni , O.C, Eljamaly (2007) , Energy Efficient Medium Access Protocol for Wirelsss Medical Body Area Sensor Networks

Mit technology review "10 emerging technologies that will change the world"

Jamal N. Al-Karaki and Ahmed E. Kamal, (2004) "Routing Techniques in Wireless Sensor Networks: A Survey",The Hashemite University and The Iowa State University.

Jiangi & Manivannan 2004, Routing protocols for sensor networkiking

N. Noury, T. Herve, V. Rialle et al., "Monitoring behaviour in the home using a smart fall sensor and position sensors," in Proceedings of the 1st Annual International Conference on Microtechnologies in Medicine and Biology, pp. 607–610, 2000.

Gavalas, Mobile network agents for Network monitoring , an application case study 2005

Maxim Batalin, William Kaiser, Richard Pon, Gaurav S. Sukhatme, Gregory Pottie, Yan Yu, Jason Gordon, Mohammad H. Rahimi, and Deborah Estrin, "Task Allocation for Event-Aware Spatiotemporal Sampling of Environmental Variables," In *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 1846-1853, Edmonton, Canada, Aug 2005

Johanson, (2002) B. Johanson. A. Fox. and T. Winograd. "Experiences with Ubiquitous Computing Rooms". *IEEE Pervasive Computing Magazine*, vol. 1(2). pp. 67-74. 2002.
Waltenegus Dargie and Christian Poellabauer," *FUNDAMENTALS OF WIRELESS SENSOR NETWORKS*", John Wiley & Sons, Ltd, pp.25-30, 2010

Gautam , sen (2015) Design and Simulation of Wireless Sensor Network in NS2, *International Journal of Computer Applications (0975 – 8887)* Volume 113 – No. 16, March 2015

Hairong Qi, Feyi Wang (2001)
Optimal Itinerary Analysis for Mobile Agents in Ad Hoc Wireless Sensor Networks

Arathy S.Lal1, Remya Annie Eapen2 (2014) A Review of Mobile Agents in Wireless Sensor Network

Pico 2001, An introduction to Mobile agents

Ichiro Satoh (2007), Mobile Agents

Ian Akyildiz, Weilian Su, Yogesh Sankarasubramanian, Erdal Cayirci, "A Survey on Sensor Network," IEEE Communications Magazines, August, 2002.

K. Akkaya and M. Younis, "An Energy-Aware QoS Routing Protocol for Wireless Sensor Networks," in the Proceedings of the IEEE Workshop on Mobile and Wireless Networks (MWN 2003), Providence, Rhode Island, May 2003.

Alves, M., Koubaa, A., and Tovar, E. (2006) "IEEE 802.15.4: a federating communication protocol for time-sensitive wireless sensor networks,(IPP-hurray) ". Technical report, Polytechnic Institute of Porto (ISEP-IPP)

Akyildiz, I. F., Su, W., Sankarasubramaniam, Y. and Cayirci, E. (2002) Wireless sensor networks: a survey, Computer Networks, 38(4): 393-422

Bougard B., Catthoor F., Daly D.C., Chandrakasan A. and Dehaene W. (2007). Energy efficiency of the IEEE 802.15.4 standard in dense wireless microsensor networks: Modeling and improvement perspectives. CoRR, abs/0710.4732, 2007

Dargie, W. and Poellabauer, C. (2010) Fundamentals of Wireless Sensor Networks: Theory and Practice John Wiley & Sons

Dwivedi, A. K., Tiwari, M. K., Vyas, O. P. (2009) Operating Systems for Tiny Networked Sensors: A Survey, International Journal of Recent Trends in Engineering, Vol. 1, No. 2,

Karl, H. and Willig, (2005) A., Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks. John Wiley & Sons

Sohraby K., Daniel Minoli, Taieb F. Znati, (2007) Wireless sensor networks: technology, protocols, and applications, John Wiley & Sons

Tiwari, N., Ballal, P. and Lewis F. L. (2007) Energy-efficient wireless sensor network design and implementation for condition-based maintenance. ACM Trans. Sen. Netw., 3(1):1

Verdone, R., Dardari, D., Mazzini, G., Conti, A. (2008) *Wireless Sensor and Actuator Networks - Technologies, Analysis and Design*, Academic Press (London)

Chuan Lin and Yanxiang He and Naixue Xiong,(2006), *An Energy-Efficient Dynamic Power Management in Wireless Sensor Networks*, 2006, publisher :IEEE Computer Society

A. Shiozaki,(1986) –Edge extraction using entropy operator||, *Computer, Vision, Graphics, and Image Processing*, vol. 36, no. 1, pp. 1-9.

R.Zilan, Y.M.Erten, (2007), Use of Entropy to Control Coverage and Energy Dissipation in Wireless Sensor Networks, UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA