



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ**  
**ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Προσομοίωση ασύρματων δικτύων αισθητήρων**

**Καραϊσκος Απόστολος**  
**Λαλιώτης Αναστάσιος**

**Υπεύθυνη Καθηγήτρια: Δρ. Αναστασία Ν.Βελώνη, Λέκτορας Εφαρμογών**



## Περίληψη

Τα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων (ΑΔΑ) αποτελούν έναν πολύ σημαντικό ερευνητικό τομέα. Ένα Ασύρματο Δίκτυο Αισθητήρων (ΑΔΑ) είναι ένα σύνολο από διασκορπισμένους αυτόνομους αισθητήρες που έχουν ως κύριο στόχο την παρακολούθηση φυσικών ή περιβαλλοντολογικών συνθηκών. Τα τελευταία χρόνια βάση των ερευνητικών πεδίων χρησιμοποιούνται και σε άλλους σημαντικούς τομείς. Η συγκεκριμένη έρευνα στο θεωρητικό μέρος μελετάει τα βασικά χαρακτηριστικά των εν λόγω δικτύων σε θέματα αρχιτεκτονικής και ασφαλείας και στο ειδικό εστιάζει στο λογισμικό προσομοίωσης.

# Πίνακας Περιεχομένων

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	<b>4</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΟΥ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟΥ ΠΕΛΙΟΥ</b> .....	<b>5</b>
2.1. ΑΝΑΦΟΡΑ ΣΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ .....	5
2.2. ΤΙ ΘΑ ΚΑΝΕΙ Η ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΗ ΕΡΕΥΝΑ .....	6
2.3. ΤΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΘΑ ΑΚΟΛΟΥΘΗΣΕΙ.....	6
2.4. ΠΟΙΑ ΘΑ ΕΙΝΑΙ Η ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ ΤΗΣ ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ .....	6
2.5. ΔΟΜΗ ΕΡΕΥΝΑΣ .....	7
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ</b> .....	<b>9</b>
3.1. ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΤΟ ΑΣΥΡΜΑΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ;.....	9
3.2. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ.....	11
3.3. ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ .....	12
3.4. ΣΤΟΧΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ.....	16
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ</b> .....	<b>19</b>
4.1 ΤΟΠΟΛΟΓΙΑ .....	19
4.2. ΜΟΝΤΕΛΟ OSI .....	21
4.2.2. Επίπεδο Ζεύξης Δεδομένων.....	21
4.2.3. Επίπεδο Δικτύου .....	22
4.2.4. Επίπεδο Μεταφοράς.....	23
4.2.5. Επίπεδο Εφαρμογής.....	23
4.3. ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ.....	24
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ</b> .....	<b>26</b>
5.1. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ .....	26
5.2. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ .....	27
5.3. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΥΓΕΙΑΣ .....	29
5.4. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΚΤΙΡΙΩΝ .....	30
5.5. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΩΝ .....	31
5.6. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ.....	31
5.7. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΡΑΤΟΥ.....	31
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ</b> .....	<b>33</b>
6.1. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ.....	34
6.2. WEP (WIRED EQUIVALENT PRIVACY) .....	35
6.3. WPA (WI-FI PROTECTED ACCESS).....	35
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ</b> .....	<b>36</b>
7.1. ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ; .....	36
7.2. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ.....	37
7.3. ΧΡΗΣΕΙΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ.....	38
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΚΑΙ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ</b> .....	<b>39</b>
8.1. J-SIM .....	39
8.2. MANNASIM .....	41
8.3. NS-3.....	42
8.4. OMNET++ .....	46

8.5. SENSORSIM.....	53
8.6. SQUALNET SI.....	55
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΟΜNeT++ .....</b>	<b>57</b>
9.1. ΑΣΥΡΜΑΤΟ ΔΙΚΤΥΟ 802.11 .....	57
9.2. ΑΣΥΡΜΑΤΟ ΔΙΚΤΥΟ THROUGHPUT.....	60
9.3. ΑΣΥΡΜΑΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ.....	64
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10. ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ ΛΟΓΙΣΜΙΚΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ .....</b>	<b>75</b>
10.1. ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΤΗ .....	75
10.2. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΕΙΣ ΛΟΓΙΣΜΙΚΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ.....	76
10.2.1. Αξιολόγηση NS-3.....	76
10.2.2. Αξιολόγηση OMNeT ++.....	77
10.2.3. Αξιολόγηση J-Sim.....	77
10.2.4. Αξιολόγηση Mannasim.....	78
10.3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ/ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ ΛΟΓΙΣΜΙΚΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ .....	79
10.3.1. Συμπέρασμα Αξιολόγησης/Σύγκρισης OMNeT++ / NS-3.....	79
10.3.2. Συμπέρασμα Αξιολόγησης/Σύγκρισης OMNeT++ / J-Sim .....	79
10.3.3. Συμπέρασμα Αξιολόγησης/Σύγκρισης J-Sim / NS-3.....	80
10.3.4. Συμπέρασμα Αξιολόγησης/Σύγκρισης Mannasim / NS-3.....	81
10.3.5. Συμπέρασμα Αξιολόγησης/Σύγκρισης Mannasim / J-Sim.....	81
10.3.6. Συμπέρασμα Αξιολόγησης/Σύγκρισης Mannasim / OMNeT++ .....	82
10.4. ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ.....	83
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11. ΑΝΟΙΧΤΑ ΘΕΜΑΤΑ, ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ, ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>84</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12. ΕΠΙΛΟΓΟΣ .....</b>	<b>86</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 13. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ / ΠΗΓΕΣ.....</b>	<b>87</b>

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Εισαγωγή

Τις τελευταίες δεκαετίες παρατηρείται μια πολύ σημαντική ανάπτυξη της πληροφορικής με μεγάλη έξαρση στο διαδίκτυο. Λόγω της μεγάλης ανάπτυξης της πλατφόρμας των κινητών συσκευών και την πολύ μεγάλη χρήση τους παρατηρείται η ανάγκη ανάπτυξης ικανών ασύρματων δικτύων.

Το διαδίκτυο αποτελεί μια πολύ μεγάλη καινοτομία στον τομέα της διάδοσης της πληροφορίας. Το διαδίκτυο έχει παγιώσει και αλλάξει τον τρόπο επικοινωνίας και τις αλληλεπιδράσεις των ανθρώπων καθώς επίσης εντάσσει και πλατφόρμες οι οποίες αναπτύχθηκαν με σκοπό την επίτευξη επικοινωνίας ανάμεσα σε ετερογενή συστήματα και δίκτυα. Πλέον στο διαδίκτυο εντάσσονται και πληροφορικά συστήματα που εστιάζουν σε διαφορετικούς τομείς σε σχέση με την αρχική χρήση εφαρμογών του διαδικτύου.

Η αρχική αρχιτεκτονική του διαδικτύου ήταν αποκλειστικά δίκτυα υπολογιστών. Με την εξέλιξη του ενσωματώθηκαν και άλλοι τύποι δικτύων όπως τα σταθερά και κινητά τηλεφωνικά δίκτυα κλπ. Στις μέρες μας το διαδίκτυο συνεχίζει να επεκτείνεται με την ταυτόχρονη εξέλιξη και των υποστηρικτικές τεχνολογιών που έχει. Στο μέλλον, το διαδίκτυο θα εξελιχθεί στον γνωστό όρο Διαδίκτυο των Αντικειμένων με την προσθήκη ενσωματωμένων συστημάτων.

Με την ενσωμάτωσή των πληροφοριακών συστημάτων στο διαδίκτυο ο βασικός τομέας είναι τα ασύρματα δίκτυα οποιαδήποτε πλατφόρμας. Εννοιολογικά το ασύρματο τοπικό δίκτυο ορίζεται ως ένα σύστημα επικοινωνίας μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων ανάμεσα σε σταθερούς ή κινητούς χρήστες. Το αποτέλεσμα είναι η μεταξύ τους διασύνδεση και η ανταλλαγή δεδομένων.

Τα σημερινά ασύρματα δίκτυα εξελίσσονται συνεχώς στις διάφορες κατηγορίες τα οποία εντάσσονται και έχουν την δυνατότητα να μεταφέρουν δεδομένα σε ταχύτητες που ξεπερνούν τα ενσύρματα τοπικά δίκτυα. Το σημαντικό γεγονός που βοηθάει στην συνεχομένη και ραγδαία εξέλιξη τους είναι ότι πλέον τα πληροφοριακά συστήματα εντάσσουν την τεχνολογία των ασύρματων δικτύων κυρίως λόγω του διαδικτύου προσφέροντας νέες υπηρεσίες και νέα καινοτόμα πληροφοριακά συστήματα ειδικά με την χρήση των ασύρματων δικτύων αισθητήρων που πραγματευόμαστε στην συγκεκριμένη εργασία. Η αγορά παρέχει έναν τεράστιο αριθμό από συσκευές ασύρματης επικοινωνίας που βασίζονται σε νέες τεχνολογίες και πρότυπα, χαμηλό κόστος, ικανοποιητική

υπολογιστική ισχύ και ποιότητα υπηρεσιών επιτρέποντάς στην πρόσβαση των πληροφοριακών συστημάτων με αξιόπιστη λειτουργικότητα.

Η συγκεκριμένη εργασία πραγματεύεται τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Τα προσεγγίζει σε θεωρητικό πλαίσιο ως προς την βασική αρχιτεκτονική και λειτουργία τους και εστιάζει κυρίως στα λογισμικά προσομοίωσης τα οποία βοηθούν στην διαδικασία της σωστής σχεδίασης των δικτύων η οποία αποτελεί μια σημαντική αλλά και δύσκολη διαδικασία η οποία παρουσιάζει πολλά προβλήματα λόγω της ιδιαιτερότητας που έχουν.

---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Επισκόπηση του ερευνητικού πεδίου

Σε αυτή την ενότητα γίνεται μια επισκόπηση του ερευνητικού πεδίου σε σχέση με τον τομέα έρευνας της συγκεκριμένης εργασίας.

### 2.1. Αναφορά στο πρόβλημα

Στην σημερινή εποχή η οποία χαρακτηρίζεται από την ανάπτυξη της πληροφορικής και του διαδικτύου σε όλους τους κοινωνικούς τομείς μια βασική εφαρμογή είναι τα ασύρματα δίκτυα και ειδικά τα πιο εξελιγμένα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Η σωστή σχεδίαση των δικτύων ειδικά σε θέματα λειτουργικότητας είναι ο βασικός στόχος των κατασκευαστών λόγω της ιδιαιτερότητας που έχουν όπως για παράδειγμα το περιβάλλον.

Ο βασικός στόχος στην σχεδίαση του δικτύου είναι η δημιουργία μιας κατανεμημένης αρχιτεκτονικής συλλογής δεδομένων σε συνδυασμό με μια οικονομική ενεργειακή στρατηγική για την βιωσιμότητά του δικτύου. Ο τελικός στόχος ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων είναι η εξοικονόμηση ενέργειας σε συνδυασμό με τη λειτουργικότητα του δικτύου.

Η σωστή σχεδίαση των δικτύων αποτελεί μια πολύ δύσκολη διαδικασία και παρουσιάζει πολλά προβλήματα. Λύση σε αυτό το θέμα δίνεται από τα λογισμικά προσομοίωσης δικτύων στα οποία μπορούν να δημιουργηθούν εικονικά διάφορα σενάρια σχεδίων δικτύων με παραμέτρους και μετρήσιμα στοιχεία με αποτέλεσμα την παραγωγή

συγκριτικών αναφορών και την τελική επιλογή του σωστού δικτύου. Η συγκεκριμένη εργασία πραγματοποιείται και κάνει έρευνα στο συγκεκριμένο θέμα δηλαδή την προσομοίωση των ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων.

## **2.2. Τι θα κάνει η συγκεκριμένη έρευνα**

Τα λογισμικά προσομοίωσης επιτρέπουν την εικονική δημιουργία δικτύων και την παραγωγή αναφορών με αποτέλεσμα να λειτουργούν ως συστήματα αποφάσεων. Με την χρήση ενός λογισμικού προσομοίωσης υπάρχει η δυνατότητα να δημιουργηθούν πολλές μορφές δικτύων και βάση κριτηρίων και συγκρίσεων να επιλεγεί το κατάλληλο.

Η συγκεκριμένη έρευνα εστιάζει στην ανάλυση των ασύρματων δικτύων αισθητήρων σε θεωρητικό πλαίσιο και σε τεχνικό κάνει μια συγκριτική μελέτη των λογισμικών δυναμικής προσομοίωσης ασύρματων δικτύων αισθητήρων παρέχοντας παραδείγματα εφαρμογής. Τα λογισμικά προσομοίωσης που αναλύονται είναι: “J-Sim“, “Mannasim“, “NS-3“, “OMNeT++“, “SensorSim“, “SQualnet Si“ και “SSFNet“.

## **2.3. Τι μεθοδολογίες θα ακολουθήσει**

Η βασική μεθοδολογία που θα χρησιμοποιήσει η συγκεκριμένη έρευνα είναι η ανάλυση των χαρακτηριστικών των συγκεκριμένων λογισμικών που θα χρησιμοποιηθούν με παραδείγματα. Από τα επτά λογισμικά που θα εξεταστούν θα γίνει η επιλογή των πιο σημαντικών και θα γίνουν συγκρίσεις μεταξύ τους σε βασικά θέματα προσομοίωσης ως προς το τελικό αποτέλεσμα που είναι η δημιουργία ενός αξιόπιστου δικτύου.

## **2.4. Ποια θα είναι η συνεισφορά της συγκεκριμένης έρευνας**

Ο βασικός σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας είναι η συγκριτική μελέτη των λογισμικών δυναμικής προσομοίωσης ασύρματων δικτύων αισθητήρων. Τα λογισμικά προσομοίωσης που αναλύονται είναι: “J-Sim“, “Mannasim“, “NS-3“, “OMNeT++“, “SensorSim“, “SQualnet Si“ και “SSFNet“.

Τα λογισμικά προσομοίωσης βοηθούν στην διαδικασία της σωστής σχεδίασης των δικτύων η οποία αποτελεί μια πολύ δύσκολη διαδικασία και παρουσιάζει πολλά προβλήματα λόγω της ιδιαιτερότητας που έχουν. Δημιουργώντας εικονικά σενάρια σχεδίων δικτύων με παραμέτρους και μετρήσιμα στοιχεία γίνεται η δημιουργία συγκριτικών αναφορών και την τελική επιλογή του σωστού δικτύου.

Η συγκεκριμένη εργασία πραγματεύεται, αναλύει και συγκρίνει τα λογισμικά προσομοίωσης. Οι συγκρίσεις γίνονται πάνω σε βασικά θέματα αρχιτεκτονικής και σχεδίασης δικτύων. Η τελική συνεισφορά της εργασίας είναι η ανάδειξη των λογισμικών προσομοίωσης για την σχεδίαση των ασυρμάτων δικτύων, τι πλεονεκτήματα έχουν και σε ποια θέματα πρέπει να εστιάζουν οι σχεδιαστές και τέλος την ανάδειξη των πιο ποιοτικών συγκρίσιμων λογισμικών προσομοίωσης σε επίπεδο κατασκευαστή λογισμικού.

## **2.5. Δομή έρευνας**

Η δομή της συγκεκριμένης έρευνας αποτελείται από θεωρητικό και ειδικό μέρος και συγκεκριμένα από δέκα τρία κεφάλαια. Το θεωρητικό μέρος περιλαμβάνει τέσσερα κεφάλαια(3-6) ενώ το ειδικό πέντε(7-11). Πιο αναλυτικά:

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 01**

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια γενική εισαγωγή στην έννοια των ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων.

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 02**

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται η επισκόπηση του ερευνητικού πεδίου. Εστιάζει στην αναφορά του προβλήματος, τι θα κάνει η συγκεκριμένη έρευνα, τι μεθοδολογίες θα ακολουθήσει, ποια θα είναι η συνεισφορά της συγκεκριμένης έρευνας καθώς και την περιγραφή της δομής της έρευνας.

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 03**

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται μια ανάλυση των ασύρματων δικτύων αισθητήρων. Αναλύονται σημαντικά θέματα σχετικά με την λειτουργία και τον σχεδιασμό, χαρακτηριστικά, σχεδιαστικές απαιτήσεις και τους στόχους σχεδιασμού, πλεονεκτήματα, μειονεκτήματα κλπ.

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 04**



Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται μια ανάλυση της αρχιτεκτονικής των ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων. Αναλύονται οι λειτουργίες σε Φυσικό Επίπεδο, Επίπεδο Ζεύξης Δεδομένων, Επίπεδο Δικτύου, Επίπεδο Μεταφοράς και Επίπεδο Εφαρμογής.

#### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 05**

Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται μια συνοπτική αναφορά στις εφαρμογές των ασύρματων δικτύων αισθητήρων. Συγκεκριμένα σε τομείς όπως είναι οι Εμπορικές Εφαρμογές, Οικιακές Εφαρμογές, Εφαρμογές Υγείας, Περιβαλλοντολογικές Εφαρμογές και Στρατιωτικές Εφαρμογές.

#### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 06**

Στο έκτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά σχετικά με την ασφάλεια των ασυρμάτων δικτύων. Αναλύονται θέματα σχετικά με την διαδικασία πρόσβασης, WEP (Wired Equivalent Privacy) και WPA (Wi-Fi Protected Access) και WPA 2 (Wi-Fi Protected Access version 2).

#### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 07**

Στο έβδομο κεφάλαιο γίνεται η ανάλυση της προσομοίωση ασύρματων δικτύων. Συγκεκριμένα αναφορά σε θέματα σχετικά με την προσομοίωση ασύρματων δικτύων, την λειτουργία της προσομοίωσης ασύρματων δικτύων και τις χρήσεις προσομοίωσης των ασύρματων δικτύων.

#### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 08**

Στο όγδοο κεφάλαιο γίνεται η αναφορά σχετικά με το λογισμικό προσομοίωσης των ασυρμάτων δικτύων. Συγκεκριμένα αναλύονται τα λογισμικά “J-Sim”, “Mannasim”, “NS-3”, “OMNeT++”, “SensorSim”, και “SQualnet Si” καθώς και αναφορά σε παραδείγματα των ανωτέρων λογισμικών προσομοίωσης.

#### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 09**

Στο ένατο κεφάλαιο γίνεται η αναφορά σε παραδείγματα λογισμικών προσομοίωσης με χρήση OMNeT++ για ασύρματα δίκτυα και ασύρματα δίκτυα αισθητήρων.

#### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10**

Στο δέκατο κεφάλαιο γίνεται η σύγκριση των λογισμικών προσομοίωσης. Η σύγκριση αφορά τα λογισμικά προσομοίωσης NS-3, OMNeT ++, J-Sim και Mannasim.

#### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11**

Στο εντέκατο κεφάλαιο γίνεται η συνολική αποτίμηση της έρευνας. Αναφορά σε ανοιχτά θέματα, προκλήσεις, μελλοντική έρευνα και τα συμπεράσματα που προέκυψαν στην διαχείριση ασφαλείας των πληροφοριακών συστημάτων.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12**

Στο δωδέκατο κεφάλαιο γίνεται ο επίλογος της συγκεκριμένης έρευνας αποτιμώντας τα αποτελέσματα και περνώντας την τελική θέση επί της έρευνας.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 13**

Στο δέκατο τρίτο κεφάλαιο γίνεται η καταγραφή των βιβλιογραφικών αναφορών στις οποίες στηρίχτηκε η συγκεκριμένη έρευνα με χρήση ελληνόγλωσσας και ξενόγλωσσας βιβλιογραφίας, αρθρογραφίας, έντυπων και ηλεκτρονικών πηγών.

---

# ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων

### 3.1. Τι είναι το Ασύρματο Δίκτυο Αισθητήρων;

Τα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων (ΑΔΑ) είναι ασύρματα δίκτυα τα οποία αποτελούνται από συσκευές οι οποίες είναι καταναμημένες στο χώρο. Οι συγκεκριμένες συσκευές ονομάζονται κόμβοι του δικτύου και είναι εξοπλισμένες με αισθητήρες μέσω των οποίων παρακολουθούν το φυσικό τους περιβάλλον και παρέχουν δεδομένα για αυτό. Το δίκτυο αποτελεί ένα σύνολο από διασκορπισμένους αυτόνομους αισθητήρες που έχουν ως κύριο στόχο την παρακολούθηση φυσικών ή περιβαλλοντολογικών συνθηκών. Το δίκτυο αισθητήρων αποτελείται από εκατοντάδες ή χιλιάδες κόμβους, καθένας από τους οποίους συνδέεται με έναν ή και περισσότερους αισθητήρες. Κλασικά παραδείγματα που παρακολουθούν οι αισθητήρες είναι η θερμοκρασία, η πίεση, η ηλεκτρική τάση ή πιο σύνθετα όπως η περιεκτικότητα του περιβάλλοντος αέρα κλπ. (Κίκιρας, 2008)

Ο κάθε αυτόνομος κόμβος του δικτύου αισθητήρων αποτελείται από:

- ένα ράδιο-πομποδέκτη με μια εσωτερική κεραία ή μια σύνδεση με μια εξωτερική κεραία
- έναν μικρό-ελεγκτή
- ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα για την διασύνδεση με τους αισθητήρες
- μια πηγή ενέργειας (μια μπαταρία ή μια ενσωματωμένη μορφή συγκομιδής ενέργειας)

Βασικά χαρακτηριστικά του κάθε κόμβου είναι το μέγεθος και το κόστος που ποικίλει. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να υπάρχουν περιορισμοί σε πόρους δηλαδή σε ενέργεια, μνήμη, υπολογιστική ταχύτητα και στο εύρος ζώνης των επικοινωνιών. Το δίκτυο είναι ικανό να δίνει αλλά και να δέχεται πληροφορίες με αποτέλεσμα να ελέγχει την δραστηριότητα των αισθητήρων. (Κίικρας, 2008)

Ιστορικά, τα δίκτυα αισθητήρων στην αρχική τους υλοποίηση δημιουργήθηκαν ώστε να εξυπηρετήσουν στρατιωτικούς σκοπούς και συγκεκριμένα την παρακολούθηση των πεδίων μάχης. Στην σημερινή εποχή τα δίκτυα αισθητήρων εντάσσονται σε πολλά ερευνητικά πεδία και συγκεκριμένα σε πολλές καταναλωτικές και βιομηχανικές εφαρμογές, Κλασικά παραδείγματα αποτελούν η παρακολούθηση και ο έλεγχος της βιομηχανικής παραγωγής, εφαρμογές σχετικά με την ιατρική κλπ.

Στις μέρες μας, μια εποχή η οποία χαρακτηρίζεται από την πληροφορική και το διαδίκτυο τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων αποτελούν μια συνεχώς αναπτυσσόμενη και εξελισσόμενη τεχνολογία η οποία έχει αλλάξει τον τρόπο με τον οποίο ο άνθρωπος αντιλαμβάνεται το περιβάλλον. Αξιοσημείωτο γεγονός είναι ότι αντίθετα με τα συμβατικά ασύρματα δίκτυα τα δίκτυα αισθητήρων έχουν σχεδιαστεί για να λειτουργούν χωρίς επιτήρηση για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Σε αυτό το χρονικό διάστημα χρησιμοποιούν την υπάρχουσα πηγή ενέργειάς τους κυρίως ανανεώσιμη αφού είναι συνήθως δύσκολο να αντικατασταθεί ή να επαναφορτιστεί. Επομένως το βασικό ζήτημα στην αρχιτεκτονική και σχεδίαση τους είναι η ελαχιστοποίηση της ενέργειας που καταναλώνεται. (Akyildiz, 2004)

Ο βασικός στόχος στην σχεδίαση του δικτύου είναι η δημιουργία μιας κατανεμημένης διαδικασίας συλλογής δεδομένων σε συνδυασμό με μια οικονομική ενεργειακή πολιτική βιώσιμης λειτουργίας του δικτύου. Πρέπει να υπάρχουν ενεργειακά οφέλη, εφαρμογή περιοδικών καταστάσεων μη χρήσης στους κόμβους για μείωση της κατανάλωσης ενέργειας στο δίκτυο. Σε αυτήν την περίπτωση πρέπει να ληφθούν υπόψιν οι χρονικοί περιορισμοί καθυστέρησης παραλαβής πακέτων σε συνάρτηση με την προσωρινή παύση λειτουργίας των κόμβων. Ο απώτερος επιθυμητός στόχος ενός ασύρματου δικτύου

αισθητήρων είναι η σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας χωρίς όμως να χάσει τον βαθμό αξιοπιστίας και λειτουργικότητας του δικτύου. (Akyildiz, 2004)

### 3.2. Χαρακτηριστικά

Ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων αποτελείται από κόμβους. Σήμερα με την ανάπτυξη της μικροηλεκτρονικής έχουν δημιουργηθεί κόμβοι με μικρό μέγεθος και χαμηλό κόστος. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων να είναι ευέλικτα στον σχεδιασμό τους με πληθώρα σημαντικών χαρακτηριστικών:

1. Ο κόμβος του δικτύου είναι μικρός σε μέγεθος, έχει αυτονομία με μικρή επεξεργαστική ισχύ και μνήμη.
2. Η βασική αρχιτεκτονική του κόμβου είναι τα κυκλώματα των αισθητήρων, ο πομποδέκτης, ο μικρό-ελεγκτής και η πηγή ενέργειας.
3. Διαφοροποίηση έγκειται στην πηγή ενέργειας η οποία μπορεί να είναι στατική (μπαταρία) ή ανανεώσιμη (με τροφοδότησή από τον ήλιο).
4. Η θέση των κόμβων μπορεί να είναι στατική με ακίνητους αισθητήρες ή να αλλάζει δυναμικά.
5. Ο κάθε κόμβος δημιουργεί ένα αυτόνομο ασύρματο δίκτυο με αλλαγή τοπολογίας λόγω κίνησης ή αστοχίας του κόμβου.
6. Ο κάθε κόμβος στο δίκτυο μεταδίδει με αρχιτεκτονική ένας-προς-όλους σε αντίθεση με τα κλασικά δίκτυα που μεταδίδουν με αρχιτεκτονική ένας-προς-έναν.
7. Ο κάθε κόμβος λειτουργεί αυτόνομα και πρέπει να προσαρμόζεται στις περιβαλλοντολογικές συνθήκες με ισχυρή πηγή ενέργειας για την βιωσιμότητα του.
8. Το δίκτυο πρέπει να είναι στιβαρό και ανεκτικό σε μεταβολές των περιβαλλοντολογικών συνθηκών.
9. Το δίκτυο πρέπει να είναι στιβαρό και ανεκτικό σε μεταβολές που οφείλονται σε αστοχία του δικτύου.
10. Επειδή το δίκτυο περιλαμβάνει μεγάλο αριθμό κόμβων, βασικό μέλημα των σχεδιαστών είναι το μικρό κόστος των υλικών.
11. Το δίκτυο έχει σαν βασικό στόχο την συλλογή και επεξεργασία των δεδομένων και την αποστολή τους σε σταθμό βάσης.

12. Το δίκτυο έχει σαν βασικό στόχο την επεξεργασία των δεδομένων και την αποστολή των αποτελεσμάτων μειώνοντας την κίνηση στο δίκτυο με αποτέλεσμα την καλύτερη απόδοση του δικτύου.
13. Ο σταθμός βάσης ο οποίος δέχεται τα αποτελέσματα προβαίνει σε επιμέρους επεξεργασία σαν πληροφοριακό σύστημα και την τελική τροφοδότηση μέσω δικτύου στους τελικούς αποδέκτες. (Fasolo, Rossi, Widmer and Zorzi, 2007)

### 3.3. Σχεδιαστικές Απαιτήσεις

Στην συγκεκριμένη ενότητα θα γίνει μια ανάλυση των σχεδιαστικών απαιτήσεων που πρέπει να υπάρχουν στην δημιουργία ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων. Η ανάλυση και καταγραφή των απαιτήσεων είναι πολύ σημαντική και αποτελεί τον βασικό στόχο των λογισμικών προσομοίωσης που πραγματεύεται η συγκεκριμένη εργασία.

Για τον καθορισμό των απαιτήσεων πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν τα χαρακτηριστικά των ασύρματων δικτύων αισθητήρων σε συνδυασμό με τις απαιτήσεις των πληροφοριακών συστημάτων προς υλοποίηση. Ο σκοπός της συγκεκριμένης καταγραφής είναι να αποτελέσει μια καταγραφή για τον σχεδιασμό των νέων συστημάτων και να διευκολύνουν την σύγκριση μεταξύ διαφορετικών υλοποιήσεων. Αναλυτικά οι σχεδιαστικές απαιτήσεις είναι:

#### **Σχεδιαστική Απαίτηση: Χαμηλό Κόστος Δικτύου:**

Η πιο βασική σχεδιαστική απαίτηση είναι το χαμηλό κόστος παραγωγής του δικτύου. Η συγκεκριμένη σχεδιαστική απαίτησή έχει ιδιαίτερη βαρύτητα ειδικά στην περίπτωση των ασύρματων δικτύων αισθητήρων λόγω της ιδιαιτερότητας που έχουν. Ένα δίκτυο αισθητήρων αποτελείται από χιλιάδες κόμβους οι οποίοι τοποθετούνται σε δύσβατες γεωγραφικές περιοχές. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα πολλές φορές να μην είναι δυνατή η επανάκτησή τους. (Sohraby, Minoli and Znati, 2007)

Επομένως ο σκοπός στην σχεδίαση του ασύρματου δικτύου αισθητήρων είναι το κόστος του κάθε κόμβου να είναι χαμηλό. Σήμερα οι κατασκευαστές έχουν καταφέρει να έχουν περιορίσει κατά πολύ το κόστος του κάθε κόμβου. Οι σχεδιαστές των δικτύων πρέπει να έχουν ως γνώμονα ότι η τελική υλοποίηση του σχεδιασμού του δικτύου να είναι οικονομικά βιώσιμη.

#### **Σχεδιαστική Απαίτηση: Περιορισμοί Υλικού:**

Όπως αναφέραμε σχετικά με τα χαρακτηριστικά των κόμβων του ασύρματου δικτύου αισθητήρων, ο κόμβος απαρτίζεται από τέσσερα βασικά δομικά στοιχεία: την μονάδα δειγματοληψίας με τα κυκλώματα των αισθητήρων, τον πομποδέκτη, την μονάδα επεξεργασίας και την πηγή ενέργειας η οποία είναι στατική η ανανεώσιμη.

Κατά κόρον οι αισθητήρες της μονάδας δειγματοληψίας παράγουν αναλογικά σήματα και με την χρήση μετατροπένων αναλογικού σε ψηφιακό σήμα γίνεται η μετατροπή των πληροφοριών σε ψηφιακή μορφή την οποία δέχεται η μονάδα επεξεργασίας η οποία συντονίζει τις μονάδες και εκτελεί το λογισμικό. Σε αυτό το σημείο να επαναλάβουμε ότι για την μείωση τη κίνησης του δικτύου και την καλύτερη απόδοση η μονάδα επεξεργασίας επεξεργάζεται τα αναλυτικά δεδομένα και παράγει σωρευτικά δεδομένα τα οποία τα αποστέλλει στην βάση του δικτύου για διοχέτευση και επιμέρους επεξεργασία από το πληροφοριακό σύστημά. (Sohraby, Minoli and Znati, 2007)

Επομένως, γίνεται αντιληπτό ότι ο εκάστοτε κόμβος του δικτύου πρέπει να έχει χαμηλό κόστος, να είναι ευέλικτος κυρίως στην προσαρμογή του στις περιβαλλοντολογικές συνθήκες στο γεωγραφικό μέρος που έχει τοποθετηθεί, να έχει περιορισμένο μέγεθος και να είναι βιώσιμος ενεργειακά.

#### **Σχεδιαστική Απαίτηση: Ανοχή σε Αστοχία:**

Ειδικά στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων λόγο της ιδιαιτερότητας που έχουν μια σημαντική σχεδιαστική απαίτησή αποτελεί η ανοχή του δικτύου σε αστοχία. Σε ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων η επικοινωνία των κόμβων γίνεται ασύρματα. Λόγω των ιδιαίτερων περιβαλλοντολογικών συνθηκών στο γεωγραφικό μέρος που έχουν τοποθετηθεί η διακοπή της επικοινωνίας μεταξύ κάποιων από αυτούς είναι πολύ πιθανή. Επομένως, πρέπει να υπάρχει διαδικασία ανάκτησης λειτουργίας του προβληματικού κόμβου και στην περίπτωση που ο κόμβος είναι εκτός λειτουργίας πρέπει να υπάρχει αντικατάσταση του κόμβου με συνέπεια την εύρυθμη λειτουργία του δικτύου. (Lewis, 2004)

#### **Σχεδιαστική Απαίτηση: Μείωση Κατανάλωσης Ενέργειας:**

Σε όλα τα ασύρματα δίκτυα η βασική σχεδιαστική απαίτηση είναι η μείωση της κατανάλωσης της ενέργειας. Η συγκεκριμένη απαίτηση είναι ιδιαίτερη σημαντική ειδικά σε κόμβους δικτύου οι οποίοι τροφοδοτούνται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αλλά και στην περίπτωση των στατικών πηγών ενέργειας ειδικά στις περιπτώσεις των κόμβων-αισθητήρων οι οποίοι είναι απομονωμένοι σε δύσβατες γεωγραφικές περιοχές. Σχετικά με θέματα αρχιτεκτονικής το μεγαλύτερο μέρος κατανάλωσης ενέργειας σε έναν κόμβο γίνεται συνήθως στον πομποδέκτη του κατά την διάρκεια της επικοινωνίας του με τους κοντινούς κόμβους για την μεταφορά των δεδομένων που έχει. Όπως προείπαμε τα ασύρματα

δίκτυα αισθητήρων έχουν σαν λειτουργία την επικοινωνία ένας-προς-όλους και όχι το κλειδίμα ένας-προς-έναν για να επιτευχθεί η ομαλή και αδιάλειπτη λειτουργία του δικτύου. Οι κατασκευαστές έχουν επικεντρώσει την ερεύνα τους στην κατασκευή πρωτοκόλλων και αλγορίθμων που θα ελαχιστοποιούν τον χρόνο λειτουργίας του πομποδέκτη με σκοπό την μείωση της κατανάλωσης. (Sohraby, Minoli and Znati, 2007)

Ο στόχος της μείωσης της κατανάλωσης της πηγής ενέργειας καθορίζει και τον τρόπο παροχής ενέργειας στα υποσυστήματά του. Στην περίπτωση όπου η πηγή ενέργειας είναι καθορισμένη και ανανεώνεται (στατική πηγή – μπαταρία) είναι προβλέψιμη η βιωσιμότητα του κόμβου ανεξαρτήτως πολιτικής μείωσης της κατανάλωσης. Στην περίπτωση όπου η πηγή ενέργειας είναι ανανεώσιμη δεν υπάρχει αξιόπιστη πρόβλεψη αλλά μέση πρόβλεψη διότι επηρεάζεται από τις περιβαλλοντολογικές συνθήκες που επικρατούν. Επομένως ο κόμβος πρέπει να κάνει την καλύτερη διαχείριση της ενέργειάς του με σκοπό την επιμήκυνση του χρόνου ζωής του. (Sohraby, Minoli and Znati, 2007)

#### **Σχεδιαστική Απαίτηση: Δυναμική Τοπολογία Δικτύου:**

Μια αξιοσημείωτη σχεδιαστική απαίτηση για τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων είναι η δυναμική τοπολογία του δικτύου. Όπως αναφέραμε αναλυτικά πολλές φορές σχετικά με την λειτουργία των κόμβων η τοπολογία του δικτύου αλλάζει δυναμικά με αποτέλεσμα να απαιτείται δυναμική νέα οργάνωση του δικτύου. Αυτό οφείλεται λόγω μετακίνησης των κόμβων, απώλειας ενέργειας και άλλες διαδικασίες που επιτελούνται κατά τη λειτουργία του δικτύου. Επομένως, κατά την σχεδίαση του δικτύου πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν ο πολύ καλός σχεδιασμός ο οποίος θα προβλέπει και θα αντιμετωπίζει τις αναδιοργανώσεις του δικτύου με σκοπό την άμεση αποκατάσταση, αξιόπιστη και εύρυθμη λειτουργία του δικτύου. (Sohraby, Minoli and Znati, 2007)

#### **Σχεδιαστική Απαίτηση: Μέσο μετάδοσης:**

Το μέσο μετάδοσης αποτελεί ένα από τα βασικά δομικά στοιχεία ενός δικτύου. Στην περίπτωση των ασυρμάτων δικτύων η ασύρματη επικοινωνία είναι οι υπέρυθρες ακτίνες και οι ραδιοσυχνότητες. Βασικό χαρακτηριστικό αποτελεί η οπτική επαφή μεταξύ των κόμβων στη περίπτωση των υπέρυθρων ακτινών. Επίσης σχετικά με τις ραδιοσυχνότητες βασίζονται τα ευρέως γνωστά πρότυπα ασύρματης επικοινωνίας (IEEE 802.15.1), Wi-Fi (IEEE 802.11) και ZigBee (IEEE 802.15.4). (Heile, 2004)

Τα ασύρματα δίκτυα και ειδικά τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων τις τελευταίες δεκαετίες έχουν αποδέκτες πολλές εφαρμογές και την υλοποίηση πολλών πληροφοριακών συστημάτων. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την συνεχή και ραγδαία ανάπτυξη τους από τους κατασκευαστές με την καλύτερευση των υπαρχόντων πρωτοκόλλων και την δημιουργία

νέων πρωτοκόλλων εστιάζοντας όπως έχουμε αναφέρει στα θέματα μείωσης της κατανάλωσης της ενέργειας η οποία αποτελεί το βασικό δομικό στοιχείο λειτουργία των δικτύων. (Sharma, 2009)

### **Σχεδιαστική Απαίτηση: Αξιοπιστία Υπηρεσιών:**

Όπως σε κάθε πληροφοριακό σύστημα έτσι και στα δίκτυα ο απώτερος στόχος ανεξαρτήτως απόδοσης του συστήματος είναι η αξιοπιστία. Η χαμηλή απόδοση του συστήματος μπορεί να είναι αποδεκτή από τους χρήστες η αναξιοπιστία όμως όχι διότι προκαλεί προβλήματα στην λειτουργικότητα του συστήματος.

Στην περίπτωση των ασύρματων δικτύων η αξιοπιστία εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως είναι το ποσοστό των χαμένων πακέτων, η μέση καθυστέρηση του πακέτου, η μέγιστη καθυστέρηση πακέτου, ο ρυθμός μετάδοσης κλπ. Για τα ασύρματα δίκτυα ο πρωταρχικός σκοπός είναι η διασφάλιση όλων των πακέτων και ειδικά μετά από τις πιθανές αστοχίες των κόμβων και η μετάδοσή τους στον τελικό παραλήπτη.

Σχετικά με την αρχιτεκτονική των ασύρματων δικτύων αισθητήρων υπάρχουν δυο βασικοί παράγοντες που επιδρούν στην παρεχόμενη ποιότητα των αξιόπιστων υπηρεσιών του δικτύου. Ο πρώτος παράγοντας αφορά την λειτουργία ένας-προς-πολλούς κόμβους που εξασφαλίζει την χωρική πυκνότητα των κόμβων η οποία είναι συνήθως μεγάλη και προσφέρει επιπλέον αξιοπιστία, από τη άλλη όμως επειδή η πλειοψηφία των κόμβων δεν επικοινωνούν απευθείας με τον κόμβο προορισμού να μην αυξάνει την πιθανότητα επιτυχούς μετάδοσης αλλά παρατηρείται και καθυστέρηση του πακέτου αφού αυτό πρέπει να περάσει από πολλούς σταθμούς. (Sohraby, Minoli and Znati, 2007)

Επομένως ο βασικός στόχος είναι ο πλήρης συγχρονισμός των κόμβων του δικτύου με τα πακέτα που μεταφέρονται αφού παρατηρούνται καταστάσεις όπου για μικρό χρονικό διάστημα τα δεδομένα που διαθέτει ο σταθμός βάσης να μην είναι τα αληθινά της τρέχουσας κατάστασης του δικτύου.

### **Σχεδιαστική Απαίτηση: Κλιμάκωση Δικτύου:**

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων χαρακτηρίζονται από την μεγάλη πυκνότητα που έχουν σε κόμβους. Εφαρμόζονται λειτουργίες δυναμικής αλλαγής τοπολογίας, ανακατανομές κόμβων δικτύου που έχουν σαν αποτέλεσμα ότι τα πρωτόκολλα και οι αλγόριθμοι πρέπει να μπορούν να αντιμετωπίσουν τέτοιες καταστάσεις. Επομένως μια βασική διαδικασία είναι ότι το δίκτυο πρέπει πάντα να προσαρμόζεται είναι η κλιμάκωση του. Το δίκτυο πρέπει με κάθε τρόπο να εκμεταλλεύεται την υψηλή πυκνότητα κόμβων με σκοπό την επίτευξη των λειτουργιών του. (Sharma, 2009)



Μια τεχνική που μπορεί να χρησιμοποιήσει το δίκτυο είναι ο διαμοιρασμός των πόρων του δικτύου με λογικές μετρήσεων των γειτονικών κόμβων. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ότι η κατανάλωση ενέργειας των κόμβων που βρίσκονται σε πολύ κοντινή απόσταση μπορεί να μειωθεί με την ενεργοποίησή τους για μικρό χρονικό διάστημα. (Sharma, 2009)

### **Σχεδιαστική Απαίτηση: Ασφάλεια Δεδομένων:**

Μετά την αξιοπιστία και την απόδοση ενός δικτύου, η πιο σημαντική διαδικασία είναι η ασφάλεια των δεδομένων που μεταφέρονται. Αυτό έχει ιδιαίτερη βαρύτητα ειδικά στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων όπου υπάρχει μεγάλη πυκνότητα κόμβων και μεγάλη επικοινωνία μεταξύ τους. Τα θέματα ασφάλειας είναι πολύ σημαντικά για τα δίκτυα αισθητήρων διότι στο μεγαλύτερο τους ποσοστό εφαρμόζονται σε πληροφοριακά συστήματα τα οποία διαχειρίζονται δεδομένα υγείας και στρατιωτικά δεδομένα. Η βασική αρχή που διέπει την μεταφορά των δεδομένων μέσω των δικτύων είναι ότι δεν πρέπει να υπάρχει μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση και παραποίηση. Επίσης πρέπει να αναφερθεί ότι στον συγκεκριμένο τύπο δικτύων η κλασική πρακτική της κρυπτογράφησης είναι δύσκολο να εφαρμοσθεί λόγω των περιορισμένων ενεργειακών πόρων και της δυναμικής αρχιτεκτονικής τους. (Perrig, 2004)

### **3.4. Στόχοι Σχεδιασμού**

Στην προηγούμενη ενότητα έγινε μια συνοπτική αναφορά σε βασικά θέματα απαιτήσεων σχεδίασης για τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Σε αυτή την ενότητα θα γίνει μια συνοπτική αναφορά στους βασικούς στόχους που πρέπει να πληροί ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων.

Ξεκινώντας πρέπει να αποσαφηνιστεί ότι η κατηγορία των ασύρματων δικτύων αισθητήρων έχει πολλές διαφοροποιήσεις σε σχέση με τις άλλες κατηγορίες των ασύρματων δικτύων. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την διαφοροποίηση των σχεδιαστικών απαιτήσεων και στόχων ως προς το λειτουργικό σκέλος. Επίσης πρέπει να τονιστεί ότι όπως στην υλοποίηση κάθε πληροφοριακού συστήματος έτσι και στην υλοποίηση ενός δικτύου οι απαιτήσεις και οι στόχοι εξαρτώνται πάντα από τις επιχειρησιακές προδιαγραφές που τίθενται. Αναλυτικά οι στόχοι είναι:

#### **Στόχος: Αξιοπιστία:**

Η αξιοπιστία είναι ο βασικός στόχος του κάθε πληροφοριακού συστήματος. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να διαπεραιώνει τις λειτουργίες που επιτελεί. Η αξιολόγηση κάθε συστήματος

είναι η βασική διαδικασία που εστιάζεται, άλλα θέματα όπως είναι η απόδοση μπορούν να παρακαμφθούν.

#### **Στόχος: Βέλτιστη Χρήση Πόρων:**

Όπως αναφέρθηκε στις απαιτήσεις σχεδίασης το χαμηλό κόστος παραγωγής των κόμβων είναι αναγκαίο. Αυτό έχει σαν μειονέκτημα πολλούς περιορισμούς στην λειτουργία του δικτύου σχετικά με την εκμετάλλευση της πληρότητας του κόμβου. Επομένως ο βασικός στόχος είναι η σχεδίαση του δικτύου με την βέλτιστη χρήση των πόρων του υλικού.

Ένας κόμβος έχει το βασικό χαρακτηριστικό να έχει περιορισμένη επεξεργαστική ισχύ και ενέργεια. Το λογισμικό που εκτελείται για θέματα δρομολόγησης, μεταφοράς και άλλων σημαντικών διαδικασιών που αναφέρθηκαν θα πρέπει να έχουν την μικρότερη καταπόνηση του κόμβου. (Sohraby, Minoli and Znati, 2007)

#### **Στόχος: Αναγνώριση και Διόρθωση Σφαλμάτων:**

Όπως σε όλα τα δίκτυα η αναγνώριση και διόρθωση των σφαλμάτων αποτελεί μία πολύ σημαντική διαδικασία για την αποκατάσταση της αστοχίας του κόμβου, την επαναφορά και τη συνεχή και αδιάλειπτη αξιόπιστη λειτουργία του δικτύου. Οι κόμβοι επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω ασύρματης επικοινωνίας και μέσω ενός χρονικά μεταβαλλόμενου καναλιού. Οι κόμβοι πρέπει να χρησιμοποιούν πρωτόκολλα και αλγόριθμους που θα εντοπίζουν και θα διορθώνουν τα σφάλματα μετάδοσης που εμφανίζονται. (Sohraby, Minoli and Znati, 2007)

#### **Στόχος: Ενεργειακή Πολιτική:**

Όπως έχει αναφερθεί η βελτιστοποίηση υλικού και του λογισμικού μειώνει την κατανάλωση ενέργειας σε έναν κόμβο. Όμως ο πομποδέκτης δηλαδή το κύκλωμα αποστολής και λήψης είναι αυτό που καταναλώνει την μεγαλύτερη ποσότητα ενέργειας και εκεί έχει επικεντρωθεί η έρευνα των κατασκευαστών.

Επομένως ο βασικός στόχος είναι η μείωση λειτουργίας του πομποδέκτη για την εξασφάλιση μεγαλύτερης ποσότητας ενέργειας στο κόμβο. Αυτό μπορεί να γίνει με πρωτόκολλα τα οποία εξασφαλίζουν την ομαλή μετάδοση των πακέτων με την ενεργοποίηση των κόμβων όταν χρειάζεται με τεχνικές ελέγχου των πόρων του δικτύου.

#### **Στόχος: Προσαρμοστικότητα Δικτύου:**

Ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων έχει σαν βασικό χαρακτηριστικό λειτουργίας την δυναμική αλλαγή της τοπολογίας του. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ότι ο κάθε κόμβος πρέπει να είναι συνεχώς ενήμερος για την κατάσταση του δικτύου και να αλλάζει την τοπολογία του ανάλογα με αυτή.

Η προσαρμοστικότητα είναι μια απλή διαδικασία στην περίπτωση που υπάρχει ένας κεντρικός σταθμός ελέγχου, ο οποίος συσσωρεύει όλες τις πληροφορίες και δημιουργεί όλες τις νέες δρομολογήσεις δηλαδή τα ονομαζόμενα μονοπάτια του δικτύου. Στην περίπτωση όμως που δεν υπάρχει κεντρικός σταθμός υπάρχει μια πολυπλοκότητα διότι ο κάθε κόμβος ο οποίος εκπέμπει σε τακτά χρονικά διαστήματα ένα πακέτο αναγνώρισης πρέπει να παραλαμβάνεται από τους γειτονικούς κόμβους ώστε αυτοί να είναι ενήμεροι ότι ο κόμβος-αποστολέας βρίσκεται σε φυσιολογική λειτουργία. Στην περίπτωση που για κάποιο χρονικό διάστημα ένας κόμβος δεν έχει αποστείλει πακέτο θεωρείται ότι βρίσκεται εκτός του δικτύου με αποτέλεσμα οι γειτονικοί σταθμοί να δημιουργούν νέα μονοπάτια δρομολόγησής. (Sharma, 2009)

Επομένως, ο βασικός στόχος είναι η προσαρμοστικότητα που πρέπει να υπάρχει στις συνεχείς και δυναμικές αλλαγές της τοπολογίας του δικτύου. Η τοπολογία του δικτύου αποτελεί το βασικό δομικό στοιχείο της ομαλής λειτουργίας του.

#### **Στόχος: Πρωτόκολλα και Αλγόριθμοι:**

Συνέχεια του στόχου της προσαρμοστικότητας λόγω της δυναμικής αλλαγής των τοπολογιών στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων είναι και η προσαρμοστικότητα και ευελιξία που πρέπει να έχουν τα πρωτόκολλα και το λογισμικό με τους αλγόριθμους που χρησιμοποιούν σε σχέση με την ανακατανομή του δικτύου, την αύξηση του φόρτου, την διαχείριση της ενέργειας, την αποστολή των δεδομένων και άλλες σημαντικές λειτουργικές διαδικασίες του δικτύου. Επομένως τα πρωτόκολλα που διαχειρίζονται την κίνηση των πακέτων πρέπει να είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε να παρέχουν ευελιξία με οποιαδήποτε αριθμό κόμβων. (Sharma, 2009)

#### **Στόχος: Πρότυπα Ασφαλείας:**

Μετά τον στόχο αξιοπιστίας ο πιο σημαντικός στόχος είναι η ασφάλεια του δικτύου σχετικά με την διακίνηση των πληροφοριών οι οποίες δεν πρέπει να είναι προσβάσιμες από μη εξουσιοδοτημένους χρήστες. Βέβαια στην περίπτωση ειδικά των ασύρματων δικτύων αισθητήρων λόγω των περιορισμένων πόρων των κόμβων υπάρχουν αρκετές δυσκολίες. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα οι κατασκευαστές να κάνουν έρευνα στο συγκεκριμένο τομέα με την δημιουργία νέων προτύπων και την αναπροσαρμογή των υπαρχόντων για να καλύπτουν αποδοτικά τις υφιστάμενες ανάγκες των συγκεκριμένων δικτύων. (Perrig, 2004)

---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. Αρχιτεκτονική Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων

Στην συγκεκριμένη ενότητα θα γίνει μια συνοπτική περιγραφή της αρχιτεκτονικής του ασύρματου δικτύου αισθητήρων. Θα γίνει αναφορά σε θέματα τοπολογίας, του μοντέλου OSI και στην δρομολόγηση που επιτελείται σε ασύρματο δίκτυο.

### 4.1 Τοπολογία

Η βασική αρχιτεκτονική των δικτύων είναι η μετάδοση των μηνυμάτων μεταξύ των κόμβων διατηρώντας την ποσότητα των δεδομένων και εξασφαλίζοντας την ποιότητα μετάδοσης. Η ποσότητα των δεδομένων είναι ο μέσος ρυθμός επιτυχημένης λήψης πακέτων σε ένα επικοινωνιακό σύστημα και η ποιότητα μετάδοσης εξαρτάται από έναν συνδυασμό απαιτήσεων όπως είναι η μέγιστη αποδεκτή καθυστέρηση πακέτου, το μέγιστο ποσοστό χαμένων πακέτων, η διαχείριση των λαθών κλπ. Η τοπολογία του δικτύου αποτελεί το βασικό δομικό στοιχείο για την λειτουργία του. Το κάθε δίκτυο αποτελείται από τους κόμβους του οι οποίοι εκπέμπουν και λαμβάνουν μηνύματα μέσω ενός ασύρματου καναλιού. Οι κόμβοι οργανώνονται στις παρακάτω βασικές τοπολογίες:

#### Πλήρως Συνδεδεμένη:

Αποτελεί την πιο απλή μορφή τοπολογίας σε δίκτυα. Χαρακτηριστικά της είναι το κόστος και η πολυπλοκότητα. Ο κάθε κόμβος συνδέεται απευθείας με όλους τους υπόλοιπους κόμβους του δικτύου. Το μειονέκτημα της συγκεκριμένης τοπολογίας είναι ότι όταν το δίκτυο έχει πολλούς κόμβους χρειάζονται πολλές συνδέσεις με αποτέλεσμα να

αυξάνεται εκθετικά ο αριθμός των μονοπατιών δρομολόγησης. (Κουμπιάς, 2012)

#### Τοπολογία Αστέρα:

Στην τοπολογία αστέρα όλοι οι κόμβοι συνδέονται σε έναν κεντρικό σταθμό και μέσω αυτού του σταθμού γίνεται η επικοινωνία με τους υπόλοιπους κόμβους του δικτύου. Το μειονέκτημα της συγκεκριμένης τοπολογίας είναι η ύπαρξη μόνο ενός κεντρικού σταθμού από το οποίο εξαρτάται ολόκληρο το δίκτυο. Στην περίπτωση που ο κεντρικός σταθμός παρουσιάσει βλάβη όλο το δίκτυο βγαίνει εκτός λειτουργίας. (Κουμπιάς, 2012)

#### Τοπολογία Δακτυλίου:

Στην τοπολογία δακτυλίου οι διαδοχικοί κόμβοι συνδέονται μεταξύ τους με μονή κατεύθυνση. Η μετάδοση των μηνυμάτων γίνεται στον κόμβο προορισμού από κόμβο προς κόμβο. Το μειονέκτημα είναι ότι υπάρχει μόνο ένα μονοπάτι δρομολόγησης των

πακέτων το οποίο περιλαμβάνει όλους τους κόμβους. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την καθυστέρηση των πακέτων διότι πρέπει να διανύσουν αρκετούς κόμβους μέχρι τον τελικό προορισμό. (Κουμπιάς, 2012)

### **Τοπολογία Διαύλου:**

Η τοπολογία του διαύλου έχει σαν βασική λειτουργία ότι ο κάθε κόμβος του δικτύου συνδέεται στο μέσο μετάδοσης και παραλαμβάνει όσα απευθύνονται στον ίδιο. Το πλεονέκτημα που έχει είναι η αξιοπιστία του δικτύου με την συνεχή λειτουργία αφού η απώλεια ενός κόμβου δεν επηρεάζει την επικοινωνία των υπολοίπων κόμβων. Σαν μειονέκτημα έχει ότι σε μεταδόσεις μεγάλων αποστάσεων χρειάζονται επιπλέον κόμβοι ως αναμεταδότες. (Akyildiz and Kasimoglu, 2004)

### **Τοπολογία Δένδρου:**

Η τοπολογία του δένδρου χαρακτηρίζεται από την αρχιτεκτονική του δένδρου, δηλαδή τα φύλλα μια δενδροειδούς δομής με τον κάθε κόμβο να επικοινωνεί μόνο με τους κόμβους-αδέρφια που βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο και τον κόμβο-γονιό. Το πλεονέκτημά που έχει είναι ότι σε περίπτωση βλάβης επηρεάζεται μόνο το τμήμα του δένδρου που εξαρτάται από τον κόμβο-βλάβης. Το μειονέκτημα είναι ότι στην περίπτωση βλάβης του κόμβου-ρίζα τότε το δίκτυο βγαίνει εκτός λειτουργίας. (Akyildiz and Kasimoglu, 2004)

### **Τοπολογία Πλέγματος:**

Η τοπολογία πλέγματος χρησιμοποιείται ευρέως στην περίπτωση των ασύρματων δικτύων αισθητήρων τα οποία πραγματεύεται η συγκεκριμένη εργασία. Η λειτουργία της είναι ότι ο κάθε κόμβος συνδέεται απευθείας με τους γειτονικούς κόμβους σε κάποιο συγκεκριμένο γεωγραφικό χώρο που είναι το εύρος μετάδοσης του κόμβου στα ασύρματα δίκτυα.

Το κάθε μήνυμα ξέρει τον κόμβο προορισμού του. Όπως αναφέραμε και στην αρχιτεκτονική των ασύρματων δικτύων αισθητήρων ο κάθε κόμβος μεταδίδει στον επόμενο μέχρι τον τελικό προορισμό που είναι ο σταθμός βάσης. Το πλεονέκτημα είναι η πλήρης αυτονομία των κόμβων αφού σε περίπτωση αστοχίας χρησιμοποιείται άλλος εναλλακτικός κόμβος. Σαν μειονέκτημα είναι ο υπολογισμός των βέλτιστων μονοπατιών δρομολόγησης με σκοπό την βέλτιστη διαδρομή. Επίσης στην περίπτωση βλάβης κόμβων και συνδέσεων πρέπει να γίνει ξανά υπολογισμός των μονοπατιών δρομολόγησης πράγμα που έχει κόστος στην μεταφορά των πακέτων με καθυστερήσεις. (Akyildiz and Kasimoglu, 2004)

## 4.2. Μοντέλο OSI

Το μοντέλο OSI είναι η βασική διαβάθμιση των επιπέδων του δικτύου. Το κάθε επίπεδο αποτελεί μια αυτόνομη οντότητα στην διαμόρφωση και λειτουργία του δικτύου. Παρακάτω γίνεται μια συνοπτική αναφορά στα βασικά επίπεδα που αφορούν την αρχιτεκτονική και την λειτουργία των ασύρματων δικτύων αισθητήρων.

### 4.2.1. Επίπεδο Φυσικό

Στην διαμόρφωση του δικτύου, το βασικό δομικό επίπεδο είναι το φυσικό. Το φυσικό επίπεδο έχει σαν βασική λειτουργία την επιλογή της συχνότητας, την ανίχνευση του σήματος, την διαμόρφωση και την κρυπτογράφηση των δεδομένων για θέματα ασφαλείας.

Στην περίπτωση των ασύρματων δικτύων αισθητήρων σαν αρχιτεκτονική έχουμε την πυκνή χωρικά ανάπτυξη των κόμβων-αισθητήρων και της δυνατότητας επικοινωνίας μέσω πολλαπλών κόμβων. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την εξοικονόμηση ενέργειας και μικρή απώλεια σήματος. Επίσης σχετικά με τους δυο βασικούς παράγοντες του δικτύου την κατανάλωσή ενέργειας και την απώλεια σήματος γίνεται χρήση μιας ευρείας συχνότητας για την μετάδοση των πακέτων μεταξύ των κόμβων. (Akan and Akyildiz, 2005)

### 4.2.2. Επίπεδο Ζεύξης Δεδομένων

Το επίπεδο ζεύξης έχει σαν βασικό ρόλο την παροχή των λειτουργικών και διαδικαστικών μέσων για την μεταφορά των δεδομένων ανάμεσα σε συσκευές του δικτύου καθώς και για την ανίχνευση και διόρθωση τυχόν σφαλμάτων μετάδοσης του φυσικού επιπέδου. Οι βασικοί σκοποί που επιτελεί είναι: η κατασκευή της δομής του δικτύου και η διαμοίραση του μέσου μετάδοσης ισότιμα μεταξύ των αισθητήριων κόμβων.

Όπως αναφέρθηκε πολλές φορές η αξιοπιστία του δικτύου ασύρματων αισθητήρων είναι μια πολύ σημαντική διαδικασία. Μια βασική παράμετρος είναι τα λάθη που δημιουργούνται κατά την μεταφορά των πακέτων μεταξύ των κόμβων. Σχετικά με τον έλεγχο και την διόρθωση των λαθών στο δίκτυο υπάρχουν δύο κατηγορίες:

#### **Αυτόματη αίτηση για επανάληψη:**

Η χρήση της συγκεκριμένης μεθόδου έχει μεγάλο κόστος επειδή γίνονται συνέχεια κλήσεις στο δίκτυο. Γενικά η συγκεκριμένη μέθοδος δεν χρησιμοποιείται λόγω των μειονεκτημάτων που έχει.

#### **Διόρθωση των λαθών στον δέκτη:**

Για την ανίχνευση και την διόρθωσή των λαθών ένα βασικό μετρήσιμο είναι ο ρυθμός εμφάνισης λαθών στο κανάλι. Το συγκεκριμένο μετρήσιμο μπορεί να μειωθεί με δύο τρόπους: με την αύξηση της ισχύος στον πομπό είτε με την χρήση κατάλληλου κώδικα διόρθωσης λαθών. Σε αντίθεση με την μέθοδο της αυτόματης αίτησης για επανάληψη η συγκεκριμένη μέθοδος έχει το πλεονέκτημα ότι τα μηνύματα που ανταλλάσσονται είναι μικρά και κατ' επέκταση η επιπλέον κωδικοποίηση είναι μικρή. Γενικά η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιείται λόγω των πλεονεκτημάτων που έχει. (Akan and Akyildiz, 2005)

### 4.2.3. Επίπεδο Δικτύου

Το επίπεδο δικτύου έχει σαν βασική λειτουργία την μεταγωγή και την δρομολόγηση των δεδομένων που αντιπροσωπεύουν τα πακέτα. Για την μεταφορά των δεδομένων απαιτούνται ειδικά πρωτόκολλα δρομολόγησης προκειμένου η πληροφορία να μεταφερθεί στους τελικούς χρήστες. Όλα τα πρωτόκολλα δρομολόγησης μπορούν να ομαδοποιηθούν σε δεδομένο-κεντρικά, ιεραρχικά και βάση της θέσης των κόμβων του δικτύου. Το επίπεδο δικτύου ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων πρέπει να διέπτετε από τους παρακάτω κανόνες:

1. Σωστή ενεργειακή πολιτική.
2. Σωστή δρομολόγηση των κόμβων.
3. Σωστή πυκνή κατανομή των κόμβων για θέματα απόδοσης και αξιοπιστίας στην μεταφορά των δεδομένων χωρίς απώλειες και αστοχίες για την αποφυγή καθυστερήσεων.
4. Συγκερασμός των δεδομένων από τους κόμβους.

Τα πρωτόκολλα δρομολόγησης διαχωρίζονται σε κατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο δρομολόγησης:

#### 1. Προ-Δραστική Δρομολόγηση:

Γίνεται η ανανέωση όλων των διαδρομών περιοδικά και επιτυγχάνεται η άμεση ενημέρωση προς όλους τους κόμβους του δικτύου για τα νέα μονοπάτια δρομολόγησης. Η συγκεκριμένη δρομολόγηση προτιμάται όταν υπάρχει συχνή επικοινωνία με υψηλούς ρυθμούς.

#### 2. Αντιδραστική Δρομολόγηση:

Γίνεται η αναζήτηση της διαδρομής το χρονικό σημείο που απαιτείται. Το αποτέλεσμα είναι η μείωση της κίνησης στο δίκτυο. Η συγκεκριμένη δρομολόγηση προτιμάται όταν υπάρχει επικοινωνία μεταξύ λίγων κόμβων.

### **3. Υβριδική Δρομολόγηση:**

Γίνεται η χρήση διαφορετικών τρόπων δρομολόγησης βασιζόμενοι σε κριτήρια σχετικά με πληροφορίες που αφορούν τους κόμβους-αισθητήρες του δικτύου.

*(Akan and Akyildiz, 2005)*

#### **4.2.4. Επίπεδο Μεταφοράς**

Το επίπεδο μεταφοράς είναι από τα πιο σημαντικά επίπεδα στην λειτουργία του δικτύου. Αφορά τις πλατφόρμες πρόσβασης μέσω του διαδικτύου και των εξωτερικών δικτύων. Σχετικά με τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων το επίπεδο μεταφοράς είναι σημαντικό διότι ο βασικός σκοπός των κόμβων-αισθητήρων είναι να ανιχνεύουν καταστάσεις και γεγονότα και να μεταδίδουν τα δεδομένα.

Στα σημερινά σύγχρονα δίκτυα και πληροφοριακά συστήματα η άμεση μετάδοση, επεξεργασία και διαχείριση της πληροφορίας είναι επιτακτική διαδικασία για την απόδοση και την αξιοπιστία των συστημάτων. Επομένως, ειδικά στην περίπτωση των ασύρματων δικτύων αισθητήρων είναι αναγκαία η σύνδεση με άλλα δίκτυα ειδικά με το διαδίκτυο. Για την μετάβαση των δεδομένων από δίκτυο σε δίκτυο γίνεται από τους κατασκευαστές η ανάπτυξη ειδικών πρωτοκόλλων τα οποία αναλαμβάνουν την διακίνηση των δεδομένων.

*(Akan and Akyildiz, 2005)*

#### **4.2.5. Επίπεδο Εφαρμογής**

Το επίπεδο εφαρμογής έχει σαν βασική λειτουργία να παρέχει στον τελικό χρήστη να χρησιμοποιήσει τους πόρους του δικτύου. Διαθέτει το λογισμικό με σκοπό την αλληλεπίδραση του τελικού χρήστη με το δικτυακό σύστημα. Παρακάτω γίνεται η συνοπτική αναφορά βασικών πρωτοκόλλων τα οποία διαχειρίζονται τα δεδομένα που συλλέγουν οι κόμβοι-αισθητήρες:

#### **Διαχείριση πρωτοκόλλου αισθητήρα:**



Το πρωτόκολλο διαχείρισης του κόμβου-αισθητήρα είναι πολύ σημαντικό διότι αναλαμβάνει να κάνει την μεταφορά των δεδομένων των χαμηλότερων επιπέδων προς το επίπεδο της εφαρμογής. Το πρωτόκολλο έχει τις παρακάτω βασικές λειτουργίες:

- Δημιουργία κανόνων σχετικά με την δρομολόγηση των αισθητήριων κόμβων.
- Χρονικός συγχρονισμός των κόμβων-αισθητήρων.
- Να θέσει σε κίνηση τους κόμβους-αισθητήρες.
- Να θέσει τους κόμβους-αισθητήρες εντός και εκτός λειτουργίας.
- Να εκτελέσει τους μηχανισμούς ταυτοποίησης και εξουσιοδότησης με την διανομή των κλειδιών για θέματα ασφάλειας.
- Ερωτήματα για την τρέχουσα κατάσταση και τις ρυθμίσεις των αισθητήριων κόμβων.
- Διαδικασία δημιουργίας του δικτύου σε θέματα αστοχίας κόμβου με νέα μονοπάτια δρομολόγησης.
- Ανταλλαγή των δεδομένων.

#### **Πρωτόκολλο διαχείρισης πληροφοριών κόμβων-αισθητήρων:**

Ένα πρωτόκολλο το οποίο να διανέμει χρήσιμες πληροφορίες για τους κόμβους είναι πολύ σημαντικό για θέματα δρομολόγησης και ειδικά για την δημιουργία των μονοπατιών. Οι πληροφορίες στο δίκτυο διακρίνονται σε δυο βασικές κατηγορίες: την γνωστοποίηση πληροφοριών από τους κόμβους-αισθητήρες και την αναζήτηση συγκεκριμένων πληροφοριών από τους χρήστες. (Akan and Akyildiz, 2005)

#### **Πρωτόκολλο SQDDP (Sensor Query Data Dissemination Protocol):**

Το πρωτόκολλο SQDDP δίνει την δυνατότητα στους χρήστες να μπορούν να θέτουν ερωτήματα σχετικά με τους κόμβους του δικτύου. Ερωτήματα σχετικά με τα γεγονότα που δημιουργούνται από τον κόμβο-αισθητήρα όταν αυτός λαμβάνει ένα μήνυμα, γεγονότα που γίνονται περιοδικά βάση κάποιου χρονικού διαστήματος, γεγονότα με μετρήσιμα στοιχεία κλπ. (Akan and Akyildiz, 2005)

### **4.3. Δρομολόγηση**

Μια από τις πιο βασικές δομικές διαδικασίες του δικτύου είναι η δρομολόγηση. Η δρομολόγηση αφορά την δημιουργία των μονοπατιών μεταξύ των κόμβων για την

μεταφορά των πακέτων. Η δρομολόγηση έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον ειδικά στην περίπτωση των ασύρματων δικτύων αισθητήρων όπου υπάρχουν ιδιαιτερότητες σχετικά με την αρχιτεκτονική και λειτουργία τους. (Sharma, 2009)

Σε ένα δίκτυο αισθητήρων ένα πακέτο διέρχεται από παραπάνω από έναν κόμβους για να φτάσει στον τελικό προορισμό του. Η μετάδοση του πακέτου δεδομένων γίνεται από κόμβο σε κόμβο μέχρι τον σταθμό βάσης συγκέντρωσης των πακέτων. Στα ασύρματα δίκτυα δεν έχουμε το κλείδωμα των κόμβων όπως συμβαίνει σε άλλες τοπολογίες δικτύων με αποτέλεσμα να εξαλείφεται η ανάγκη για απευθείας επικοινωνία μεταξύ όλων των κόμβων του δικτύου. Υπάρχει όμως το μειονέκτημα της πολυπλοκότητας στην υλοποίηση των πολλών διαφορετικών διαδρομών δρομολόγησης ειδικά στις περιπτώσεις όπου υπάρχει αστοχία κόμβου. (Akyildiz, Su, Sankarasubramanian and Cayirci, 2002)

Επομένως, στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων η πιο σημαντική διαδικασία για την αξιόπιστη και αποδοτική λειτουργία τους είναι η δημιουργία των δρομολογήσεων των πακέτων από τον αρχικό κόμβο-αισθητήρα προς τον τελικό αποδέκτη που είναι ο σταθμός βάσης. Σχετικά με την αρχιτεκτονική και λειτουργία των ασύρματων δικτύων αισθητήρων η πολυπλοκότητα των δρομολογήσεων οφείλεται στους παρακάτω λόγους:

- Η ιδιαιτερότητα του δικτύου υποχρεωτικά παραπέμπει σε τοπολογία πλέγματος.
- Υπάρχει κατανομή των κόμβων-αισθητήρων σε πυκνό γεωγραφικό πλάτος.
- Βασικοί άξονες είναι η ενεργειακή αποδοτικότητα και το χαμηλό κόστος κατασκευής.
- Με την τοπολογία πλέγματος οι κόμβοι του δικτύου μπορούν να επικοινωνήσουν μεταξύ τους άμεσα και έμμεσα χωρίς να απαιτούνται κλειδώματα ένας-προς-έναν.
- Η εμβέλεια αποστολής και λήψης καθορίζεται από την ενεργειακή κατανάλωση του κόμβου.
- Ο βασικός κανόνας στην μεταφορά των πακέτων σε ασύρματες τοπολογίες είναι ότι όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση που πρέπει να διανύσει ένα πακέτο τόσο αυξάνονται οι απώλειες σήματος.
- Η σωστή τεχνολογία για την δημιουργία του ασύρματου δικτύου αισθητήρων είναι η δημιουργία πολλών πυκνών κόμβων με χαμηλότερη εμβέλεια για την εξασφάλιση της αξιόπιστης μεταφοράς των πακέτων.

- Σχετικά με τα μονοπάτια δρομολόγησης, ο κανόνας είναι ότι όσο αυξάνεται ο συνολικός αριθμός των κόμβων λόγω της μεγάλης χωρικής πυκνότητάς τους τα διαφορετικά μονοπάτια αυξάνονται εκθετικά.
- Ειδικά σε περιπτώσεις αστοχίας κόμβου και βλάβης κόμβου ή σύνδεσης πρέπει να δημιουργηθούν πάλι τα μονοπάτια δρομολόγησης με αποτέλεσμα την καθυστέρηση της μεταφοράς των πακέτων.
- Το τελικό συμπέρασμα είναι ότι ο βασικός παράγοντας της αξιοπιστίας και της απόδοσης του ασύρματου δικτύου αισθητήρων είναι η δημιουργία βέλτιστων μονοπατιών δρομολόγησης βάση των κρίσιμων παραγόντων και ιδιομορφιών που αναφέρθηκαν. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η έρευνα των κατασκευαστών να έχει επικεντρωθεί στο συγκεκριμένο πεδίο έρευνας.

(Tubaishat and Madria, 2003)

---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. Εφαρμογές Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων

Στην συγκεκριμένη ενότητα θα γίνει μια αναφορά στους βασικούς τομείς όπου εφαρμόζονται τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Η αρχική τους σχεδίαση και υλοποίηση αφορούσε στρατιωτικές εφαρμογές. Τα τελευταία χρόνια με την πρόοδο της τεχνολογίας και την μείωση του κόστους τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων έχουν βρει πρόσφορο έδαφος σε πολλά επιστημονικά πεδία για την ανάπτυξη πληροφοριακών συστημάτων.

### 5.1. Εφαρμογές Βιομηχανίας

Ένας πολύ σημαντικός τομέας όπου εφαρμόζονται τα δίκτυα ασυρμάτων αισθητήρων είναι η βιομηχανία. Η πιο σημαντική διαδικασία της βιομηχανίας είναι η παραγωγή και το βασικό μέλημα της είναι η βελτίωση της γραμμής παραγωγής. Επομένως οι σύγχρονες βιομηχανίες βρίσκονται συνεχώς σε αναζήτηση νέων τεχνολογιών και συστημάτων με σκοπό την μείωση του κόστους του παραγόμενου προϊόντος και την συντήρησης του εξοπλισμού παραγωγής.

Μια αξιόπιστη και με μικρό κόστος λύση είναι τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων τα οποία προσφέρουν αρκετές λύσεις για τους τομείς της βιομηχανίας. Πλεονεκτήματα τους

αποτελούν η εύκολη εγκατάσταση, η ασύρματη αρχιτεκτονική, η σχεδίαση και η πλήρη λειτουργικότητα. Επίσης παρέχουν βασική ευελιξία στην ενσωμάτωση και εγκατάσταση στην γραμμή παραγωγής λόγω του μικρού μεγέθους τους. Τα τελευταία χρόνια λόγω της ευρείας χρήσης τους από τη βιομηχανία οι κατασκευαστές έχουν αναπτύξει πρωτόκολλα και τοπολογίες ειδικά για βιομηχανικές εφαρμογές και συστήματα. Οι πιο βασικές λειτουργίες που επιτελούν τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων στην βιομηχανία είναι η παρακολούθηση των αποθεμάτων που παράγονται και ειδικά ο έλεγχος της ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων. (Arampatzis, Lygeros and Manesis, 2005)

## 5.2. Εφαρμογές Περιβάλλοντος

Ένας άλλος πολύ σημαντικός τομέας όπου εφαρμόζονται τα δίκτυα ασυρμάτων αισθητήρων είναι το περιβάλλον. Το βασικό χαρακτηριστικό της χρήσης τους είναι η παρακολούθηση των περιβαλλοντολογικών συνθηκών. Τέτοια μεγέθη είναι η θερμοκρασία, η υγρασία, ο φωτισμός, τα ρεύματα και η ποιότητα του αέρα και άλλα απλά και πολυσύνθετα μεγέθη τα οποία χαρακτηρίζουν το περιβάλλον.

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων είναι πολύ σημαντικά για τα πληροφοριακά συστήματα που εστιάζουν στο περιβάλλον. Η διαδικασία που επιτελούν σχετικά με την συλλογή και την διαχείριση των δεδομένων είναι η συγκομιδή των μετρήσεων από τους αισθητήρες και η πρώτη βασική επεξεργασία τους, η αποστολή των δεδομένων από τους κόμβους στον κεντρικό σταθμό για την πλήρη επεξεργασία τους και την διαμόρφωση τους σύμφωνα με τους μηχανισμούς του πληροφοριακού συστήματος.

Το πληροφοριακό σύστημα βάση της επεξεργασίας των αναλυτικών και συγκεντρωτικών πληροφοριών παράγει μετρήσιμα στοιχεία σε επίπεδο αναφορών και άλλων διαδικασιών με αποτέλεσμα να λειτουργεί ως ένα σύστημα αποφάσεων που βοηθάει τον χρήστη του συστήματος να λάβει αποφάσεις για αυτόματες ενέργειες σχετικά με τον περιβαλλοντολογικό χώρο.

Επίσης, πρέπει να αναφερθεί ότι τα τελευταία χρόνια με την ανάπτυξη της τεχνολογίας οι κόμβοι του δικτύου μπορούν να έχουν πολλούς αισθητήρες διαφορετικών τύπων οι οποίοι μετρούν σύνθετα μεγέθη με βασικό άξονα την διατήρηση του μικρού μεγέθους τους το οποίο είναι απαραίτητο για την ευελιξία τους και την προσαρμογή τους στο περιβάλλον. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την δημιουργία ικανών και αξιόπιστων εφαρμογών μέσω των πληροφοριακών συστημάτων οι οποίες επιτρέπουν την παροχή σημαντικών πληροφοριών και την λήψη αποφάσεων σχετικά με θέματα που σχετίζονται με το περιβάλλον. Για

παράδειγμα η πρόβλεψη του καιρού είναι ένας πολύ σημαντικός τομέας εφαρμογής τέτοιων πληροφοριακών συστημάτων. (Mainwaring, Culler, Polastre, Szewczyk and Anderson, 2002)

Πιο συγκριμένα η εφαρμογή των αισθητήρων σε συστήματα που αφορούν το περιβάλλον αφορούν την ανάπτυξη μεθόδων και πρωτοκόλλων για την παρακολούθηση της συμπεριφοράς της πανίδας διαφόρων περιοχών. Επίσης οι επιστήμονες έχουν την δυνατότητα να τοποθετούν τους αισθητήρες πάνω στα ζώα εκμεταλλευόμενοι το μικρό τους μέγεθος για να παρακολουθούν τις συνθήκες ζωής τους. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα μέσω της επεξεργασίας των δεδομένων από τα αντίστοιχα πληροφοριακά συστήματα να

εξάγονται χρήσιμες πληροφορίες και συμπεράσματα και γενικά πληροφόρηση προς τους επιστήμονες για την μετακίνηση των ζώων καθώς επίσης και για τους λόγους για τους οποίους οι πληθυσμοί των ζώων μετακινούνται προς κάποιες συγκεκριμένες περιοχές και αποφεύγουν άλλες. (Arampatzis, Lygeros and Manesis, 2005)

Σχετικά με την τεχνολογία των κόμβων των ασύρματων δικτύων αισθητήρων σε συνάρτηση τους με το περιβάλλον πρέπει να τονιστεί ότι οι κόμβοι έχουν το πλεονέκτημα ότι έχουν μια στιβαρότητα και μια μεγάλη αυτονομία. Αυτό τους καθιστά ευέλικτους ως προς την χρήση τους σε γεωγραφικές και περιβαλλοντολογικές περιοχές. Έχουν όμως στο μειονέκτημα ότι λόγω της ιδιαίτερης αρχιτεκτονικής των συγκεκριμένων δικτύων δεν υπάρχει δυνατότητα επικοινωνίας των αισθητήρων απευθείας με κάποιο σταθμό βάσης που καταγράφει τις μετρήσεις τους. Όπως αναφέραμε στην ενότητα σχετικά με την αρχιτεκτονική και λειτουργία τους η μετάδοση γίνεται μεταδίδοντας τα δεδομένα από αισθητήρα σε αισθητήρα ώσπου να φτάσουν σε κάποιον που είναι εντός εμβέλειας του σταθμού βάσης. Αυτό όμως πολλές φορές και λόγω των περιβαλλοντολογικών συνθηκών δημιουργεί προβλήματα. Για αυτό τον λόγο γίνεται η δημιουργία και τοποθέτηση ενδιάμεσων πολλαπλών σταθμών βάσεων σε τακτά γεωγραφικά διαστήματα μέσα στο φυσικό περιβάλλον έτσι ώστε βρεθούν μέσα στην εμβέλεια των σταθμών να γίνει η μετάδοση των δεδομένων. (Mainwaring, Culler, Polastre, Szewczyk and Anderson, 2002)

Δυο βασικοί τομείς σχετικά με την χρήση των ασύρματων δικτύων αισθητήρων στο περιβάλλον είναι η γεωργία και η κτηνοτροφία. Στην γεωργία ο βασικός στόχος είναι η παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο της κατάστασης του εδάφους και της παραγωγής. Στην κτηνοτροφία ο βασικός στόχος είναι η παρακολούθηση της πορείας των κοπαδιών των ζώων και η σωστή καθοδήγηση τους ή η επαναφορά τους στη σωστή πορεία σε περίπτωση εκτροπής τους. Αυτό γίνεται με την παραγωγή ακουστικού ερεθίσματος προς τα κοπάδια των ζώων τα οποία τα βοηθάει να προσανατολιστούν στην σωστή πορεία. Το αποτέλεσμα είναι ότι με την χρήση τέτοιων συστημάτων οι κτηνοτρόφοι έχουν την

δυνατότητα ελέγχου της πορείας των κοππαδιών των ζώων. (Arampatzis, Lygeros and Manesis, 2005)

### 5.3. Εφαρμογές Υγείας

Ένας πολύ σημαντικός τομέας όπου εφαρμόζονται τα δίκτυα ασύρματων αισθητήρων είναι ο τομέας της υγείας. Στην σύγχρονη εποχή βάση της ανάπτυξης της τεχνολογίας μια πολύ σημαντική λειτουργία είναι η παρακολούθηση της υγείας των ανθρώπων με την χρήση τεχνολογικών συστημάτων. Μια τάση που υπάρχει είναι η δημιουργία από τους κατασκευαστές συσκευών οι οποίες παρακολουθούν τον οργανισμό των ανθρώπων και παρέχουν συνεχή πληροφόρηση σε πραγματικό χρόνο. Αυτές οι συσκευές είναι αυτόνομες οι οποίες εντάσσονται στον τομέα υγείας άλλα πλέον παρεμφερή ιατρικές λειτουργίες προσαρμόζονται κα στα κινητά τηλέφωνα. (Arampatzis, Lygeros and Manesis, 2005)

Τα τελευταία χρόνια υπάρχει η τάση της δημιουργίας των λεγόμενων έξυπνων σπιτιών. Έξυπνες ηλεκτρονικές συσκευές οι οποίες απλοποιούν και αυτοματοποιούν τις λειτουργίες του σπιτιού και των κατοίκων του. Μια από τις λειτουργίες που επιτελεί το έξυπνο σπίτι είναι και η δημιουργία ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων με συλλογή πληροφοριών για θέματα της υγείας των κατοίκων του.

Επίσης, για τους επαγγελματίες υγείας σε όλες τις βαθμίδες της υγείας οι ασύρματες συσκευές αισθητήρων με την συλλογή ιατρικών πληροφοριών για τον άνθρωπο είναι πολύ σημαντικές. Οι συγκεκριμένες συσκευές (αυτόνομες ή κινητό τηλέφωνο) μπορούν να φορεθούν από τον χρήστη και παρακολουθούν καθημερινές του συνήθειες του όπως ο ύπνος, συνήθειες, άσκηση κλπ. Το αποτέλεσμα της χρήσης αυτών των συστημάτων είναι η σωστή ενημέρωση του επαγγελματία υγείας με δεδομένα καθημερινότητας του χρήστη/ασθενή έτσι ώστε ο επαγγελματίας υγείας να διευκολύνεται στο ιατρικό του έργο.

Οι συγκεκριμένες λειτουργίες εστιάζουν περισσότερο στην καταγραφή της καθημερινότητας των ηλικιωμένων ατόμων και των μικρών παιδιών. Στην περίπτωση των ηλικιωμένων γίνεται καταγραφή της διακύμανσης βασικών μετρήσεων της υγείας τους και στα παιδιά δίνεται η δυνατότητα αναγνώρισης και πρόληψης νοητικών και γνωστικών διαταραχών. Η ενσωμάτωση των συστημάτων των αισθητήρων γίνεται σε αντικείμενα που χρησιμοποιούν οι ηλικιωμένοι και τα παιδιά. (Sohraby, Minoli, and Znati, 2007)

Επίσης, στο τομέα της υγείας πολύ σημαντική είναι η χρήση των συστημάτων αισθητήρων στους χώρους υγείας και ειδικά στα νοσοκομεία. Με την καταγραφή των λειτουργιών που επιτελούν οι ασθενείς θα υπάρξουν αποφάσεις για την καλύτερη λειτουργικότητα των διαδικασιών των νοσοκομείων με αποτέλεσμα τα οικονομικά οφέλη και την καλύτερη

εμπειρία και την ελευθερία κινήσεων των ασθενών με την γρηγορότερη και αξιόπιστη εξυπηρέτησή τους. (Sohraby, Minoli, and Znati, 2007)

Στις υπηρεσίες υγείας εντάσσονται και οι διαδικασίες της διάσωσης. Το ασύρματο δίκτυο αισθητήρων έχει το βασικό χαρακτηριστικό της αυτό-οργάνωσης. Ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων μπορεί να δημιουργηθεί πολύ εύκολα και σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα. Κλασικό παράδειγμα είναι η ρίψη κόμβων από αεροσκάφη οι οποίοι δημιουργούν αυτόματα ένα δίκτυο χαρτογραφώντας και ελέγχοντας την περιοχή. Το αποτέλεσμα είναι οι διασωστικές αρχές να έχουν την δυνατότητα άμεσης και αξιόπιστης πληροφόρησης και να μπορούν να συντονίσουν καλύτερα τις προσπάθειές τους αποφεύγοντες επικίνδυνες καταστάσεις. (Arampatzis, Lygeros and Manesis, 2005)

#### **5.4. Εφαρμογές Παρακολούθησης Κτιρίων**

Γενικά, στον τομέα της παρακολούθησης βρίσκουν μεγάλη εφαρμογή τα συστήματα ασύρματων δικτύων αισθητήρων. Σε προηγούμενη ενότητα αναφέραμε για το σύγχρονο έξυπνο σπίτι με την χρήση ασύρματων ηλεκτρονικών συσκευών και μηχανισμών για την δημιουργία αυτοματοποιήσεων διαδικασιών. Πλέον τα τελευταία χρόνια οι εφαρμογές παρακολούθησης και ελέγχου των κτιρίων και κατοικιών αποτελεί την βασική πανάκεια για θέματα ασφάλειας και ενεργειακής αποδοτικότητας.

Η χρήση των ασύρματων συστημάτων αισθητήρων σε κτιριακές εγκαταστάσεις παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα όπως την δυνατότητα να προσφέρει αυξημένη ποιότητα ζωής σε συνδυασμό με το μειωμένο κόστος και την ελάχιστη αισθητική παρέμβαση, τα συστήματα μπορούν είτε να εγκατασταθούν παράλληλα με τα υπάρχοντα και η δημιουργία άνεσης, ελέγχου και ενεργειακής αποδοτικότητας των κτιριακών εγκαταστάσεων.

Επίσης, τεχνικά πρέπει να αναφερθεί ότι με την ενσωμάτωση αισθητήρων σε δομικά υλικά κτισμάτων υπάρχει η δυνατότητα να καταγραφούν οι δονήσεις που προκαλούνται κατά την διάρκεια των σεισμικών γεγονότων που επηρεάζουν την ανθεκτικότητα των υλικών και την στατικότητα των κτιρίων. Όσον αφορά τους πολιτικούς μηχανικούς μπορούν να κάνουν ακριβείς εκτιμήσεις για την κατάσταση του κτίσματος από το να κάνουν εξωτερικές εκτιμήσεις των υλικών.

### **5.5. Εφαρμογές Παρακολούθησης Συγκοινωνιών**

Ειδικά την τελευταία δεκαετία έχουν αναπτυχθεί πληροφοριακά συστήματα που στηρίζονται στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων για την παρακολούθηση και τον έλεγχο των οχημάτων και πλοίων. Με την χρήση των συστημάτων επιτυγχάνεται η παρακολούθηση της πληρότητας των χώρων στάθμευσης, η παρακολούθηση των οχημάτων με σκοπό την βελτιστοποίηση των διαδρομών μεταφορικών μέσων, ή πρόληψη ατυχημάτων κλπ. (*Pottie and Kaiser, 2000*)

### **5.6. Εφαρμογές Παρακολούθησης Μεταφορών**

Στον τομέα των εφαρμογών, ειδικά εξειδικευμένων και ευθραύστων φορτίων βρίσκουν μεγάλη και σημαντική χρήση τα συστήματα των ασύρματων δικτύων αισθητήρων. Κατά την μεταφορά των κιβωτίων εξασφαλίζεται με την παρακολούθηση τους η ασφαλή μεταφορά τους και η ασφάλεια των περιεχομένων τους κατά τη χρονική διάρκεια του ταξιδιού. Η παρακολούθηση αφορά τα αντικείμενα που μεταφέρονται αλλά και το ανθρώπινο δυναμικό που αλληλοεπιδρά σε σχέση με την μεταφορά το οποίο είναι εξουσιοδοτημένο ή όχι. (*Pottie and Kaiser, 2000*)

### **5.7. Εφαρμογές Στρατού**

Η αρχική χρήση των ασύρματων δικτύων αισθητήρων έγινε από το στρατό. Αποτελούν ένα βασικό δομικό στοιχείο της σύστασης των στρατιωτικών δυνάμεων σε διαδικασίες διαταγών, ελέγχου, επικοινωνιών, παρακολούθησης, αναγνώρισεων και στόχευσης. Όπως προ είπαμε το ασύρματο δίκτυο αισθητήρων έχει το βασικό πλεονέκτημα του μικρού κόστους και της αυτό δημιουργίας. Η οργάνωση του γίνεται σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα από ξηρά ή από αέρα και χωρίς καμία ανθρώπινη παρέμβαση. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να θεωρούνται ιδανικά για τοποθέτηση από ανειδίκευτα στρατεύματα και να χρησιμοποιούνται στον κρίσιμο τομέα της παρακολούθησης του πεδίου. (*Wittenburg and Schiller, 2006*)

Τεχνικά για στρατιωτική χρήση ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων προσφέρει την δυνατότητα για πολλαπλές μετρήσεις με αποτέλεσμα την συλλογή πολλών σημαντικών και αξιόπιστων πληροφοριών που μπορούν να συνδυαστούν και να ταυτοποιηθούν έτσι ώστε να εντοπιστεί μια απειλή με μεγάλη ακρίβεια. Επίσης, η ταχεία εγκατάσταση, η αυτό-οργάνωση και η αντοχή στο πεδίο της μάχης κατατάσσει το δίκτυο σε ένα πολύ αξιόπιστο αισθητήριο μέσο. (*Sohraby, Minoli, and Znati, 2007*)



Επίσης, στις στρατιωτικές συνθήκες μια διαφοροποίηση που υπάρχει σε σχέση με τον πραγματικό φυσιολογικό κόσμο είναι η καταστροφή του υλικού σε στρατιωτικές επιχειρήσεις. Τα δίκτυα αισθητήρων βασίζονται στην πυκνή χωρική εγκατάσταση για θέματα επικοινωνίας. Αν το δίκτυο υποστεί μερική καταστροφή μερικών κόμβων από εχθρικές δυνάμεις αυτό δεν επηρεάζει την ζωτικότητα και την λειτουργικότητα του δικτύου. Επομένως η χρήση των δικτύων αισθητήρων είναι ιδανική για τα πεδία των μαχών. (Sohraby, Minoli, and Znati, 2007)

Παρακάτω θα γίνει μια συνοπτική αναφορά σε βασικές ζωτικές στρατιωτικές λειτουργίες στις οποίες χρησιμοποιούνται τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Η βασική αρχιτεκτονική που χρησιμοποιείται είναι η συλλογή των δεδομένων από τους κόμβους, η αποστολή τους στην κεντρική βάση για επεξεργασία και διοχέτευση των τελικών παραγόμενων πληροφοριών μέσω του πληροφοριακού συστήματος και η παρουσίαση τους μέσω των εφαρμογών στους χρήστες:

#### **Παρακολούθηση του εξοπλισμού/πυρομαχικών:**

Με την χρήση των δικτύων αισθητήρων οι στρατιωτικοί μπορούν να παρακολουθούν την κατάσταση των τμημάτων τους καθώς και τον εξοπλισμό και των πυρομαχικών τους. Το ανθρώπινο δυναμικό και ο εξοπλισμός είναι από τα βασικά δομικά στοιχεία του στρατού όπου με την χρήση αισθητήρων αναφέρουν την κατάστασή του. Τα δεδομένα συγκεντρώνονται σε κεντρικά συστήματα, παράγονται αναφορές με τις οποίες πληροφορούνται οι διοικητές των τμημάτων καθώς και άλλα ιεραρχικά κλιμάκια.

#### **Παρακολούθηση πεδίου μάχης:**

Το πεδίο της μάχης κατά την έκβαση των στρατιωτικών επιχειρήσεων αποτελεί ένα πολύ βασικό παράγοντα για την εξέλιξη των επιχειρήσεων. Τα εδάφη, τα δρομολόγια προσέγγισης και γενικά τα δομικά στοιχεία όπου απαρτίζουν το πεδίο της μάχης είναι πολύ σημαντικά. Η σωστή και αξιόπιστη πληροφόρηση τους αποτελεί πλεονέκτημα για τους επιτελείς που διενεργούν τις στρατιωτικές επιχειρήσεις. Τα δίκτυα αισθητήρων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση των εχθρικών δραστηριοτήτων. Τα δίκτυα προσφέρουν αξιόπιστη πληροφόρηση με αποτέλεσμα την δημιουργία επιτυχών επιχειρησιακών σχεδίων πάντα διαμορφωμένων στις συνθήκες που δημιουργούνται. (Wittenburg and Schiller, 2006)

#### **Αναγνώριση εχθρικών δυνάμεων:**

Η αναγνώριση με τον παραδοσιακό της τρόπο πλέον τείνει να αντικατασταθεί εξ ολοκλήρου από τα δίκτυα αισθητήρων. Τα δίκτυα αισθητήρων μπορούν να εγκατασταθούν

πολύ γρήγορα σε κρίσιμα εδάφη και να συγκεντρώνουν έγκαιρα πολύτιμες και λεπτομερείς πληροφορίες για τις εχθρικές δυνάμεις και να αποστέλλονται άμεσα στους επιτελείς.

Στις επιχειρήσεις με την χρήση ραδιενέργειας είναι σημαντικό να υπάρχει ακριβή και έγκαιρη πληροφορία για την ύπαρξη μόλυνσης. Τα δίκτυα αισθητήρων εγκαθίστανται και χρησιμοποιούνται σαν συστήματα αναγνώρισης και προειδοποίησης ραδιενεργών ουσιών και παρέχουν άμεσα πληροφορίες για άμεση αντίδραση. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση των απωλειών και την μη αναγκαιότητα της έκθεσης ομάδας ανίχνευσης στην ραδιενέργεια. (Wittenburg and Schiller, 2006)

### **Εκτίμηση ζημιών μάχης:**

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων μπορούν να προσφέρουν πολύ σημαντικές υπηρεσίες μετά από κάποια επίθεση για να συγκεντρώσουν πληροφορίες προκειμένου να γίνει η εκτίμηση των ζημιών.

---

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. Ασφάλεια Ασύρματων Δικτύων**

Γενικά στα πληροφοριακά συστήματα η ασφάλεια αποτελεί μία από τις πιο σημαντικές διαδικασίες για την ασφάλεια της μεταφοράς των δεδομένων και την αξιοπιστία των συστημάτων. Ειδικά στη περίπτωση των ασύρματων δικτύων αισθητήρων όπου το μέσο μετάδοσης είναι τα ασύρματα μέσα (αέρας) και όχι τα ενσύρματα τίθεται η αξιοπιστία μετάδοσης βάση των κανόνων ασφαλείας που πρέπει να έχει. Το συγκεκριμένο θέμα έχει ιδιαίτερη βαρύτητα λόγω και της ευρείας χρήσης του διαδικτύου με την διακίνηση προσωπικών πληροφοριών.

Η ασφάλεια των πληροφοριών κατά την μεταφορά τους γίνεται με μεθόδους πιστοποίησης και κρυπτογράφησης των δεδομένων. Πρέπει να τονιστεί η διαφοροποίηση που υπάρχει μεταξύ των ενσύρματων και των ασύρματων δικτύων. Οι οργανισμοί/εταιρείες χρησιμοποιούν πολιτικές ασφαλείας, ασφάλεια στους δρομολογητές και τα τείχη προστασίας. Στα ασύρματα δίκτυα χρησιμοποιούνται οι παρακάτω τεχνικές:

1. Διαδικασία επικύρωσης με την οποία πριν από την μετάδοση των δεδομένων, οι κόμβοι αναγνωρίζονται και ανταλλάσσουν επικυρωμένα πιστοποιητικά.
2. Διαδικασία κρυπτογράφησης με την οποία πριν την αποστολή ενός ασύρματου πακέτου δεδομένων ο κάθε υπολογιστής που το στέλνει θα πρέπει να το κρυπτογραφήσει.

3. Διαδικασία ακεραιότητας με την οποία διασφαλίζεται ότι το στοιχείο που μεταδίδεται δεν έχει τροποποιηθεί.

*(Perrig, 2004)*

### **6.1. Διαδικασία πρόσβασης**

Ο έλεγχος της πρόσβασης αποτελεί το μείζον θέμα σχετικά με την ασφάλεια των ασύρματων δικτύων. Στην αρχή ελέγχονται τα διαθέσιμα ασύρματα δίκτυα και μετά το δίκτυο επικυρώνει τον σταθμό και ο σταθμός επικυρώνει το δίκτυο.

Για την έναρξη της διαδικασίας πρόσβασης στο δίκτυο, τα σημεία πρόσβασης εκπέμπουν περιοδικά πακέτα που ονομάζονται πλαίσια διαχείρισης με το όνομα του δικτύου από το οποίο προέρχονται. Τα πλαίσια διαχείρισης πιστοποιούν την ύπαρξη του ασύρματου δικτύου. Ένας σταθμός όταν θέλει να συνδεθεί σε ένα δίκτυο ελέγχει τα κανάλια προσπαθώντας να βρει τα πλαίσια διαχείρισης από τα σημεία πρόσβασης ή στέλνει αιτήσεις διερεύνησης δικτύων. Το τελικό βήμα της διαδικασίας είναι ότι ο σταθμός διαλέγει το δίκτυο που θέλει να συνδεθεί.

Στο πρότυπο 802.11 το οποίο αποτελεί την βάση των ασύρματων προτύπων ασφαλείας υπάρχουν δύο τρόποι επικύρωσης: η επικύρωση ανοιχτού κλειδιού και η επικύρωση μοιρασμένου κλειδιού. Ο σταθμός προτείνει την μέθοδο επικύρωσης στο μήνυμα της αίτησης επικύρωσης. Το δίκτυο έχει την δυνατότητα να αποδεχτεί ή να απορρίψει αυτή την πρόταση ανάλογα με τις ρυθμίσεις ασφαλείας που έχει. Με την επικύρωση ανοιχτού κλειδιού οποιαδήποτε ασύρματη συσκευή μπορεί να επικυρωθεί από το σημείο πρόσβασης χωρίς όμως να εδραιώσει επικοινωνία. Η συσκευή μπορεί να επικοινωνεί μόνο αν τα WEP κλειδιά που διαθέτει ταιριάζουν με αυτά του σημείου πρόσβασης. *(Perrig, 2004)*

Με την επικύρωση μοιρασμένου κλειδιού υπάρχει η διαδικασία της αίτησης στο δίκτυο και της άμεσης απάντησης από το δίκτυο. Για να χρησιμοποιηθεί αυτή η μέθοδος επικύρωσης προϋποθέτει ότι το σημείο πρόσβασης και ο σταθμός είναι συμβατοί με τη λειτουργία WEP (Wired Equivalent Privacy). Επίσης προαπαιτούμενο είναι ότι έχουν μεταξύ τους ένα μοιρασμένο κλειδί από πριν. Το αποτέλεσμα είναι ότι ένα κοινό κλειδί πρέπει να μοιραστεί σε όλους τους σταθμούς που τους έχει επιτραπεί να έχουν πρόσβαση στο συγκεκριμένο δίκτυο πριν προχωρήσουν στην διαδικασία της πρόσβασης από το δίκτυο. *(Perrig, 2004)*

## 6.2. WEP (Wired Equivalent Privacy)

Η βασική διαδικασία που χρησιμοποιείται για θέματα ασφαλείας της μεταφοράς των δεδομένων ειδικά σε ασύρματες αρχιτεκτονικές είναι η κρυπτογράφηση. Κρυπτογράφηση είναι η διαδικασία κατά την οποία τα δεδομένα αλλάζουν μορφή προκειμένου να επιτευχθεί η ασφαλής μετάδοση των πληροφοριών. Ουσιαστικά έχουμε δυο βασικές διαδικασίες: την κρυπτογράφηση των δεδομένων και την αποκρυπτογράφηση των δεδομένων. Η κρυπτογράφηση δημιουργείται με την χρήση κάποιου αποδεκτού και αξιόπιστου μαθηματικού αλγορίθμου ο οποίος πρώτα αλλάζει μορφή στα δεδομένα και μετά τα αποκαλύπτει στην κανονική του μορφή.

Το Wired Equivalent Privacy (WEP) αποτελεί την αρχική δημιουργία παροχής ασφάλειας για τα ασύρματα δίκτυα από το αρχικό πρότυπο 802.11. Η βασική λειτουργία του είναι ότι ένα κοινό κλειδί μοιράζεται ανάμεσα στο σημείο πρόσβασης και στους ασύρματους πελάτες του. Για την διαδικασία εμπιστευτικότητας γίνεται η κρυπτογράφηση των δεδομένων πριν την αποστολή τους.

Η βασική λειτουργία που επιτελείται είναι η επαλήθευση της ταυτότητας. Για να γίνει η σύνδεση στο ασύρματο δίκτυο μέσω ενός σημείου πρόσβασης θα πρέπει να γίνει η ταυτοποίηση. Στην επαλήθευση της ταυτότητας WEP η συσκευή πρέπει να γνωρίζει το μυστικό κλειδί της κρυπτογράφησης. Έπειτα το επόμενο βήμα είναι το σημείο πρόσβασης να στέλνει έναν τυχαίο αριθμό μήκους 128/256 bit ανάλογα το πρότυπο κρυπτογράφησης που χρησιμοποιεί στην ασύρματη συσκευή. Ο αριθμός κρυπτογραφείται από τη συσκευή με το μυστικό κλειδί WEP και αποστέλλεται πίσω. Το τελικό βήμα είναι ότι το σημείο πρόσβασης ελέγχει εάν η κρυπτογράφηση έγινε με το σωστό κλειδί. *(Perrig, 2004)*

Η συγκεκριμένη μέθοδος κατά την διάρκεια των ετών παρουσίασε μεγάλα κενά ασφαλείας. Αυτό οφείλεται ότι η διαδικασία της κρυπτογράφησης δίνει πληροφορίες σε κακόβουλους χρήστες που παρακολουθούν την επικοινωνία του δικτύου της κρυπτογραφημένης και της μη κρυπτογραφημένης πληροφορίας. Λύση στο συγκεκριμένο θέμα έδωσε το WPA (Wi-Fi Protected Access).

## 6.3. WPA (Wi-Fi Protected Access)

Η λύση στα κενά ασφαλείας της κρυπτογράφησης WEP ήταν το Wi-Fi Protected Access (WPA) το οποίο ανέπτυξε η Wi-Fi Alliance. Συγκεκριμένα η δημιουργία του προέρχεται από το πρότυπο IEEE 802.11 το οποίο αποτελεί μια ενδιάμεση λύση ασφαλείας των WLAN και ενσωματώνεται σε WLAN ασύρματες συσκευές.

Η βασική λειτουργία του WPA είναι ότι παρέχει σε κάθε πακέτο δεδομένων το κλειδί, έναν έλεγχο ακεραιότητας μηνύματος και ένα διάνυσμα ακολουθίας. Για να γίνει η επικύρωση του κόμβου με την σύνδεση στο δίκτυο πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένας κωδικός πρόσβασης. Έπειτα χρησιμοποιούνται οι μηχανισμοί κρυπτογράφησης και αποκρυπτογράφησης με την χρήση αξιόπιστων αλγόριθμων. (Perrig, 2004)

---

## ΕΙΔΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

---

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. Προσομοίωση Ασύρματων Δικτύων

#### 7.1. Τι είναι προσομοίωση ασύρματων δικτύων;

Η προσομοίωση των δικτύων αποτελεί μια πολύ σημαντική διαδικασία ειδικά για την φάση της αρχιτεκτονικής και σχεδίασης των πληροφοριακών συστημάτων. Πρέπει να γίνει ένας διαχωρισμός μεταξύ των όρων προσομοίωσης και εξομοίωσης, δυο όροι οι οποίοι έχουν διαφορετική έννοια και χρησιμοποιούν διαφορετικές μεθοδολογίες.

Η προσομοίωση αποτελεί μια μέθοδο μελέτης ενός συστήματος στην περίπτωση της συγκεκριμένης εργασίας των δικτύων και εξοικείωσης με τα χαρακτηριστικά που έχει. Η προσομοίωση υλοποιείται μέσω ενός άλλου υπολογιστικού συστήματος. Αντίθετα με την έννοια της προσομοίωσης η εξομοίωση αποτελεί μια μέθοδο αναπαραγωγής ενός συστήματος μέσω άλλου συστήματος παρόμοιου με το πρώτο. Με την διαδικασία της εξομοίωσης γίνεται η υλοποίηση του πραγματικού συστήματος καθώς ο βασικός σκοπός είναι η χρήση του. Ο εξομοιωτής μιμείται την λειτουργία του συστήματος ενώ ο προσομοιωτής κάνει την αναπαράσταση. Επομένως ο βασικός σκοπός της προσομοίωσης είναι η μελέτη του συστήματος βάση πραγματικών συνθήκων και όχι η χρήση κι η υλοποίηση του πραγματικού συστήματος.

Η διαδικασία της προσομοίωσης κάνει την μοντελοποίηση του συστήματος με την χρήση μαθηματικών τύπων με βασικό σκοπό τη καταγραφή της αλληλεπίδρασης των δομικών στοιχείων του δικτύου. Ο στόχος είναι η δημιουργία πολλαπλών σεναρίων σε πραγματικές συνθήκες με την αναπαραγωγή πραγματικό φόρτου και τοπολογίας πραγματικού δικτύου. Οι συνθήκες λειτουργίας του δικτύου γίνονται με παραμετροποιήσεις μεταβλητών. Το αποτέλεσμα είναι η δημιουργία αναφορών με την συμπεριφορά του δικτύου κάτω από

διαφορετικές συνθήκες. Η προσομοίωση λειτουργεί σαν ένα σύστημα απόφασης για την τελική σχεδίαση του συστήματος. (Wehrle, Klaus, Gunes, Mesut, 2010)

## 7.2. Λειτουργία προσομοίωσης ασύρματων δικτύων

Η προσομοίωση στα δίκτυα των υπολογιστικών συστημάτων είναι μια τεχνική όπου το λογισμικό προσομοίωσης κάνει τη μοντελοποίηση της συμπεριφοράς του δικτύου. Ο βασικός στόχος είναι ο υπολογισμός των φόρτων του δικτύου σε πραγματικές συνθήκες για να διαπιστωθεί η αντοχή και η απόδοση του σύμφωνα με τις προβλεπόμενες επιχειρησιακές προδιαγραφές που το διέπουν.

Η καταγραφή των φόρτων και γενικά των μετρήσιμων στοιχείων του δικτύου γίνεται υπολογίζοντας την αλληλεπίδραση μεταξύ των οντοτήτων κυρίως των πακέτων χρησιμοποιώντας μαθηματικούς τύπους και αλγορίθμους και με την αναπαράστασή των μετρήσεων στο δίκτυο. Ένα πλεονέκτημα της προσομοίωσης είναι η γραφική εμφάνιση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης στο δίκτυο έτσι ώστε ο χρήστης να έχει άμεση επαφή με την σχεδίαση που κάνει. (Wehrle, Klaus, Gunes, Mesut, 2010)

Οι προσομοιωτές υποστηρίζουν τα πρωτόκολλα και δίκτυα που χρησιμοποιούνται σήμερα, για παράδειγμα δίκτυα WSN, WLAN, WI-MAX κλπ. Το μεγαλύτερο ποσοστό προσομοιωτών χαρακτηρίζεται από το γραφικό περιβάλλον και τις εντολές που προσφέρουν για την χρήση τους. Πιο συγκεκριμένα Graphical User Interface (GUI) με την αναπαράσταση της προσομοίωσης και Command-Line Interface (CLI) με την χρήση εντολών για την δημιουργία και διαχείριση της προσομοίωσης.

Σχετικά με τον τρόπο λειτουργίας του προσομοιωτή πρέπει να γίνει διαχωρισμός δυο βασικών δομικών στοιχείων της προσομοίωσης: τα στοιχεία σύνθεσης του δικτύου και τα γεγονότα του δικτύου. Το μοντέλο που υλοποιείται περιγράφει την κατάσταση σύνθεσης του δικτύου όπως είναι οι κόμβοι, δρομολογητές, και οι συνδέσεις και τα γεγονότα όπως είναι η μετάδοση των δεδομένων και τα λάθη κατά την μετάδοση. Μια βασική παραγωγή στοιχείων κατά την επεξεργασία της προσομοίωσης είναι η καταγραφή του κάθε πακέτου και ειδικά των γεγονότων. Η εστίαση στα αποτελέσματα προσεγγίζει την αξιοπιστία και μεταφορά των δεδομένων αφού εκεί έγκειται η απόδοση και η λειτουργικότητα του. Επίσης η προσομοίωση προσφέρει πολλά εργαλεία της αναπαράστασης του δικτύου έτσι ώστε να υπάρχει οπτική επαφή για την σχεδίαση. (Wehrle, Klaus, Gunes, Mesut, 2010)

Γενικά η προσομοίωση των δικτύων είναι μια πολύ σημαντική διαδικασία για θέματα αρχιτεκτονικής και σχεδίασης δικτύων στα οποία στηρίζονται και λειτουργούν πληροφοριακά συστήματα. Η προσομοίωση δικτύων είναι μια σύνθετη διαδικασία. Ο

στόχος είναι η σωστή λήψη δεδομένων και η επεξεργασία τους για την εξαγωγή σημαντικών και κυρίως αξιόπιστων αναλύσεων και αποτελεσμάτων. Οι προσομοιωτές διαθέτουν εξειδικευμένες τεχνικές όπως είναι οι μεταβλητές δεδομένων και ελέγχου, η παραμετροποίηση και η δειγματοληψία. (Guizani, Rayaes, Khan, Fuqaha, 2010)

Η βασική παράμετρος για την προσομοίωση και τη επεξεργασία των δεδομένων που συλλέγονται είναι ο χρόνος της συντέλεσης των γεγονότων και διαδικασιών του δικτύου. Οι προσομοιωτές χρησιμοποιούν την προσομοίωση διακριτών γεγονότων ως μια διακριτή αλληλουχία γεγονότων στο χρόνο. Το κάθε γεγονός δημιουργείται σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή και δημιουργεί μια αλλαγή της κατάστασης στο σύστημα. Επομένως η παρατήρηση των γεγονότων γίνεται με δειγματοληψία ή συνεχής όπου παρακολουθείται συνεχώς η δυναμική του δικτύου στην πάροδο του χρόνου λειτουργίας του. Όπως συμβαίνει σε παρόμοιες καταστάσεις σε πληροφοριακά συστήματα η δειγματοληψία είναι πιο γρήγορη αλλά όχι αξιόπιστη ενώ η συνεχής προσομοίωση είναι αργή αλλά αξιόπιστη.

Σχετικά με τον χρήστη της προσομοίωσης τον βοηθάει με την χρήση σεναρίων να προβλέπει την συμπεριφορά του δικτύου που υλοποιεί. Όπως προ είπαμε γίνεται το μοντέλο του δικτύου στα δομικά στοιχεία που το απαρτίζουν και την σύνθεση του και τα γεγονότα που επιτελούνται. Ο χρήστης κάθε φορά προσαρμόζει διαφορετικά χαρακτηριστικά του συστήματος έτσι ώστε να προσδιοριστεί πως θα συμπεριφερόταν το δίκτυο κάτω από διαφορετικές συνθήκες παραγωγής. Ο βασικός στόχος είναι η σωστή αρχιτεκτονική και σχεδίαση του δικτύου. (Guizani, Rayaes, Khan, Fuqaha, 2010)

### **7.3. Χρήσεις προσομοίωσης ασύρματων δικτύων**

Όπως έχουμε αναφέρει πολλές φορές ο βασικός σκοπός της προσομοίωσης είναι βάση των αποτελεσμάτων και των στοιχείων που δίνει με την χρήση σεναρίων σε συνθήκες παραγωγής να αποτελέσει τον σωστό οδηγό αξιολόγησης και επιλογής του δικτύου σε θέματα αρχιτεκτονικής και σχεδίασης.

Οι προσομοιωτές δικτύων εξυπηρετούν πολλές και διαφορετικές ανάγκες. Δυο βασικοί παράμετροι που πρέπει να τονιστούν είναι ο χρόνος και το κόστος. Η προσομοίωση είναι μια γρήγορη και με μικρό κόστος διαδικασία σε σύγκριση με την σύσταση ενός πραγματικού δικτύου με τα δομικά στοιχεία σύνθεσης του (δρομολογητές, συνδέσεις κλπ.). το μεγάλο πλεονέκτημά που προσφέρει στους σχεδιαστές των δικτύων είναι η δυνατότητα που τους παρέχει να δοκιμάσουν σενάρια τα οποία είναι ιδιαίτερα δύσκολα στην υλοποίηση και κυρίως έχουν μεγάλο κόστος. (Guizani, Rayaes, Khan, Fuqaha, 2010)

Ο προσομοιωτής δικτύων καλύπτει ένα μεγάλο εύρος τεχνολογιών δικτύωσης, δημιουργία τύπων δικτύων όπως είναι δίκτυα ευρείας περιοχής, τοπικά δίκτυα, ασύρματα δίκτυα, δημιουργία πολύπλοκων δικτύων με την δημιουργία των δομικών στοιχείων και γεγονότων που έχουν. Γίνεται προσομοίωση σε κόμβους, γέφυρες, συνδέσεις, δρομολογητές, στην μεταφορά των δεδομένων μέσω των πακέτων, τα λάθη που δημιουργούνται, τοπολογίες και άλλες σημαντικές οντότητες του δικτύου. (Al-Bahadili, 2012)

Ειδικά στην περίπτωση των ασύρματων δικτύων αισθητήρων τα οποία πραγματεύεται η συγκεκριμένη εργασία η χρήση προσομοιωτή είναι επιτακτική ανάγκη για την σωστή σχεδίαση τους. Σε αυτή την ενότητά σχετικά με την αρχιτεκτονική τους αναφέραμε την ιδιαιτερότητα που έχουν σχετικά με την δημιουργία πολλαπλών κόμβων, την πυκνότητα τους και τα θέματα σχετικά με την ενέργεια τους για την βιωσιμότητα τους. Επομένως η προσομοίωση σε αυτές τις αρχιτεκτονικές με την χρήση πρωτοκόλλων είναι πολύ σημαντική για την λήψη των σωστών αποφάσεων σχετικά με την αξιοπιστία, λειτουργικότητα και απόδοση του δικτύου. (Al-Bahadili, 2012)

Ο σχεδιαστής του δικτύου έχει την δυνατότητα σε αρχικό στάδιο να δημιουργήσει το βασικό του δίκτυο με την αναπαράσταση της τοπολογίας καθορίζοντας τα βασικά δομικά στοιχεία που το απαρτίζουν όπως είναι οι κόμβοι και οι συνδέσεις. Επίσης μπορεί να καθορίσει πολλές λεπτομέρειες σχετικά με τα πρωτόκολλα και την κυκλοφορία σε ένα δίκτυο. Το τελικό στάδιο είναι με την δημιουργία πολλών σεναρίων με παραμετροποιήσεις συνθήκων παραγωγής να προσομοιώσει το δίκτυο, να λάβει σημαντικά αποτελέσματα για την λειτουργικότητα του δικτύου και τα προβλήματα που εντοπίζονται για να λάβει τις σωστές αποφάσεις. Επίσης το γραφικό περιβάλλον και η γραφική αναπαράσταση του δικτύου δίνουν την δυνατότητα της απεικόνισης της προσομοίωσης που τον βοηθάει στην σχεδίαση και άνετη διαχείριση του. (Al-Bahadili, 2012)

---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. Λογισμικό Προσομοίωσης Ασύρματων Δικτύων Και Παραδείγματα

### 8.1. J-Sim

Ο προσομοιωτής J-Sim έχει υλοποιηθεί με την γλώσσα προγραμματισμού JAVA. Περιλαμβάνει φιλικό με πολλές λειτουργίες εικονικό περιβάλλον με δυνατό χαρακτηριστικό του την υποστήριξη προσομοιώσεων σε πλατφόρμα διαδικτύου.



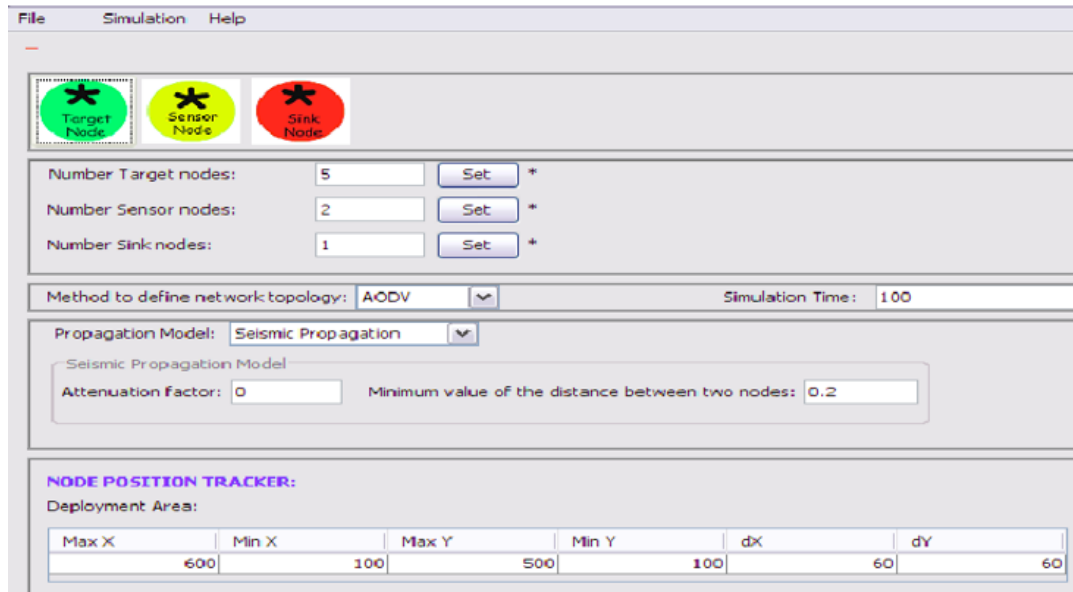
Σχετικά με την αρχιτεκτονική του και τις διαδικασίες λειτουργίας του, στα θέματα σχεδίασης ισχύουν οι βασικές αρχές όλων των λογισμικών με την σχεδίαση των μοντέλων των δικτύων με τα δομικά τους στοιχεία. Η προσομοίωση γίνεται με την χρήση ενός δικτύου μεταγωγής πακέτων.

Το μοντέλο ορίζει μια γενική δομή για ένα κόμβο (κόμβος / δρομολογητής), καθώς και τα γενικά συστατικά του δικτύου τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν βασικές κλάσεις για την υλοποίηση των πρωτόκολλων πολλαπλών επιπέδων. Το μοντέλο που χρησιμοποιείται εξυπηρετεί πολλαπλές δικτυακές αρχιτεκτονικές όπως είναι η δικτυακή αρχιτεκτονική των κινητών ασύρματων δικτύων και των οπτικών δικτύων.

Τα βασικά χαρακτηριστικά του προσομοιωτή J-Sim εστιάζονται στην αντικειμενοστραφή υλοποίηση του με την γλώσσα προγραμματισμού JAVA, το προγραμματιστικό μοντέλο το οποίο βασίζεται σε αυτόνομες διαδικασίες, προσομοίωση πραγματικού χρόνου, και διασυνδέσεις με το διαδίκτυο με χρήση πρωτόκολλων. ([www.j-sim.org](http://www.j-sim.org), 2018)

The image shows a screenshot of the J-Sim software interface, specifically the 'Power Model' configuration window. The window has three tabs: 'Power Model' (selected), 'Sensor Mobility Model', and 'Sensor Function Model'. The 'Power Model' tab is divided into several sections:

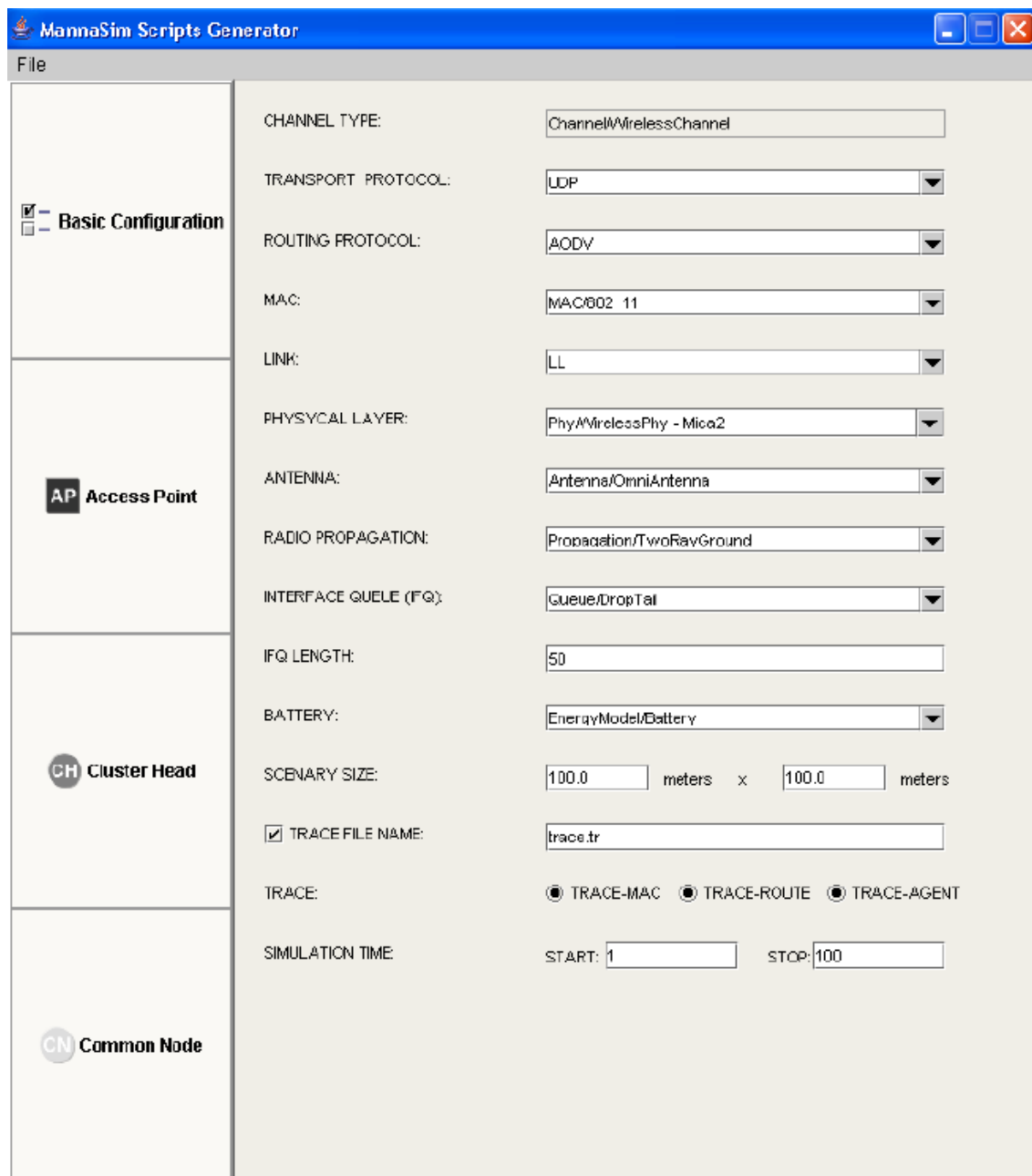
- CPU MODEL:** Contains 'CPU Type' (set to 'CPUAvr'), 'CPU Mode' (empty text box), and a 'j.Label1' label.
- BATTERY MODEL:** Contains 'Battery Type' (set to 'BatteryBase') and 'Battery Energy' (set to '1').
- RADIO MODEL:** Contains 'Radio Type' (set to 'RadioBase'), 'Radio Mode' (empty text box), and a section for 'Current Used By the Radio When is:' with 'Transmitting' and 'Receiving' sub-sections, each having an empty text box.
- Data Rate:** An empty text box.
- Buttons:** A 'Save Power Model' button is located at the bottom right.



## 8.2. Mannasim

Το λογισμικό προσομοίωσης Mannasim προσεγγίζει αρκετά στα χαρακτηριστικά και τις λειτουργίες του J-Sim. Εστιάζει στην ανάλυση των προσομοιώσεων των ασύρματων δικτύων αισθητήρων. Το MannaSim δημιουργήθηκε ως επέκταση του προσομοιωτή NS-2. Αποτελεί ένα λογισμικό το οποίο έχει σαν βάση τον NS-2. Αποτελεί και αυτό λογισμικό ανοικτού κώδικα το οποίο διανέμεται δωρεάν. Αυτό αποτελεί και το μειονέκτημα του σε σχέση με τα άλλα λογισμικά προσομοίωσης που εξετάζονται, ότι στηρίζεται και κληρονομεί τις λειτουργίες του παρωχημένου πλέον NS-2 το οποίο έχει αντικατασταθεί από το NS-3 με νέα λειτουργικότητα και κάλυψη πολλών νέων ερευνητικών θεμάτων.

Το MannaSim προσφέρει πολλές δυνατότητες σε σχέση με την προσομοίωση των ασύρματων δικτύων αισθητήρων. Συγκεκριμένα επιτρέπει στον χρήστη να διαμορφώνει λεπτομερή σενάρια για προσομοιώσεις, κάνει χρήση μοντέλων με ακρίβεια στους κόμβους των αισθητήρων, αποτελεί μια ευέλικτη πλατφόρμα δοκιμών για αλγόριθμους και πρωτόκολλα, ιεραρχική τοπολογία, πρωτόκολλα δρομολόγησης, κατευθυνόμενη διάχυση, δρομολόγηση με διάνυσμα εξ αποστάσεως προορισμού, δυναμικά ελεγχόμενη δρομολόγηση, ιεραρχία προσαρμογής χαμηλής ενέργειας, αλγόριθμοι δρομολογήσεων, προσομοίωση διαφορετικών συσκευών αισθητήρων, χρήση διαφορετικών επιλογών ανίχνευσης, διαφορετικών επιλογών επεξεργασίας, κάνει προσομοίωση επίπεδων και ιεραρχικών δικτύων αισθητήρων, προσομοίωση ομοιογενών και ετερογενών δικτύων αισθητήρων κλπ. (*www.mannasim.dcc.ufmg.br*, 2018), (*Ghizoni, Santos and Ruiz*, 2012)



### 8.3. NS-3

Ο προσομοιωτής NS-3 αποτελεί την εξέλιξη του NS-2. Αναπτύχθηκε με την γλώσσα προγραμματισμού C++ και χρησιμοποιείται για την δημιουργία μοντέλων προσομοίωσης δικτύων. Η προσομοίωση γίνεται μέσω της C++ και με την χρήση βιβλιοθηκών Python.

Ιστορικά το 2006 μια ομάδα ερευνητών έλαβε χρηματοδότηση από το αμερικανικό

Εθνικό Ίδρυμα Επιστημών (N.S.F.) για να κάνει την ανάπτυξη του NS-3 σαν μετεξέλιξη του NS-2. Μετά από δυο χρόνια το 2008 υλοποιήθηκε η πρώτη έκδοση του NS-3, που

είχε τα βασικά χαρακτηριστικά ότι ήταν μια νέα υλοποίηση για να καλύψει τα κενά και τα προβλήματα του NS-2 και αποτελεί προσομοιωτή ανοικτού κώδικα. Ο προσομοιωτής NS-3 αναπτύσσεται και συντηρείται συνεχώς ,με την δημιουργία πολλών εκδόσεων. Ο βασικός στόχος του προσομοιωτή NS-3 ήταν η ανάπτυξη του από μια κοινότητα ανοικτού κώδικα με κύριο άξονα την κάλυψη των σύγχρονων ερευνητικών αναγκών σε θέματα προσομοίωσης δικτύων. (*www.nsnam.org, 2018*)

Σχετικά με θέματα εγκατάστασης ο προσομοιωτής NS-3 διανέμεται βάση της άδειας χρήσης GNU Public License. Για να γίνει η εγκατάσταση τη πλατφόρμας πρέπει να υπάρχει ο πηγαίος κώδικας και να μεταγλωττιστεί. Οι πλατφόρμες λειτουργικού συστήματος στο οποίο μπορεί να γίνει η εγκατάσταση είναι σε UNIX/Linux και Microsoft Windows. Τα σενάρια χρήσης της πλατφόρμας προσομοίωσης είναι υλοποιημένα σε Python και γίνεται η μεταφόρτωση τους στον προσομοιωτή. (*www.nsnam.org, 2018*)

Η βασική αρχιτεκτονική του προσομοιωτή είναι ότι τα σενάρια προσομοίωσης είναι υλοποιημένα σε γλώσσα Python και εκτελούνται από τον προσομοιωτή που είναι υλοποιημένος σε C++. Τα σενάρια δέχονται παραμετροποιήσεις για την εκτέλεση τους. Το σενάριο μεταγλωττίζεται και στην περίπτωση λαθών γίνονται διορθώσεις όπως γίνεται σε όλα τα προγραμματιστικά περιβάλλοντα.

#### **Χαρακτηριστικά:**

- Ο προσομοιωτής NS-3 είναι υλοποιημένος σε αντικειμενοστραφή λογική (C++) και τα σενάρια του σε Python.
- Ο προσομοιωτής NS-3 είναι λογισμικό ανοικτού κώδικα.
- Ο προσομοιωτής NS-3 αναπτύσσεται συνεχώς καλύπτοντας τα σύγχρονα ερευνητικά θέματα πάνω στην προσομοίωση των δικτύων.
- Ο προσομοιωτής NS-3 συνδέεται στατικά ή δυναμικά με το βασικό δομικό στοιχείο που είναι υλοποιημένο σε C++ το οποίο καθορίζει την τοπολογία προσομοίωσης και ξεκινάει την διαδικασία της προσομοίωσης.
- Ο προσομοιωτής NS-3 παρέχει ένα σύνολο μοντέλων προσομοίωσης δικτύου τα οποία εκτελούνται σε C++ και είναι βασισμένα σε Python.
- Ο προσομοιωτής NS-3 κάνει μια σύνδεση των δυο βασικών γλωσσών προγραμματισμού που διαθέτει της C++ και της Python όταν πραγματοποιείται η αλληλεπίδραση από τον χρήστη.
- Ο προσομοιωτής NS-3 κάνει πολύ καλή διαχείριση των πόρων του συστήματος ειδικά της υπολογιστικής ισχύος και της μνήμης.

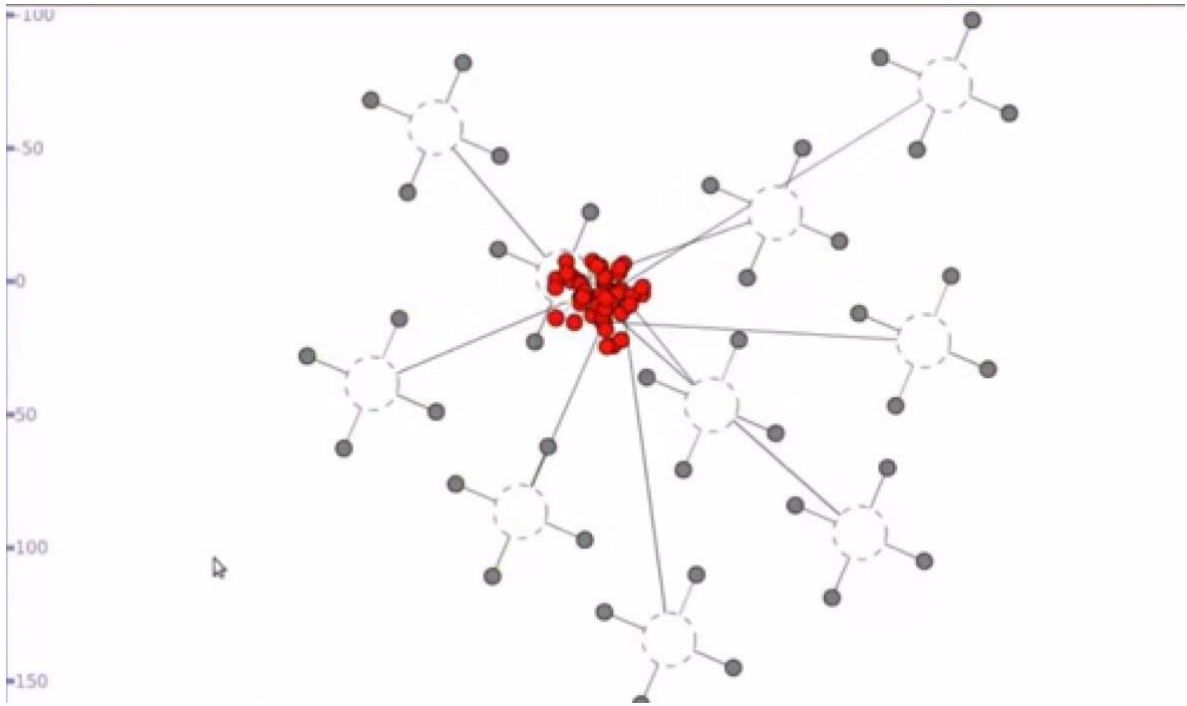
- Ο προσομοιωτής NS-3 κάνει πολύ καλή διαχείριση των πακέτων που δημιουργούνται κατά την προσομοίωση και των αλγόριθμων προσομοίωσης.
- Ο προσομοιωτής NS-3 διαθέτει πολύ καλή αλληλοεπίδραση σχετικά με τον χειρισμό του από του χρήστες.

*(www.nsnam.org, 2018)*

Σχετικά με τις τεχνικές που χρησιμοποιεί για την μοντελοποίηση και την προσομοίωση των δικτύων η πιο απλή είναι η ενσωμάτωση και χρήση των ήδη υπαρχόντων βιβλιοθηκών υλοποίησης δικτυακών πρωτοκόλλων στον προσομοιωτή. Επίσης μπορεί να γίνει η ενσωμάτωση εξωτερικά της μετατροπής των μοντέλων άλλων προσομοιωτών με την παραγωγή κώδικα. Η συγκεκριμένη διαδικασία είναι αρκετά δύσκολη, προϋποθέτει προγραμματιστικές γνώσεις αλλά αποφέρει και το πλεονέκτημα εκμετάλλευσης των χαρακτηριστικών άλλων ανταγωνιστικών μοντέλων άλλων λογισμικών. *(www.nsnam.org, 2018)*

Ο βασικός στόχος στην λειτουργία του προσομοιωτή είναι να παρέχει ενημερωμένα μοντέλα και πρωτόκολλα με τις λειτουργίες τους, να υπάρχει πλήρης παραμετροποίηση με εισαγωγή πραγματικών δεδομένων και να καλύπτει τα σύγχρονα δικτυακά συστήματα και τις ερευνητικές ανάγκες που προκύπτουν. Τα σενάρια που δημιουργούνται και εκτελούνται με την προσομοίωση πρέπει να παράγουν αποτελέσματα σε πραγματικές συνθήκες έτσι ώστε το αποτέλεσμα της προσομοίωσης να είναι χρήσιμο στα παραγωγικά πληροφοριακά συστήματα για τις ανάγκες της αρχιτεκτονικής και σχεδίασης των συστημάτων.

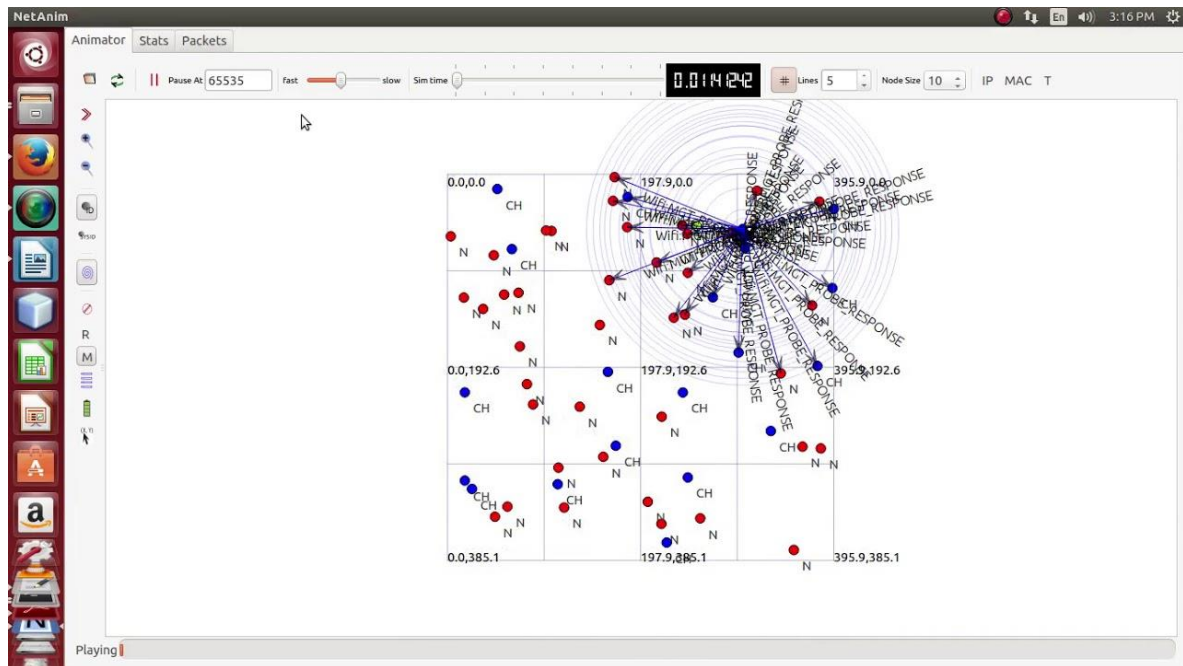
Η χρήση του NS-3 είναι αρκετά ικανοποιητική ειδικά για εκπαιδευτικούς σκοπούς. Χρησιμοποιείται όμως ευρέως και για επαγγελματικούς σκοπούς για την τελική διαμόρφωση των δικτύων. Το θετικό είναι ότι αποτελεί λογισμικό ανοικτού κώδικα που έχει σαν αποτέλεσμα ότι υποστηρίζεται από μια μεγάλη κοινότητα που κάνει συνεχή έρευνα και ανάπτυξη. Το μεγάλο πρόβλημα όλων των λογισμικών προσομοίωσης και ο μεγάλος στόχος είναι η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων του προσομοιωτή. *(www.nsnam.org, 2018)*



The screenshot shows the NetAnim software interface. The window title is "NetAnim" and the system tray shows the time as 4:14 PM. The interface includes a top menu bar with "Animator", "Stats", and "Packets". Below the menu bar is a control panel with a "Pause At" field set to "65535", a "fast" to "slow" speed slider, and a "Sim time" display showing "0.00576534". There are also dropdown menus for "Lines" (set to 5) and "Node Size" (set to 9), and labels for "IP", "MAC", and "T".

The main simulation area displays a network of nine sensor nodes arranged in a circular pattern. Each node is represented by a small blue and black sensor icon with the word "sensor" written below it. The nodes are interconnected by a mesh of lines, forming a central node connected to four surrounding nodes, which are in turn connected to the outermost nodes. The nodes are labeled "sensor" at their respective positions: top-left, top, top-right, center, bottom-right, bottom, bottom-left, and two more at the bottom.

On the left side of the interface is a vertical toolbar with various icons for simulation control, including a play button, a stop button, and several network-related symbols. At the bottom left, the status "Playing" is indicated.



#### 8.4. Omnet++

Το λογισμικό προσομοίωσης Omnet++ αποτελεί ένα σύνολο πολλαπλών βιβλιοθηκών δημιουργίας προσομοιωτών δικτύων το οποίο βασίζεται στην γλώσσα προγραμματισμού C++. Το Omnet++ έχει την αρχιτεκτονική των αυτόνομων λειτουργικών μονάδων για την αναπαράσταση των στοιχείων και λειτουργιών του δικτύου. Αυτό γίνεται με την χρήση παραμέτρων και μεθόδων που υλοποιούν την προσομοίωση. Το Omnet++ προσομοιώνει πολλούς τύπους δικτύων και όχι μόνο τα ασύρματα τα οποία πραγματεύεται η συγκεκριμένη εργασία. Συγκεκριμένα προσομοιώνει ενσύρματα δίκτυα, ασύρματα δίκτυα, δίκτυα μεταφορών, δρομολογητές και άλλα βασικά δομικά στοιχεία αρχιτεκτονικής δικτύου. ([www.omnetpp.org](http://www.omnetpp.org), 2018)

Πιο αναλυτικά σχετικά με την αρχιτεκτονική που χρησιμοποιεί το Omnet++ οι προσομοιωτές που διαθέτει εξετάζουν διάφορα μοντέλα. Ένα μοντέλο αποτελεί ένα δίκτυο. Κάθε μοντέλο-δίκτυο αποτελείται από ιεραρχικά δομημένες μονάδες. Η ρίζα του δένδρου που δημιουργείται στην ιεραρχία είναι η μονάδα συστήματος η οποία ισοδυναμεί με το δίκτυο που γίνεται η προσομοίωση ως μια οντότητα-αντικείμενο η οποία περιέχει όλες τις υπό-μονάδες που την απαρτίζουν.

Σχετικά με την δομή του μοντέλου περιγράφεται με την NED γλώσσα προγραμματισμού που έχει ενσωματωμένη το Omnet++. Όπως προ είπαμε στο δένδρο ιεραρχίας οι μονάδες περιέχουν άλλες υπό-μονάδες από τις οποίες αυτές που βρίσκονται στο κατώτερο

επίπεδο της ιεραρχίας περιέχουν τους αλγόριθμους του μοντέλου και καθορίζουν την συμπεριφορά και λειτουργία του προσομοιωτή. Η λειτουργία αυτών των μονάδων εκτελείται από την C++. (Varga, 2005)

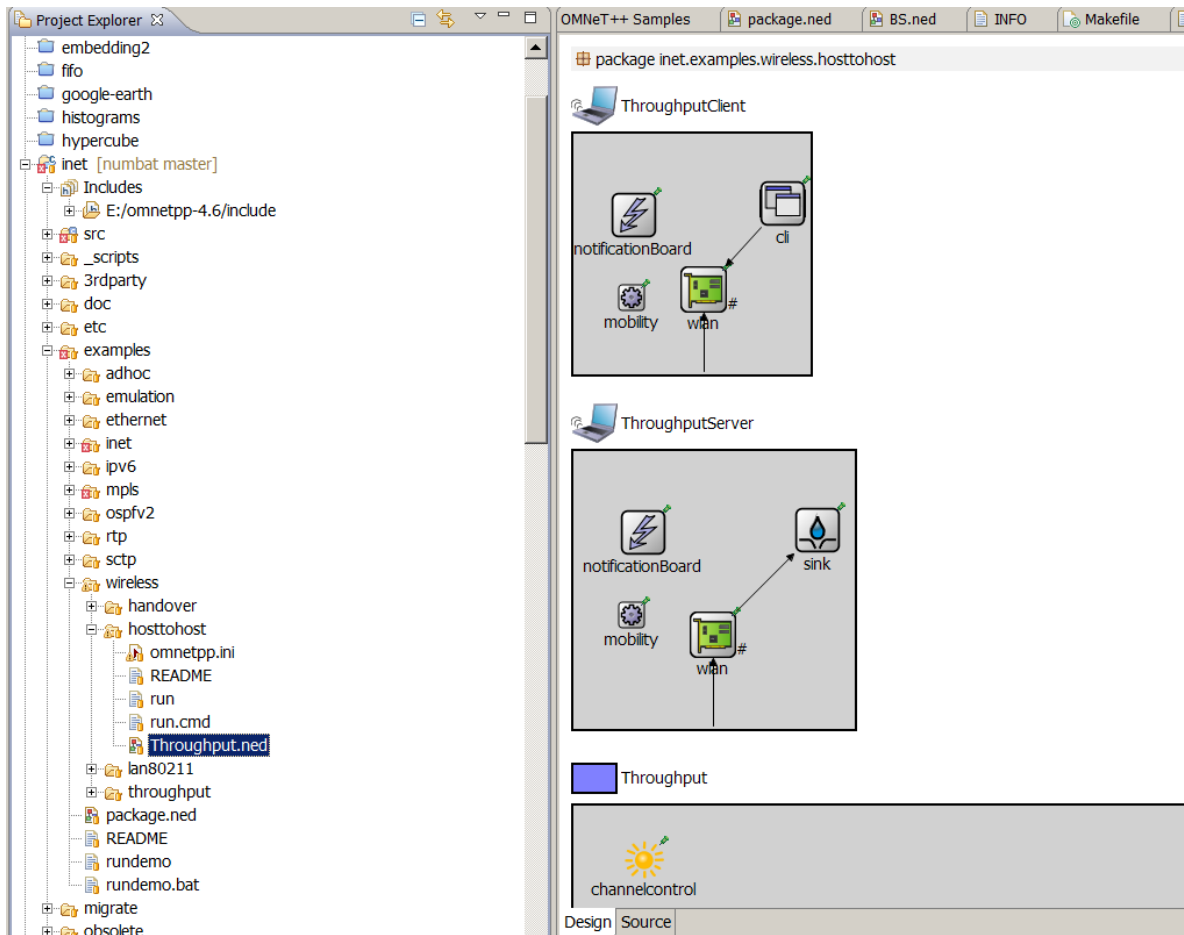
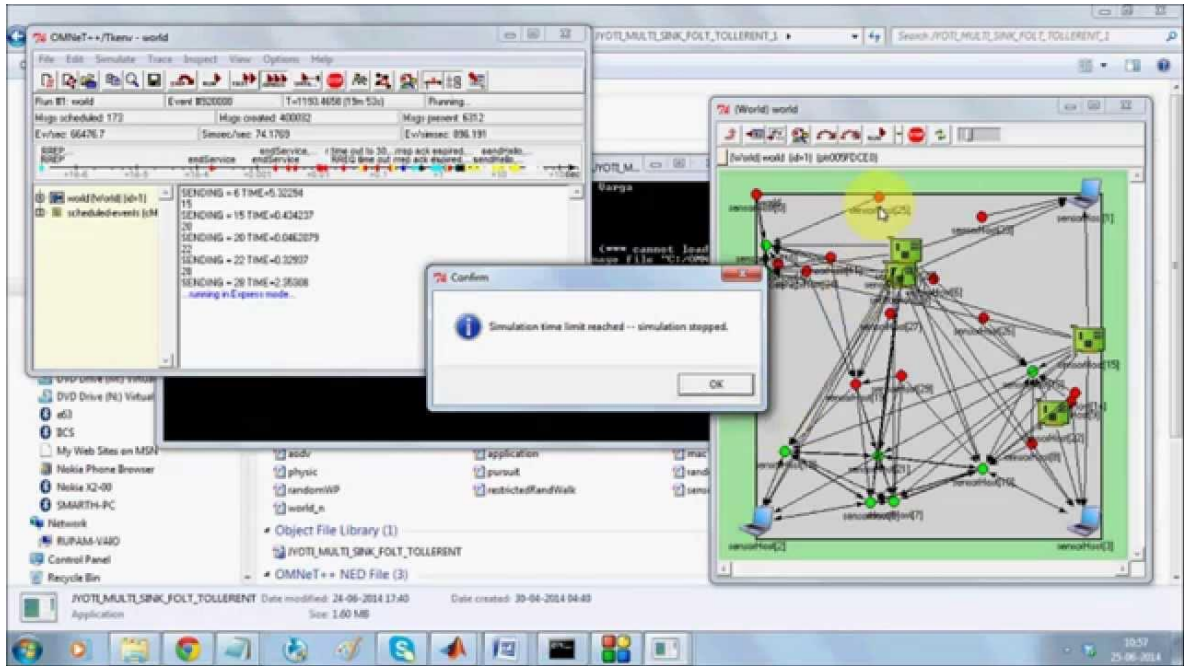
Πριν ξεκινήσει η διαδικασία προσομοίωσης του δικτύου γίνεται η σχεδίαση του μοντέλου. Το μοντέλο αποτελείται από τίς απλές ή σύνθετες μονάδες που αποτελούν τα δομικά αυτόνομα στοιχεία του δικτύου. Ο χρήστης σχεδιάζει το δίκτυο/σύστημα βάση της δικής του αρχιτεκτονικής και λειτουργίας. Τα δομικά στοιχεία χωρίζονται ως απλές ή σύνθετες μονάδες με αποτέλεσμα το σύστημα να οργανώνεται αποδοτικά σε μικρά μέρη με αυτόνομα.

Ενδιαφέρον έχει και η λειτουργία των γεγονότων. Το Omnet++ για να κάνει αναπαράσταση των γεγονότων χρησιμοποιεί μηνύματα. Το Omnet++ έχει υλοποιηθεί σε C++, μια αντικειμενοστραφή γλώσσα προγραμματισμού. Επομένως και οι λογικές και λειτουργίες που χρησιμοποιεί είναι με αντικειμενοστραφή λογική. Κάθε γεγονός είναι μια δημιουργία της τάξης μηνύματος ή κάποιας παράγωγης τάξης της. Τα μηνύματα αποστέλλονται από μονάδα σε μονάδα μέχρι να καταλήξουν στον προορισμό τους. Το γεγονός ενεργοποιείται από το μήνυμα στην μονάδα που παραλαμβάνει το μήνυμα και στον χρόνο προσομοίωσης που το παρέλαβε. Η εκτέλεση των μηνυμάτων γίνεται κατά προτεραιότητα παράδοσης στον παραλήπτη. Το κάθε μήνυμα χαρακτηρίζεται από μια προτεραιότητα στην περίπτωση που πολλά μηνύματα φθάσουν στον ίδιο χρόνο προσομοίωσης στον ίδιο προορισμό. ([www.omnetpp.org](http://www.omnetpp.org), 2018)

Σχετικά με τα προγράμματα λογισμικού διασύνδεσης για την χρήση του προγράμματος το Omnet++ προσφέρει δύο διαφορετικούς τρόπους εκτέλεσης προσομοιώσεων: Σε γραφικό περιβάλλον υλοποιημένο και σε εκτέλεση στην γραμμή εντολών του κελύφους. Όπως σε κάθε λογισμικό το γραφικό περιβάλλον ενδείκνυται για παρουσιάσεις προσομοιώσεων, για εύκολη χρήση στην σχεδίαση, τον εντοπισμό των σφαλμάτων και γενικότερα την καλύτερη εποπτεία της προσομοίωσης. Με την εκτέλεση σε γραμμή εντολών δίνεται η ταχύτητα στην εξαγωγή αποτελεσμάτων, μπορούν να γίνουν μαζικές εκτελέσεις σεναρίων άλλα απαιτεί εξοικείωση με τον προγραμματισμό και περισσότερο με την χρήση λειτουργικών συστημάτων. (Varga, 2005)







## LED αρχείο με το σύνολο όλων των διαδικασιών.

- [-] Configuration
  - General
  - Scenarios
  - Random Numbers
  - Result Recording
  - Event Log
  - Advanced
  - Cmdenv
  - Tkenv
  - Extensions
  - Parallel Simulation
- Sections
- Parameters

**General**

Network

Network to simulate:   ▾

---

Stopping Condition

Simulation time limit:   ▾

CPU time limit:   ▾

---

Other

Simulation time precision:

## Παραμετροποιήσεις:

- [-] Configuration
  - General
  - Scenarios
  - Random Numbers
  - Result Recording
  - Event Log
  - Advanced
  - Cmdenv
  - Tkenv
  - Extensions
  - Parallel Simulation
- Sections
- Parameters

**Parameter Assignments**

Configuration:

HINT: Drag the icons to change the order of entries.

Section/Key	Value	Comment
[-]  General		
• *.playgroundSizeX	400	
• *.playgroundSizeY	400	
• **.debug	true	
• **.coreDebug	false	
• **.channelNumber	0	
• **.channelcontrol.nun	1	
• **.mobility.x	-1	
• **.mobility.y	-1	
• **.mobility.cx	200	
• **.mobility.cy	200	
• **.mobility.r	100	
• **.mobility.speed	1 mps	
• **.mobility.updateInte	100ms	
• **.cliHost[0].mobility.s	0	
• **.cliHost[1].mobility.s	60deg	
• **.cliHost[2].mobility.s	120deg	
• **.cliHost[3].mobility.s	180deg	
• **.cliHost[4].mobility.s	240deg	
• **.cliHost[5].mobility.s	300deg	
• *.channelcontrol.carrie	2.4GHz	
• *.channelcontrol.pMax	20mW	
• *.channelcontrol.sat	-110dBm	
• *.channelcontrol.alpha	2	
• **.ap.wlan.mac.address	"10:00:00:00:00:0...	
• **.srvHost.wlan.mac.a	"20:00:00:00:00:0...	

50

## Παράλληλες προσομοιώσεις:

**Parallel Simulation**

Enable parallel simulation

Partitioning

Module partitioning: (default: none)

Section	Module	Partition ID(s)	
			<input type="button" value="Add..."/>
			<input type="button" value="Remove"/>

General

Communications class:

Synchronization class:

Debug parallel simulation

Communications

MPI communications: MPI buffer:

Named Pipe communications: prefix:

File-based communications: prefix:

File-based communications: read prefix:

File-based communications: preserve read files

Protocol-Specific Settings

Null Message Protocol: lookahead class:

## Παραμετροποιήσεις:

NED Parameters Console

Section [General], all parameters

Parameter	Value	Remark
Throughput.cliHost[*].cli.respLength	0	ini (overrides NED default: 1KB); see [General...]
Throughput.cliHost[*].cli.registerSAP	false	NED
Throughput.cliHost[*].wlan.mgmt.accessPointAddress	"10:00:00:...	ini; see [General] / **.mgmt.accessPointAddr...
Throughput.cliHost[*].wlan.mgmt.frameCapacity	10	ini (overrides NED default: 100); see [General...]
Throughput.cliHost[*].wlan.mac.address	"auto"	ini (sets same value as NED default); see [Ge...]
Throughput.cliHost[*].wlan.mac.queueModule	"mgmt"	NED
Throughput.cliHost[*].wlan.mac.maxQueueSize	14	ini; see [General] / **.mac.maxQueueSize=14
Throughput.cliHost[*].wlan.mac.bitrate	11Mbps	ini; see [General] / **.mac.bitrate=11Mbps
Throughput.cliHost[*].wlan.mac.rtsThresholdBytes	3000B	ini (overrides NED default: 2346B); see [Gene...]
Throughput.cliHost[*].wlan.mac.retryLimit	7	ini (overrides NED default: -1); see [General] ...
Throughput.cliHost[*].wlan.mac.cwMinData	31	ini (overrides NED default: -1); see [General] ...
Throughput.cliHost[*].wlan.mac.cwMinBroadcast	31	ini (overrides NED default: -1); see [General] ...
Throughput.cliHost[*].wlan.mac.mtu	1500	NED default applied implicitly
Throughput.cliHost[*].wlan.radio.channelNumber	0	ini (sets same value as NED default); see [Ge...]
Throughput.cliHost[*].wlan.radio.transmitterPower	20.0mW	ini (overrides NED default: 20mW); see [Gen...]
Throughput.cliHost[*].wlan.radio.bitrate	11Mbps	ini; see [General] / **.radio.bitrate=11Mbps
Throughput.cliHost[*].wlan.radio.thermalNoise	-110dBm	ini (sets same value as NED default); see [Ge...]
Throughput.cliHost[*].wlan.radio.pathLossAlpha	2	ini (sets same value as NED default); see [Ge...]
Throughput.cliHost[*].wlan.radio.snirThreshold	4dB	ini (sets same value as NED default); see [Ge...]
Throughput.cliHost[*].wlan.radio.sensitivity	-85mW	ini; see [General] / **.radio.sensitivity=-85mW
Throughput.cliHost[*].mobility.debug	true	ini (overrides NED default: false); see [General...]
Throughput.cliHost[*].mobility.cx	200	ini (overrides NED default: 100); see [General...]
Throughput.cliHost[*].mobility.cy	200	ini (overrides NED default: 100); see [General...]
Throughput.cliHost[*].mobility.r	100	ini (sets same value as NED default); see [Ge...]
Throughput.cliHost[*].mobility.speed	1 mps	ini (overrides NED default: 2mps); see [Gener...]
Throughput.cliHost[*].mobility.startAngle	0	ini (sets same value as NED default); see [Ge...]
Throughput.cliHost[*].mobility.startAngle	60deg	ini (overrides NED default: 0); see [General] / ...
Throughput.cliHost[*].mobility.startAngle	120deg	ini (overrides NED default: 0); see [General] / ...
Throughput.cliHost[*].mobility.startAngle	180deg	ini (overrides NED default: 0); see [General] / ...
Throughput.cliHost[*].mobility.startAngle	240deg	ini (overrides NED default: 0); see [General] / ...
Throughput.cliHost[*].mobility.startAngle	300deg	ini (overrides NED default: 0); see [General] / ...
Throughput.cliHost[*].mobility.startAngle	0	NED default applied implicitly
Throughput.cliHost[*].mobility.updateInterval	100ms	ini (sets same value as NED default); see [Ge...]
Throughput.srvHost.wlan.mgmt.accessPointAddress	"10:00:00:...	ini; see [General] / **.mgmt.accessPointAddr...
Throughput.srvHost.wlan.mgmt.frameCapacity	10	ini (overrides NED default: 100); see [General...]

## Παραγωγή κώδικα:

```
[General]
network = Throughput
#cmdenv-output-file = omnetpp.log
#debug-on-errors = true
tkenv-plugin-path = ../../../../etc/plugins

*.playgroundSizeX = 400
*.playgroundSizeY = 400
**.debug = true
**.coreDebug = false
**.channelNumber = 0
**.channelcontrol.numChannels = 1
**.mobility.x = -1
**.mobility.y = -1

# positions
**.mobility.cx = 200
**.mobility.cy = 200
**.mobility.r = 100
**.mobility.speed = 1 mps
**.mobility.updateInterval = 100ms
**.cliHost[0].mobility.startAngle = 0
**.cliHost[1].mobility.startAngle = 60deg
**.cliHost[2].mobility.startAngle = 120deg
**.cliHost[3].mobility.startAngle = 180deg
**.cliHost[4].mobility.startAngle = 240deg
**.cliHost[5].mobility.startAngle = 300deg

# channel physical parameters
*.channelcontrol.carrierFrequency = 2.4GHz
*.channelcontrol.pMax = 20mW
*.channelcontrol.sat = -110dBm
*.channelcontrol.alpha = 2

# access point
**.ap.wlan.mac.address = "10:00:00:00:00:00"
**.srvHost.wlan.mac.address = "20:00:00:00:00:00"
```

## Παραγωγή κώδικα:

```
package inet.examples.wireless.hosttohost;

import inet.applications.ethernet.EtherAppCli;
import inet.base.NotificationBoard;
import inet.base.Sink;
import inet.mobility.CircleMobility;
import inet.mobility.NullMobility;
import inet.linklayer.ieee80211.Ieee80211NicSTASimplified;
import inet.nodes.wireless.WirelessAPSTASimplified;
import inet.world.ChannelControl;

module ThroughputClient
{
    parameters:
        @display("i=device/wifilaptop");
    gates:
        input radioIn @directIn;

    submodules:
        notificationBoard: NotificationBoard {
            parameters:
                @display("p=52,70");
        }
        cli: EtherAppCli {
            parameters:
                registerSAP = false;
                @display("b=40,24;p=180,60,col");
        }
        wlan: Ieee80211NicSTASimplified {
            parameters:
                @display("p=112,134;q=queue");
        }
        mobility: CircleMobility {
            parameters:
                @display("p=50,141");
        }
}
```

## 8.5. SensorSim

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων λόγω των ιδιοτήτων που έχουν, είναι αναγκαίο να γίνονται απαιτητικές εργασίες ανίχνευσης. Πρέπει να υπάρχει αποτελεσματική επικοινωνία μεταξύ των κόμβων, οι κόμβοι να γνωρίζουν το περιβάλλον τους και να προσαρμόζονται σε αυτό. Επίσης λόγω της πυκνής εγκατάστασης τους και τον τρόπο επικοινωνίας τους πρέπει να συντονίζουν μεταξύ τους την εκτέλεση της διαδικασίας ανίχνευσης ομάδων κόμβων.

Το λογισμικό προσομοίωσης SensorSim εστιάζει στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων με την χρήση νέων μοντέλων και τεχνικών σχεδιασμού. Δίνει την δυνατότητα σε ανάπτυξη και υλοποίηση λεπτομερών τεχνικών προσομοίωσης και αξιολόγησης της απόδοσης του δικτύου. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να βελτιωθεί η κατανόηση της λειτουργίας των

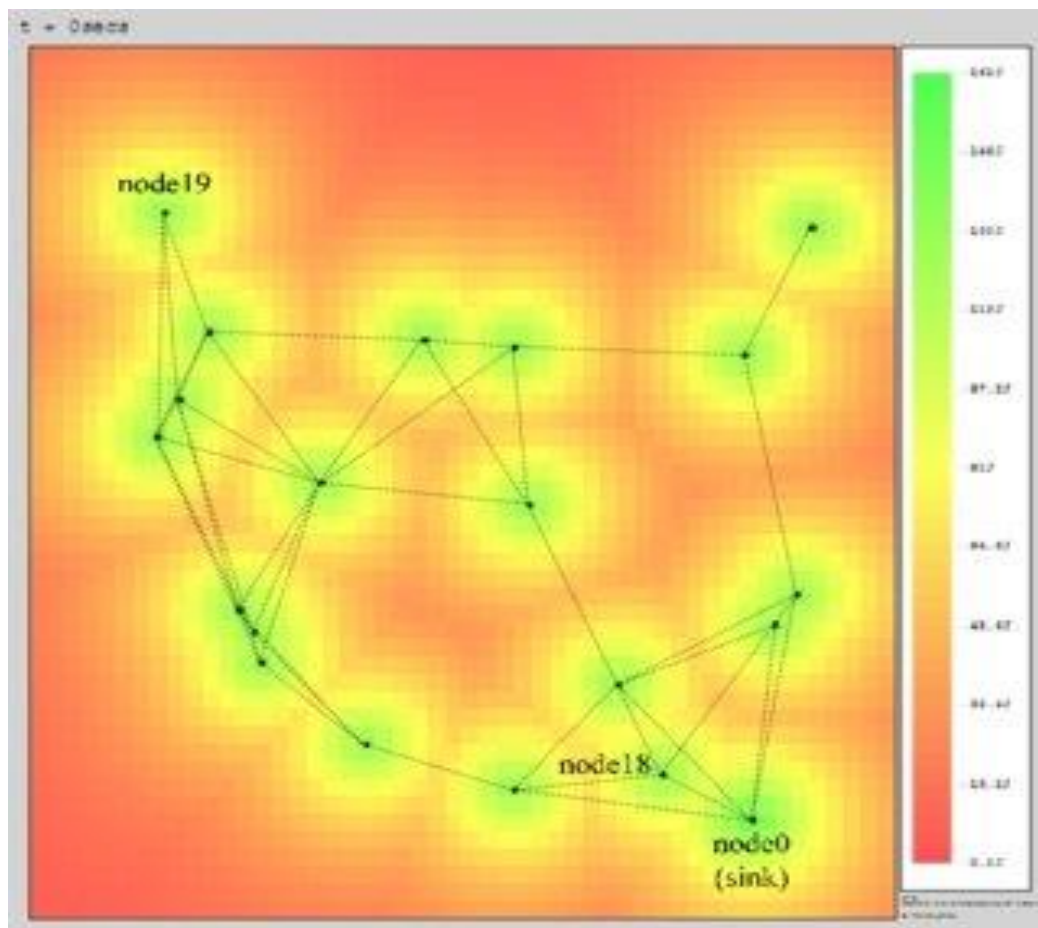


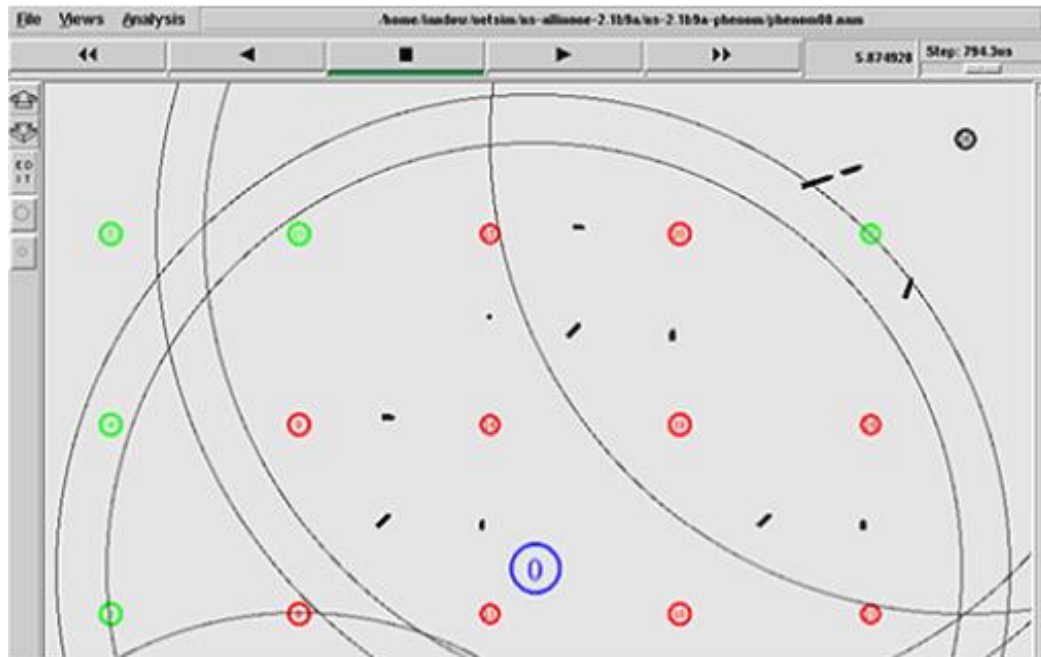
ασύρματων δικτύων αισθητήρων και να γίνει πιο στοχευμένη η ανάπτυξη νέων πρωτοκόλλων και η καλή χρήση και σχεδίαση των δικτύων.

Το λογισμικό προσομοίωσης SensorSim περιλαμβάνει τα βασικά χαρακτηριστικά κυρίως του NS-2 αφού εκεί στηρίζεται η ανάπτυξη του. Η διαφοροποίησή του είναι η παροχή νέων χαρακτηριστικών και λειτουργιών για την ανάλυση της προσομοίωσης των ασύρματων δικτύων αισθητήρων.

Συγκεκριμένα, λειτουργίες οι οποίες περιλαμβάνουν την ικανότητα να διαμορφώνουν την χρήση ενέργειας σε κόμβους αισθητήρων, την υβριδική προσομοίωση που έχει σαν αποτέλεσμα την αλληλεπίδραση των πραγματικών και προσομοιωμένων κόμβων, διαχείριση και ανάλυση νέων πρωτοκόλλων επικοινωνίας και την αλληλεπίδραση του σχεδιαστή σε πραγματικό χρόνο με τη γραφική απεικόνιση των δεδομένων.

*(Kazemeyni, Fatemeh, Johnsen, Broch; Owe, Olaf, Balasingham, Ilangko, 2012)*





## 8.6. SQualnet Si

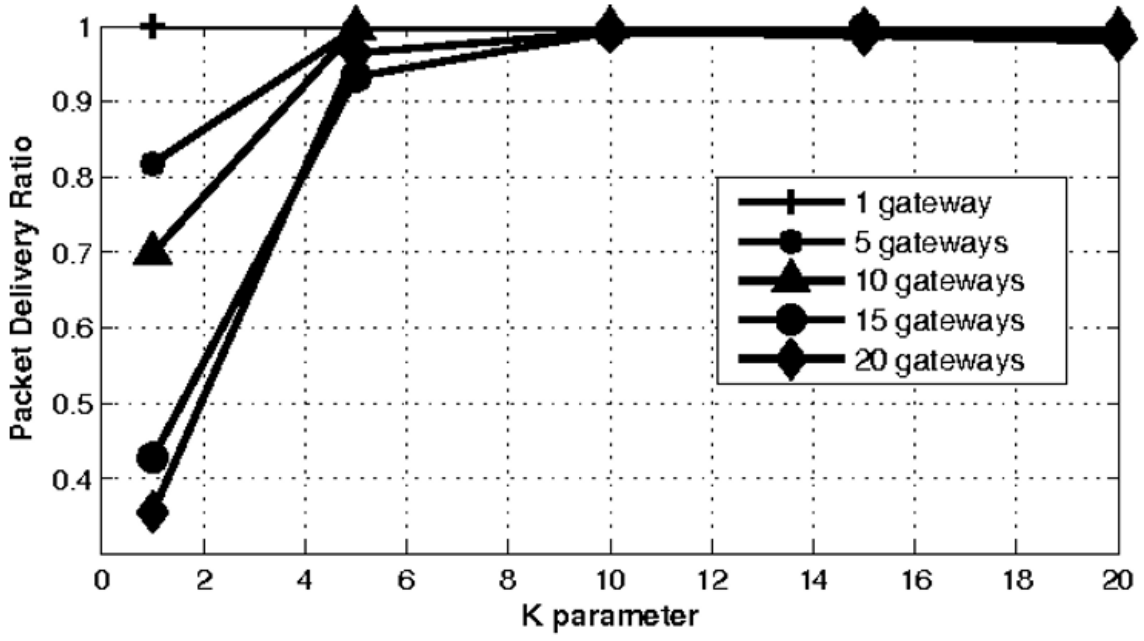
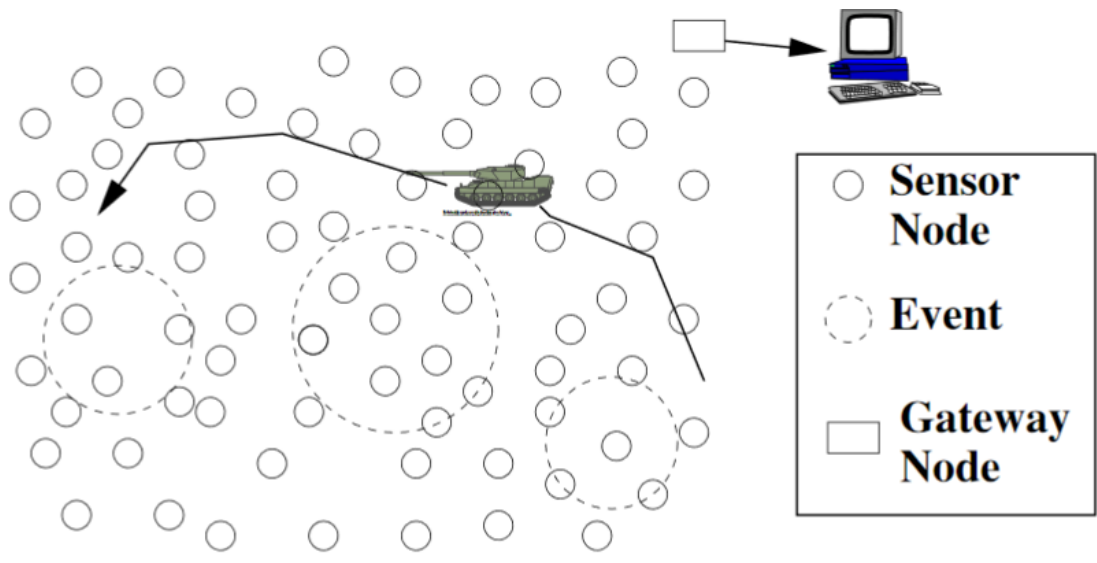
Ο προσομοιωτής λογισμικού SQualnet Si ειδικεύεται στα ασύρματα δίκτυα και προσεγγίζει πολύ τις δυνατότητες και τα χαρακτηριστικά του προσομοιωτή SensorSim. Η διαφοροποίηση του είναι ότι ο SensorSim βασίζεται στον NA-2 ενώ ο SQualnet Si στον δικό του Qualnet. Επίσης σε σχέση με τον SensorSim έχει μεγαλύτερη επεκτασιμότητα και υποστηρίζει αρκετά μεγάλο αριθμό κόμβων στο δίκτυο.

Ο προσομοιωτής SQualnet Si περιλαμβάνει λειτουργίες όπως είναι η ικανότητα να διαμορφώνει την χρήση ενέργειας σε κόμβους αισθητήρων, την υβριδική προσομοίωση, την αλληλεπίδραση των πραγματικών και προσομοιωμένων κόμβων, την διαχείριση και ανάλυση πρωτοκόλλων επικοινωνίας κλπ.

Ο προσομοιωτής SQualnet Si καλύπτει αρκετά χαρακτηριστικά στην ανάλυση της προσομοίωσης των ασύρματων δικτύων αισθητήρων αλλά το βασικό του πλεονέκτημα είναι η κάλυψη μεγάλων δικτύων με μεγάλους φόρτους μεταφοράς πακέτων. Επομένως συνίσταται για σχεδίαση και προσομοίωση μεγάλων και πολύπλοκων δικτύων.

*(Vasu, Varshney, Rengaswamy, Marina, Dixit, Aghera, Srivastava and Bagrodia, 2005)*





# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9. Παραδείγματα προσομοίωσης με χρήση λογισμικού Omnet++

## 9.1. Ασύρματο Δίκτυο 802.11

Το πρότυπο IEEE 802.11 αποτελεί πρότυπο της IEEE για ασύρματα τοπικά δίκτυα (WLAN). Το πρότυπο IEEE 802.11 είναι μια επέκταση του 802.3 το οποίο αποτελεί την ενσύρματη δικτύωση υπολογιστικών συστημάτων. Το συγκεκριμένο παράδειγμα προσημειώνει ένα δίκτυο με χρήση του ασύρματου προτύπου 802.11. Συγκεκριμένα στην σχεδίαση του μοντέλου έχουμε:

1. **Εξωτερικός δρομολογητής (External Router):**

2. **Σύνθεση Δικτύου (configurator : FlatNetworkConfigurator)**

Ρυθμίζει τις διευθύνσεις IP και τους πίνακες δρομολόγησης για ένα δίκτυο. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ότι όλοι οι κεντρικοί υπολογιστές και οι δρομολογητές θα έχουν την ίδια διεύθυνση δικτύου και θα διαφέρουν μόνο στο τμήμα του κεντρικού υπολογιστή.

3. **Σημείο πρόσβασης (Access Point) :**

4. **Κανάλι Ελέγχου (channelcontrol : ChannelControl):**

Το Κανάλι Ελέγχου σε κάθε μοντέλο δικτύου περιέχει κινητούς ή ασύρματους κόμβους. Το Κανάλι Ελέγχου ενημερώνεται για την τοποθεσία και την κίνηση των κόμβων και καθορίζει ποιοι κόμβοι βρίσκονται μέσα στην απόσταση επικοινωνίας ή παρεμβολής. Αυτές οι πληροφορίες χρησιμοποιούνται στην συνέχεια από τις ασύρματες διασυνδέσεις των κόμβων στις μεταδόσεις.

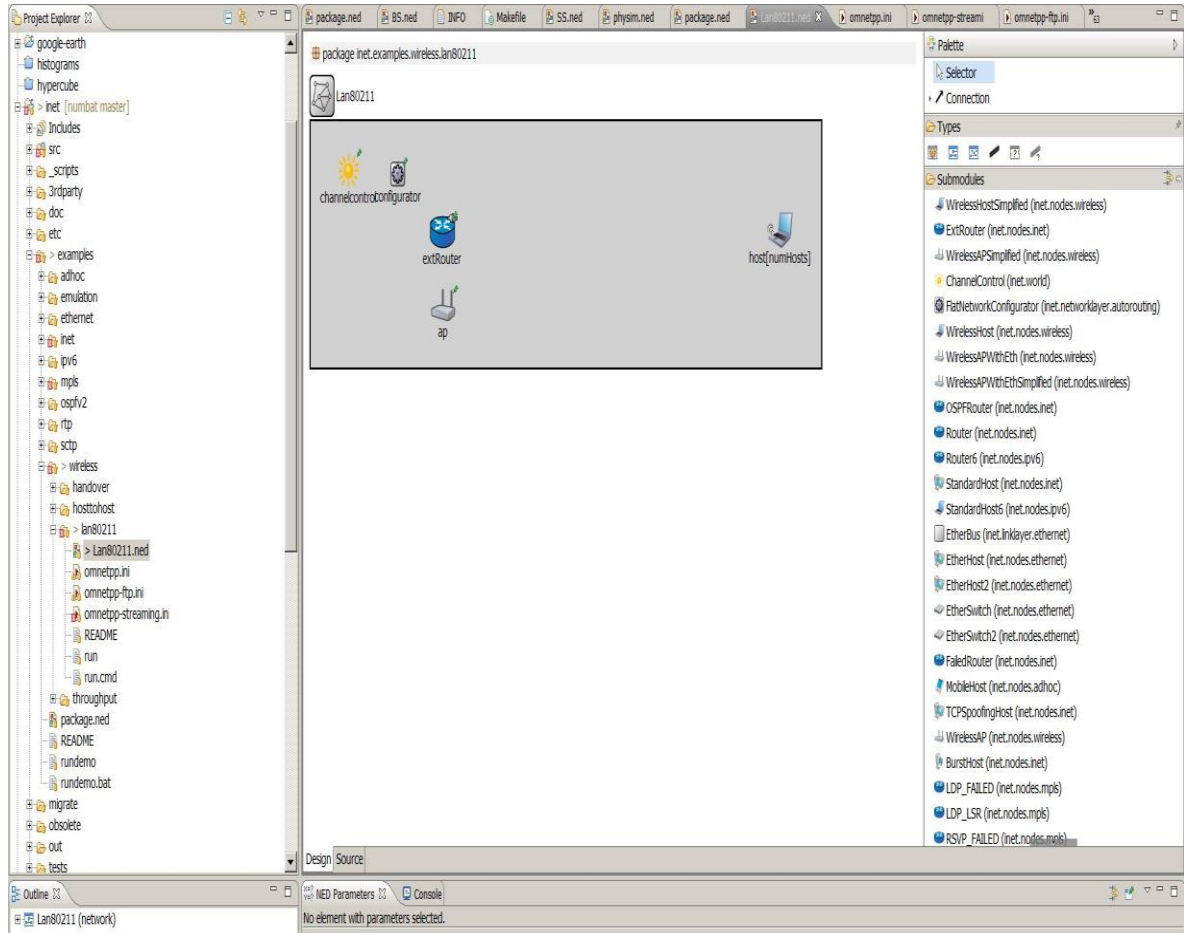
5. **Σύστημα (Hosts):**

Μοντελοποιεί τον κεντρικό υπολογιστή με μία ασύρματη κάρτα (802.11b) σε λειτουργία υποδομής με χρήση κάρτας δικτύου.

**Προσομοίωση:**

Στην προσομοίωση γίνεται πλήρης παραμετροποίηση μέσω του λογισμικού για όλα τα δομικά στοιχεία του δικτύου. Στην προσομοίωση γίνεται η εκχώρηση διευθύνσεων IP σε κεντρικούς υπολογιστές και δρομολογητές. Όλα τα υπολογιστικά συστήματα και οι δρομολογητές βρίσκονται στο ίδιο δίκτυο. Γίνεται η αντιστοίχιση της ίδιας διεύθυνσης σε όλες τις διεπαφές ενός δρομολογητή. Το αποτέλεσμα είναι η δημιουργία της τοπολογίας του δικτύου χρησιμοποιώντας την κλάση cTopology του OMNeT ++ και υπολογίζει τις συντομότερες διαδρομές. Ο βασικός στόχος σε κάθε ασύρματο δίκτυο είναι η προσθήκη και ο υπολογισμός των

ΠΙΟ σύντομων διάδρομων στους πίνακες δρομολόγησης.



Lan80211

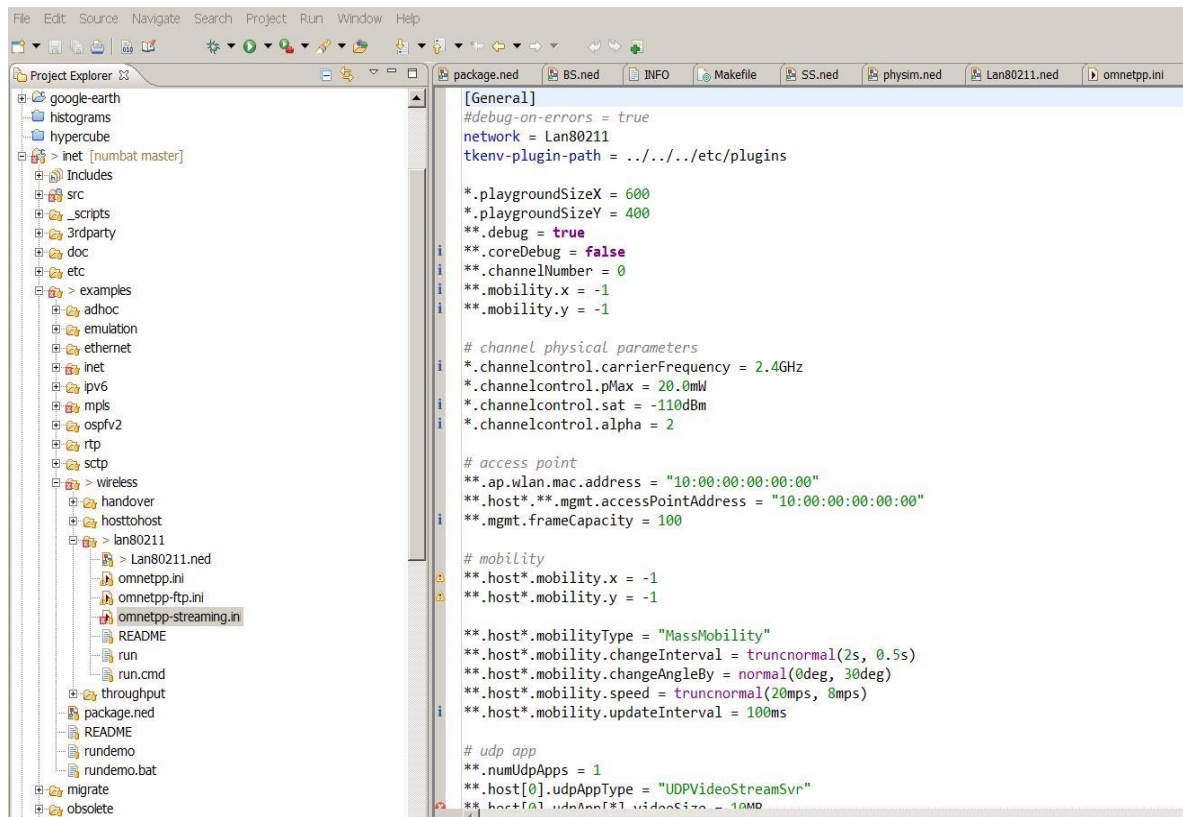


Design Source

NED Parameters Console

Network: Lan80211, all parameters

Parameter	Value	Remark
<input type="radio"/> Lan80211.numHosts		unassigned
<input type="radio"/> Lan80211.playgroundSizeX		unassigned
<input type="radio"/> Lan80211.playgroundSizeY		unassigned
<input type="radio"/> Lan80211.host[*].numTcpApps	0	NED default applied implicitly
<input type="radio"/> Lan80211.host[*].numUdpApps	0	NED default applied implicitly
<input type="radio"/> Lan80211.host[*].tcpAppType	""	NED default applied implicitly
<input type="radio"/> Lan80211.host[*].udpAppType	""	NED default applied implicitly
<input type="radio"/> Lan80211.host[*].IPForward	false	NED default applied implicitly
<input type="radio"/> Lan80211.host[*].routingFile	""	NED default applied implicitly
<input type="radio"/> Lan80211.host[*].mobilityType	"NullMobility"	NED default applied implicitly
<input checked="" type="radio"/> Lan80211.host[*].routingTable.routerId	""	NED
<input checked="" type="radio"/> Lan80211.host[*].routingTable.IPForward	IPForward	NED
<input checked="" type="radio"/> Lan80211.host[*].routingTable.routingFile	routingFile	NED
<input type="radio"/> Lan80211.host[*].tcp.advertisedWindow	14*this.mss	NED default applied implicitly
<input type="radio"/> Lan80211.host[*].tcp.delayedAcksEnabled	false	NED default applied implicitly
<input type="radio"/> Lan80211.host[*].tcp.nagleEnabled	true	NED default applied implicitly
<input type="radio"/> Lan80211.host[*].tcp.limitedTransmitEnabl...	false	NED default applied implicitly
<input type="radio"/> Lan80211.host[*].tcp.increasedIWEnabled	false	NED default applied implicitly
<input type="radio"/> Lan80211.host[*].tcp.sackSupport	false	NED default applied implicitly
<input type="radio"/> Lan80211.host[*].tcp.mss	536	NED default applied implicitly
<input type="radio"/> Lan80211.host[*].tcp.tcpAlgorithmClass	"TCPReino"	NED default applied implicitly
<input type="radio"/> Lan80211.host[*].tcp.sendQueueClass	"TCPVirtual..."	NED default applied implicitly



## 9.2. Ασύρματο Δίκτυο throughput

Το συγκεκριμένο παράδειγμα προσημειώνει ένα ασύρματο δίκτυο και εστιάζει στην ικανότητα διεκπεραίωσης (Throughput).

Συγκεκριμένα στην σχεδίαση του μοντέλου έχουμε:

### Throughput Client

- **Ενημερώσεις (notificationBoard : NotificationBoard):**

Χρησιμοποιώντας το NotificationBoard, οι κόμβοι μπορούν να ενημερώνονται αμοιβαία σχετικά με τα συμβάντα, όπως είναι οι αλλαγές στον πίνακα δρομολόγησης, αλλαγές κατάστασης διασύνδεσης, αλλαγές διαμόρφωσης διεπαφών, ασύρματες μεταβιβάσεις, αλλαγές στην κατάσταση του ασύρματου καναλιού κλπ. Το NotificationBoard είναι ένα δομικό στοιχείο μέσα σε ένα μοντέλο κεντρικού υπολογιστή ή δρομολογητή και αποτελεί τον ενδιάμεσο μεταξύ των κόμβων οι οποίοι ενδιαφέρονται να μάθουν για αυτές τις αλλαγές.

- **Γεννήτρια Κυκλοφορίας: (cli : EtherAppCli)**

Μια απλή γεννήτρια κυκλοφορίας για το μοντέλο 802.11 και γενικά για οποιοδήποτε μοντέλο που δέχεται πληροφορίες ελέγχου 802.11 στα πακέτα. Δημιουργεί πακέτα.

- **Κάρτα Δικτύου: (wlan : ieee80211NicSTASimplified)**

Αυτή η κάρτα δικτύου υλοποιεί μια κάρτα διασύνδεσης δικτύου υποδομής 802.11 για έναν κεντρικό υπολογιστή χρησιμοποιώντας μια απλοποιημένη μονάδα.

- **Ενότητα Κινητικότητας (mobility : NullMobility):**

Αυτή η ενότητα κινητικότητας χρησιμοποιείται για σταθερούς κόμβους.

### **Throughput**

- **Ενότητα Κινητικότητας (mobility : NullMobility):**

Αυτή η ενότητα κινητικότητας χρησιμοποιείται για σταθερούς κόμβους.

- **Σύστημα (Hosts):**

Μοντελοποιεί τον κεντρικό υπολογιστή με μία ασύρματη κάρτα (802.11b) σε λειτουργία υποδομής με χρήση κάρτας δικτύου.

- **Σημείο Πρόσβασης (ap : WirelessAPWithSink):**

Σημείο Πρόσβασης 802.11.

### **Προσομοίωση:**

Το συγκεκριμένο παράδειγμα μετρά την διακίνηση ασύρματου δικτύου IEEE 802.11 από έναν αριθμό κεντρικών υπολογιστών στο σημείο πρόσβασης. Το υπολογιστικό σύστημα και οι δυνατότητες του πομπού σημείου πρόσβασης διαμορφώνονται έτσι ώστε κάθε κεντρικός υπολογιστής να ακούει όλα τα άλλα. Αναλυτικά:

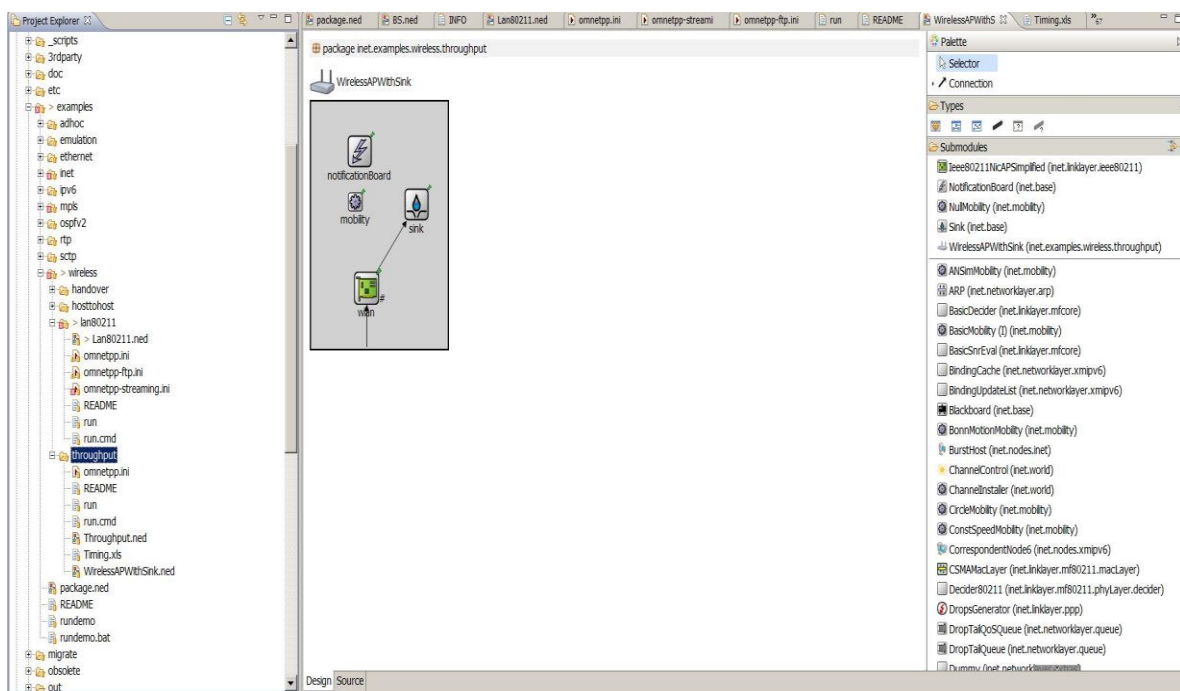
- **Απόδοση ενός κεντρικού υπολογιστή:**

Η διέλευση μετριέται από το σημείο πρόσβασης. Καταγράφεται στο αρχιακό αρχείο εξόδου, αλλά μπορεί επίσης να επιθεωρηθεί κατά τη διάρκεια του χρόνου εκτέλεσης. Στα αποτελέσματα περιέχεται η μέτρηση που μετράται από την προσομοίωση και συγκρίνει το θεωρητικό μέγιστο που είναι περίπου 5,12 Mbps (σε ρυθμό δυαδικών ψηφίων 11 Mbps και πακέτα 1000 byte). Η θεωρητική τιμή και η έξοδος προσομοίωσης είναι πολύ κοντά, η διαφορά είναι μικρότερη από 1 kbps.

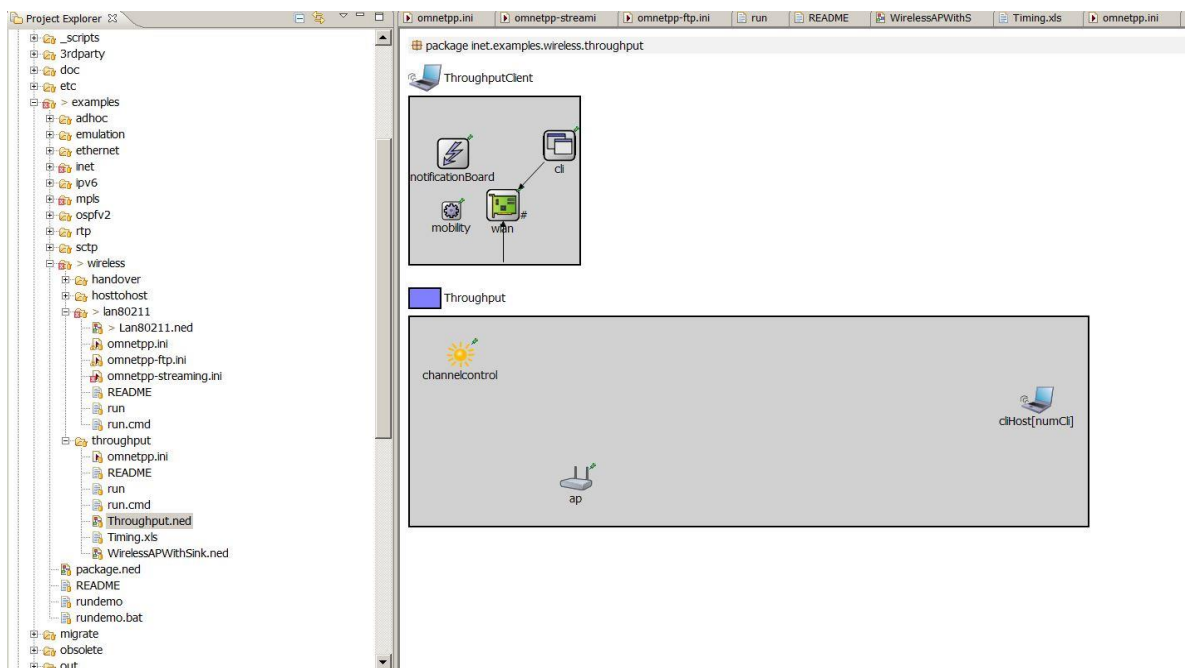
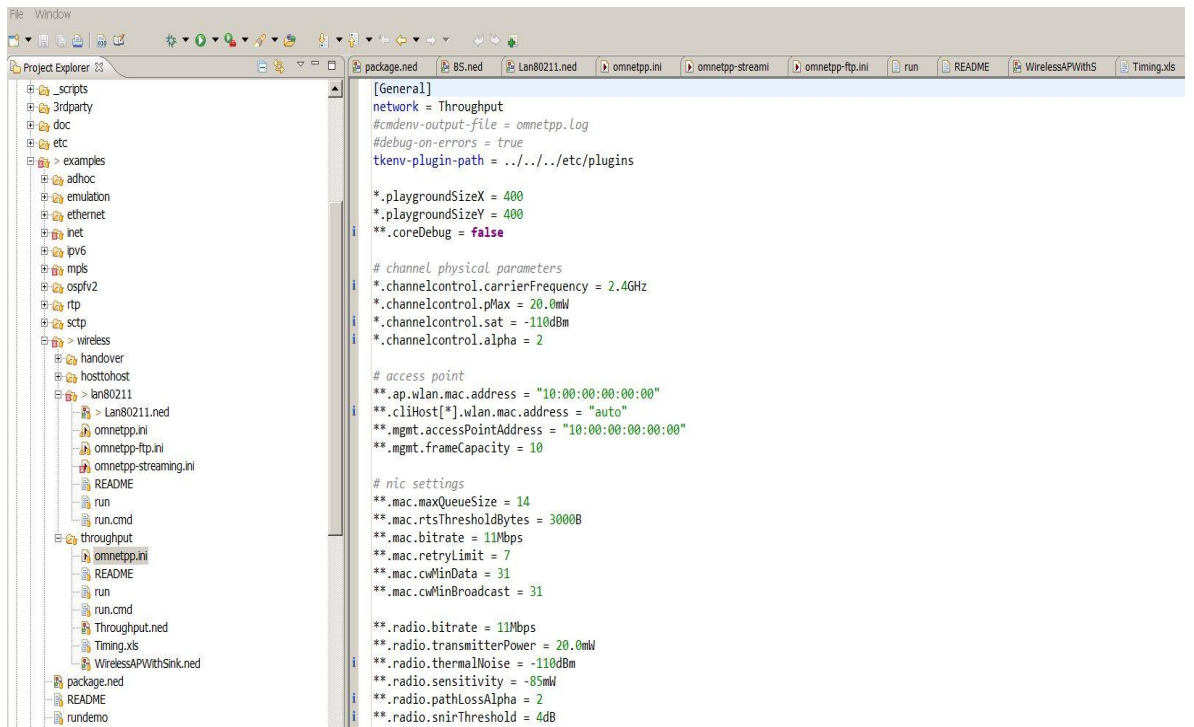
- **Πορεία πολλαπλών κεντρικών υπολογιστών:**

Σε αυτή την περίπτωση, το μέσο διάστημα της διέλευσης στο κανάλι είναι μικρότερο θα αυξήσει την απόδοση και τις συγκρούσεις. Για τα υπολογιστικά συστήματα η ελάχιστη περίοδος διέλευσης είναι  $(n - 1) ^ 2 / (4 * n)$  όπου το n είναι το μέγεθος του παραθύρου του συμπλέγματος, δηλαδή το  $n = 32$ . Αυτό δείχνει ένα μέσο σύγκρουσης περίπου 7,5 και μια αύξηση στην διακίνηση.

Η τελική αποτίμηση είναι ότι η διαφορά μεταξύ της μέγιστης θεωρητικής απόδοσης και της πραγματικής μέτρησης της διακίνησης είναι οι αριθμοί των συγκρούσεων. Οι συγκρούσεις είναι ο καθοριστικός παράγοντας στην απόδοση του δικτύου. Προσθέτοντας τον αριθμό των συγκρούσεων πλαισίων με τον αριθμό των σωστά ληφθέντων πλαισίων έχουμε μια διαφορά μικρότερη από 50 kbps. Επίσης πιθανότατα η διαφορά οφείλεται και στην απόσταση μεταξύ των πλαισίων.









	A	B	C	D
1	<b>Timing for 1000 byte messages at 11 Mbps for 1 host</b>			
2				
3	<b>NAME</b>	<b>VALUE</b>	<b>UNIT</b>	
4	NUMBER OF HOSTS	3	count	
5	<i>SLOTTIME</i>	20	us	
6	<i>CW_MIN</i>	31	slot number	
7	<i>MSG_SIZE</i>	1000	byte	
8	<i>BITRATE</i>	11	Mbps	
9	<b>MEASURED THROUGHPUT at sink (t = 200)</b>	5.11627	Mbps	
10				
11	<b>NAME</b>	<b>LENGTH (bits)</b>	<b>BITRATE (Mbps)</b>	<b>TIME (us)</b>
12	<i>DIFS</i>	50	1	50
13	<i>BACKOFF(avg)</i>	310	1	310
14	<i>PREAMBLE</i>	192	1	192
15	<i>HEADER</i>	240	11	21.81818182
16	<i>DATA</i>	8000	11	727.2727273
17	<i>CRC</i>	32	11	2.909090909
18	<i>SIFS</i>	10	1	10
19	<i>PREAMBLE</i>	192	1	192
20	<i>ACK</i>	112	2	56
21	<b>TOTAL</b>			1562
22	<b>THEORETICAL THROUGHPUT</b>		5.121638924	
23	<b>DIFFERENCE TO MEASURED</b>		0.005368924	
24				
25	<i>MEASURED PROPAGATION</i>			0.67208212
26	<b>TOTAL WITH PROPAGATION</b>			1563.344164
27	<b>THROUGHPUT WITH PROPAGATION</b>		5.117235336	
28	<b>DIFFERENCE TO MEASURED</b>		0.000965336	

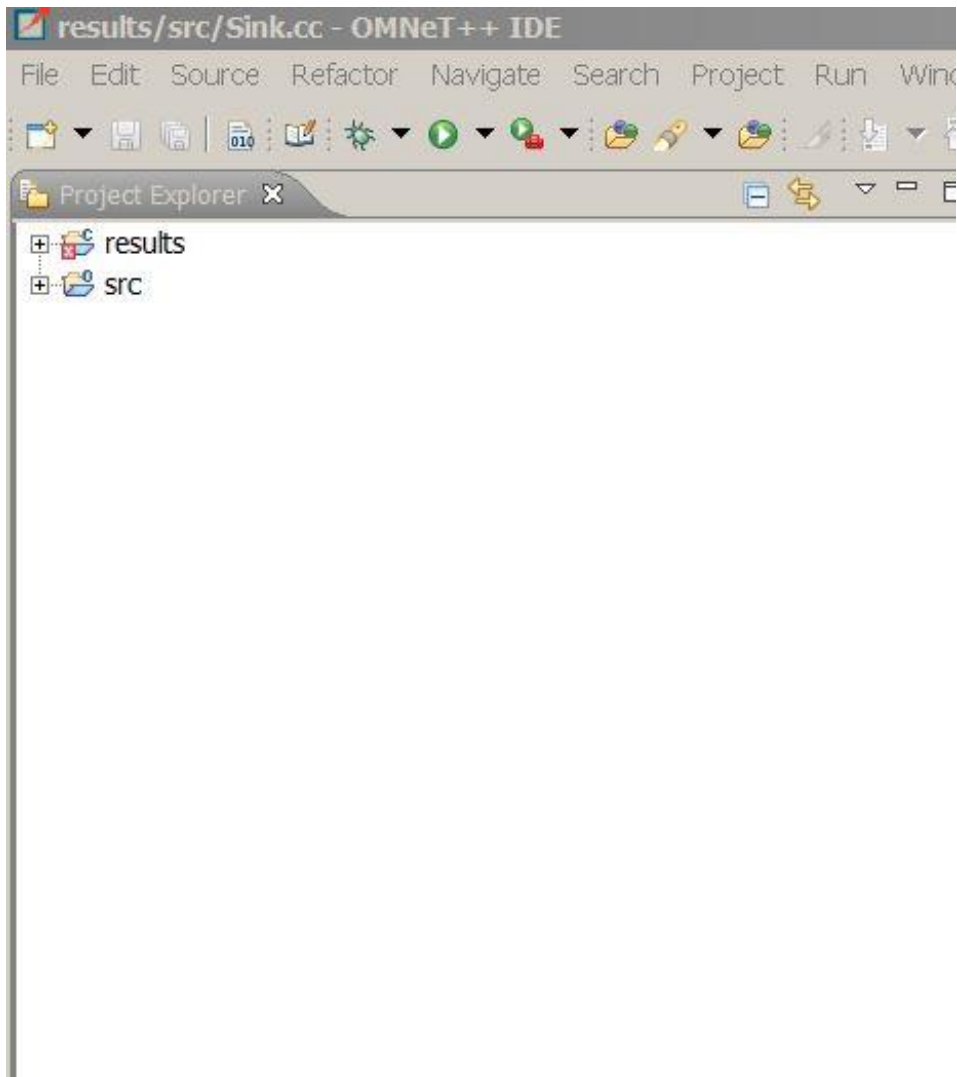
### 9.3. Ασύρματο Δίκτυο Αισθητήρων

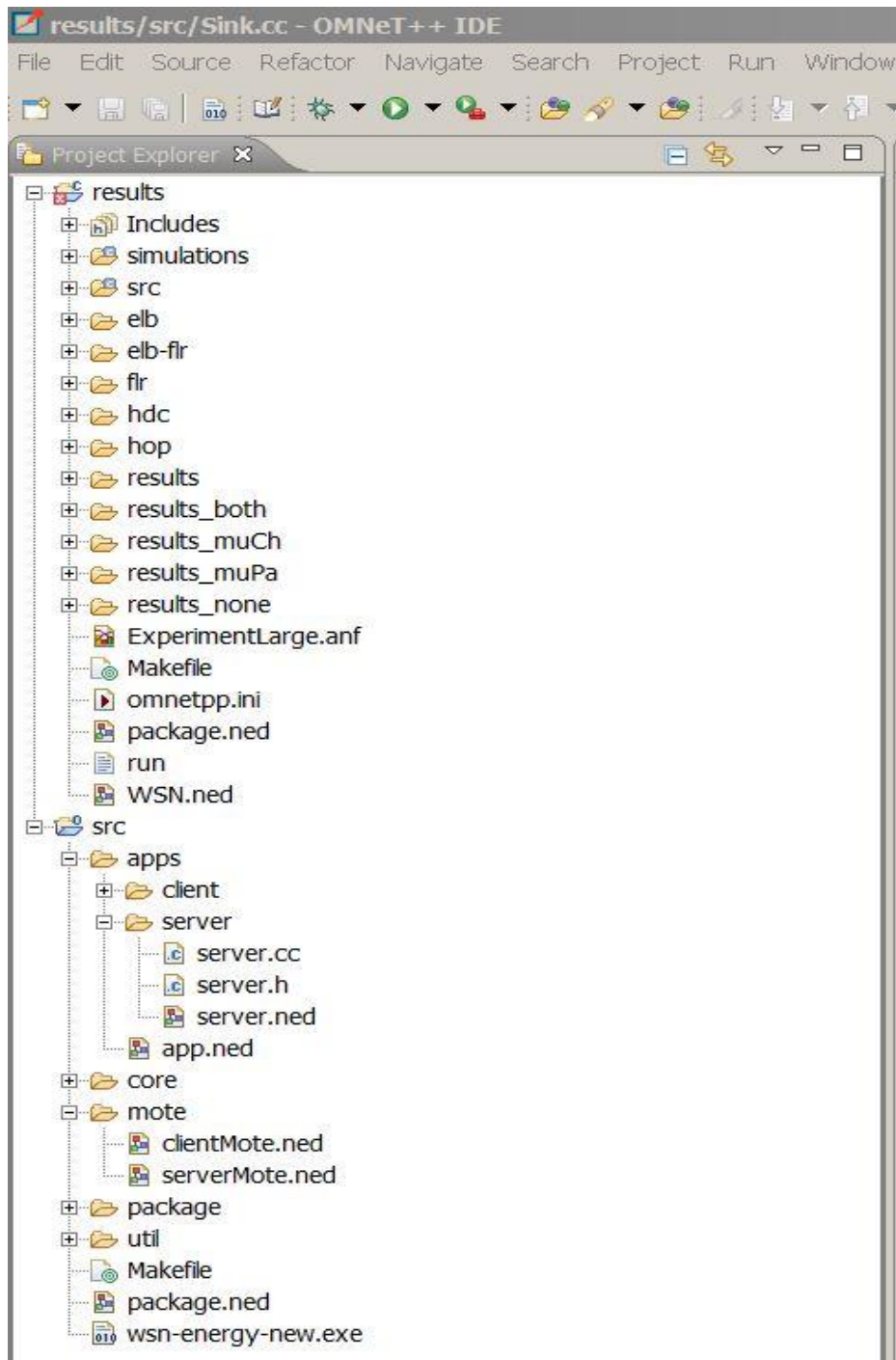
Το συγκεκριμένο παράδειγμα αποτελεί ένα σενάριο ασύρματου δικτύου αισθητήρων σε σχέση με θέματα ενέργειας. Εστιάζει ειδικά στο επίπεδο εφαρμογών, μεταφοράς και δικτύου. Όπως αναφέρθηκε αναλυτικά στην εργασία λόγω των ιδιαιτεροτήτων των δικτύων αισθητήρων σχετικά με την τοπολογική και γεωγραφική τους εγκατάσταση, ένας σημαντικός παράγοντας για την βιωσιμότητα του δικτύου αποτελεί η διαχείριση της ενεργειακής πολιτικής των κόμβων. Η έρευνα των κατασκευαστών δικτύων εστιάζει στους καλύτερους αλγορίθμους δημιουργίας δρομολογήσεων. Ο κάθε κόμβος αναζητάει συνέχεια μέσω των γειτονικών κόμβων και τον επιτελικό ρόλο ενός κεντρικού σταθμού τις νέες δρομολογήσεις που δημιουργούνται συνέχεια ειδικά μετά από αστοχίες κόμβων.

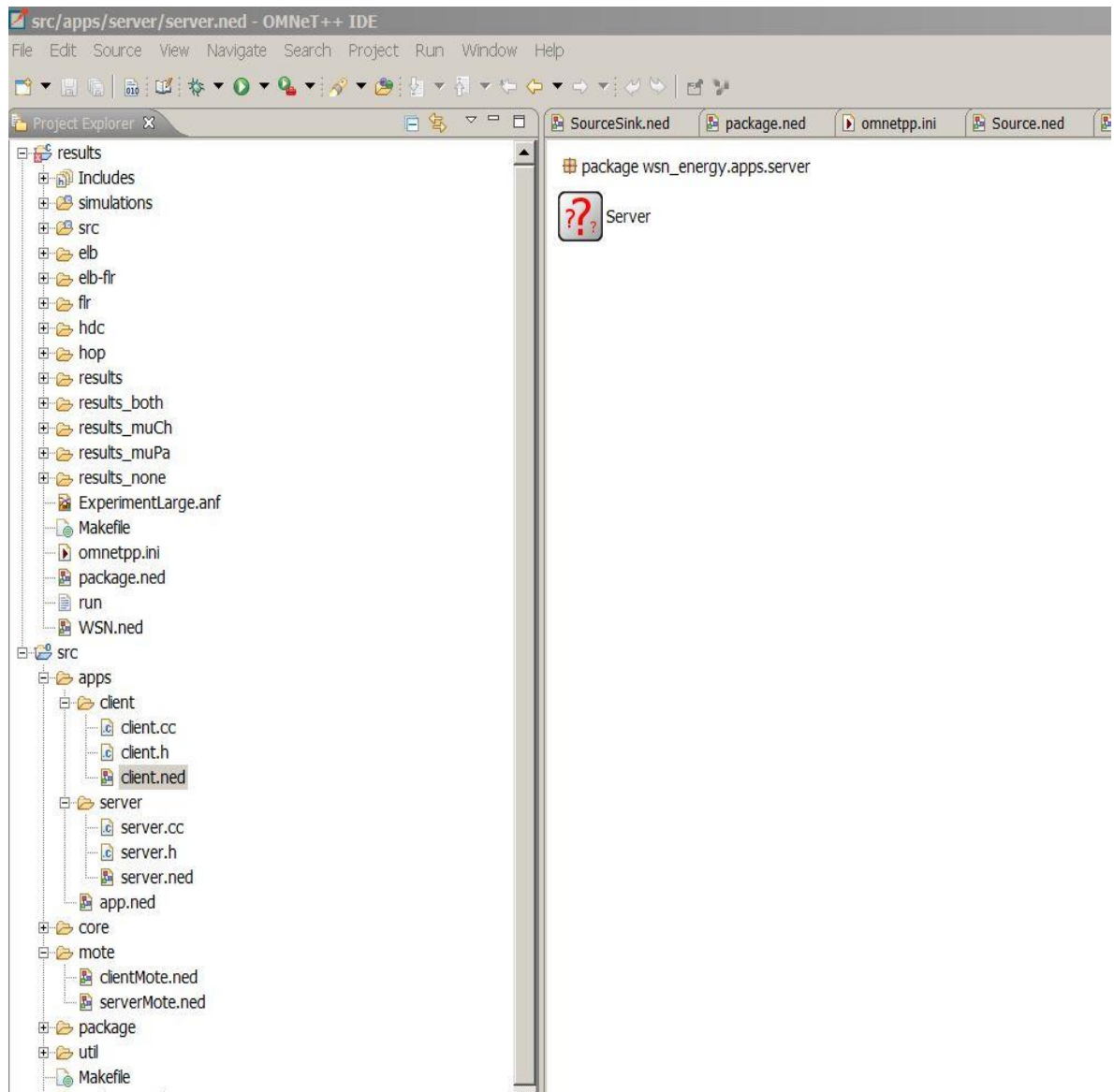
### **Προσομοίωση:**

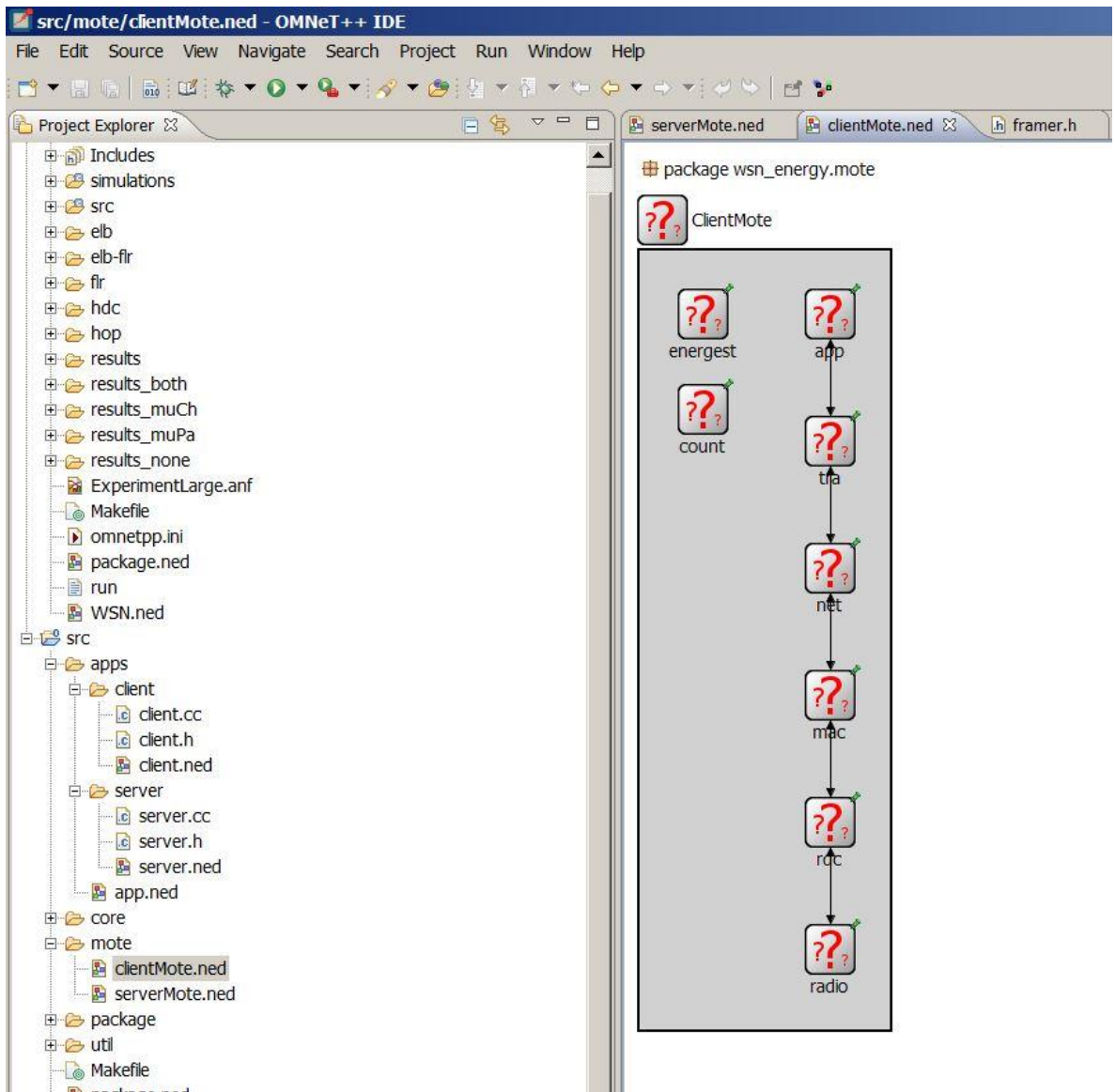
Η συγκεκριμένη προσομοίωση εστιάζει στα μετρήσιμα που δημιουργούνται σε σχέση με την λειτουργικότητα των κόμβων και την κατανάλωση ενέργειας. Μετρήσιμα σχετικά με τις συνδέσεις, τις αιτήσεις που γίνονται στον κεντρικό σταθμό, στις αιτήσεις που γίνονται στους γειτονικούς κόμβους για τον επαναπροσδιορισμό των δρομολογήσεων.

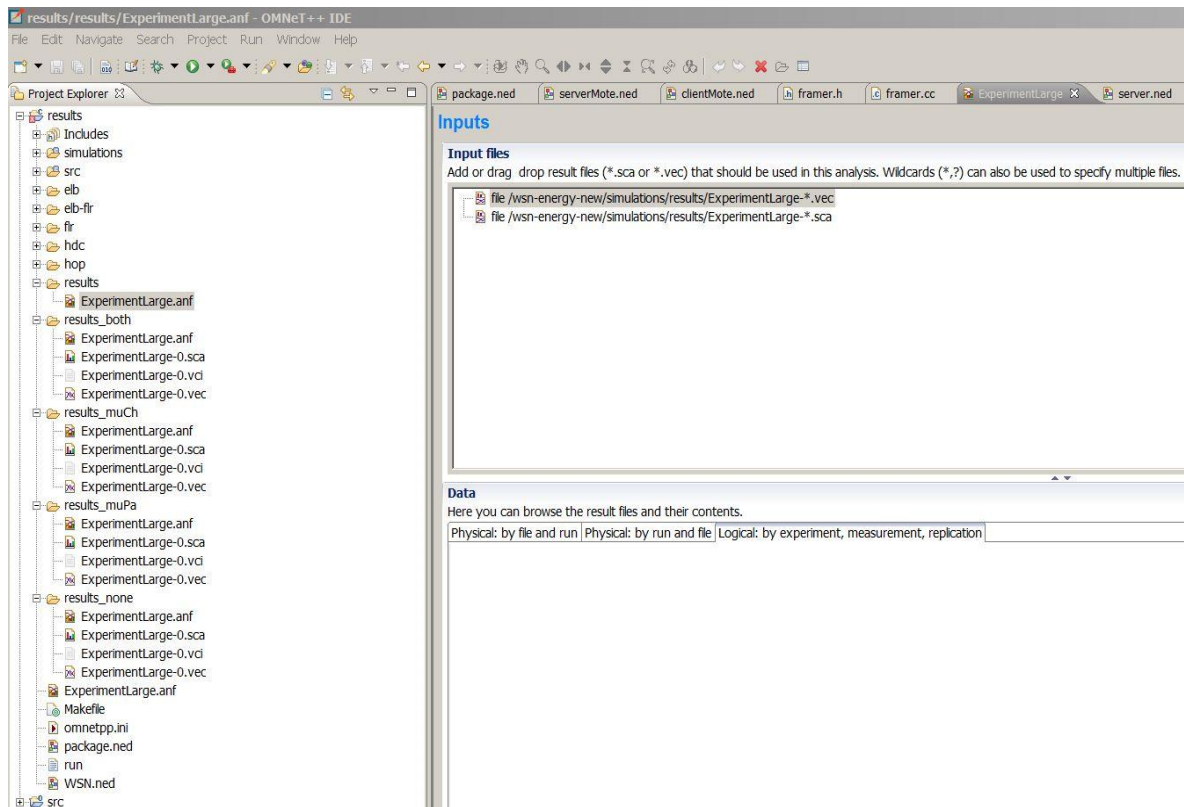
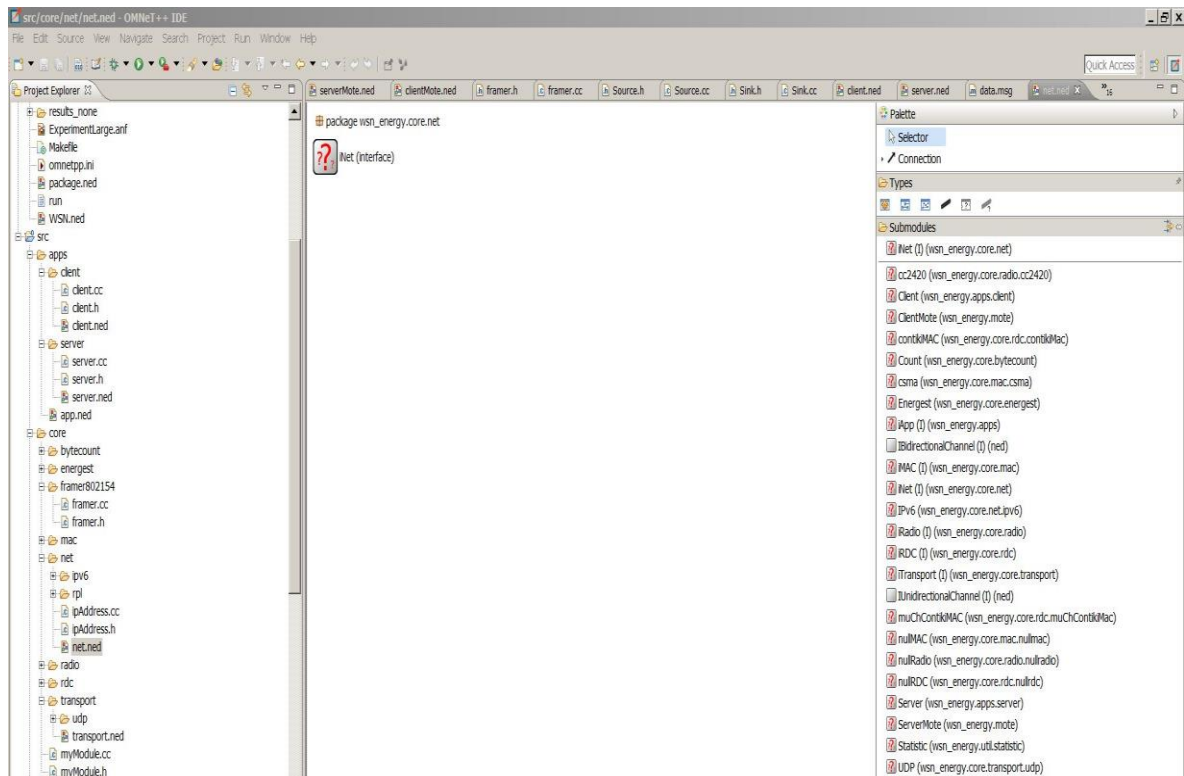
Η τελική αποτίμηση είναι ότι ειδικά όταν δημιουργούνται αστοχίες κόμβων και υπάρχει η ανάγκη επαναπροσδιορισμού των δρομολογήσεων και στην περίπτωση που οι αλγόριθμοι δεν έχουν ικανοποιητικό αποτέλεσμα στην γρήγορη απόδοση των δρομολογήσεων και στον μικρό αριθμό τους με τα βέλτιστα σύντομα μονοπάτια υπάρχει μεγάλη κατανάλωση ενέργειας. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την όχι ικανοποιητική βιωσιμότητά του δικτύου με άμεση επίδραση και στην απόδοση του αφού όταν απενεργοποιούνται κόμβοι αυξάνεται διαμετρικά και η καθυστέρηση στις μεταφορές των δεδομένων. Για αυτό προτείνεται η μεγάλη πυκνότητα των κόμβων ασχέτως την αλγοριθμική ικανότητα του γρήγορου επαναπροσδιορισμού των δρομολογήσεων κάτι που επιτρέπει και το μικρό κόστος κατασκευής τους. Βέβαια ο γρήγορος προσδιορισμός των δρομολογήσεων με τις παραλληλίες στην σχεδίαση του δικτύου με τους κόμβους δίνει το ιδεατό αποτέλεσμα που πρωταρχικά είναι η αξιοπιστία και η βιωσιμότητα του δικτύου













results/ExperimentLarge.anf - OMNeT++ IDE

File Edit Navigate Search Project Run Window Help

Project Explorer

- results
  - Includes
  - simulations
  - src
    - elb
    - elb-fir
    - fir
    - hdc
    - hop
    - results
      - ExperimentLarge.anf
      - results\_both
        - ExperimentLarge.anf
        - ExperimentLarge-0.sca
        - ExperimentLarge-0.vci
        - ExperimentLarge-0.vec
      - results\_muCh
        - ExperimentLarge.anf
        - ExperimentLarge-0.sca
        - ExperimentLarge-0.vci
        - ExperimentLarge-0.vec
      - results\_muPa
        - ExperimentLarge.anf
        - ExperimentLarge-0.sca
        - ExperimentLarge-0.vci
        - ExperimentLarge-0.vec
      - results\_none
        - ExperimentLarge.anf
        - ExperimentLarge-0.sca
        - ExperimentLarge-0.vci
        - ExperimentLarge-0.vec

- Makefile
- omnetpp.ini
- package.ned
- run
- WSN.ned

Browse Data

Here you can see all data that come from the files specified in the Inputs page.

All (2 / 35) | Vectors (2 / 2) | Scalars (0 / 33) | Histograms (0 / 0)

file(/results/results\_both/ExperimentLarge-0.vec) AND run(ExperimentLarge-0-20150519-11:08:01-188)

Name	Value
ExperimentLarge : #0	
WSN.statistic	
sensorEnergy:vector (vector)	6.868704934595834 (72)
Module name	WSN.statistic
Type	double
Count	72
Mean	6.868704934595834
StdDev	0.043214844351825266
Min	6.6075337008242
Max	6.9086842198626
Start event number	84794162
End event number	84794162
Start time	1140
End time	1140
Title	Sensor energy, vector
sensorEnergyLevel:vector (vector)	75.81944444444444 (72)
Module name	WSN.statistic
Type	double
Count	72
Mean	75.81944444444444
StdDev	0.5125574894276121
Min	73.0
Max	76.0
Start event number	84794162
End event number	84794162
Start time	1140
End time	1140
Title	Sensor energy (level), vector

results/ExperimentLarge.anf - OMNeT++ IDE

File Edit Navigate Search Project Run Window Help

Project Explorer

- results
  - Includes
  - simulations
  - src
    - elb
    - elb-fir
    - fir
    - hdc
    - hop
    - results
      - ExperimentLarge.anf
      - results\_both
        - ExperimentLarge.anf
        - ExperimentLarge-0.sca
        - ExperimentLarge-0.vci
        - ExperimentLarge-0.vec
      - results\_muCh
        - ExperimentLarge.anf
        - ExperimentLarge-0.sca
        - ExperimentLarge-0.vci
        - ExperimentLarge-0.vec
      - results\_muPa
        - ExperimentLarge.anf
        - ExperimentLarge-0.sca
        - ExperimentLarge-0.vci
        - ExperimentLarge-0.vec
      - results\_none
        - ExperimentLarge.anf
        - ExperimentLarge-0.sca
        - ExperimentLarge-0.vci
        - ExperimentLarge-0.vec

- Makefile
- omnetpp.ini
- package.ned
- run
- WSN.ned

Browse Data

Here you can see all data that come from the files specified in the Inputs page.

All (2 / 35) | Vectors (2 / 2) | Scalars (0 / 33) | Histograms (0 / 0)

file(/results/results\_both/ExperimentLarge-0.vec) AND run(ExperimentLarge-0-20150519-11:08:01-188)

Name	Value
ExperimentLarge : #0	
WSN.statistic	
sensorEnergy:vector (vector)	6.868704934595834 (72)
Module name	WSN.statistic
Type	double
Count	72
Mean	6.868704934595834
StdDev	0.043214844351825266
Min	6.6075337008242
Max	6.9086842198626
Start event number	84794162
End event number	84794162
Start time	1140
End time	1140
Title	Sensor energy, vector
sensorEnergyLevel:vector (vector)	75.81944444444444 (72)
Module name	WSN.statistic
Type	double
Count	72
Mean	75.81944444444444
StdDev	0.5125574894276121
Min	73.0
Max	76.0
Start event number	84794162
End event number	84794162
Start time	1140
End time	1140
Title	Sensor energy (level), vector



results/ExperimentLarge.anf - OMNeT++ IDE

File Edit Navigate Search Project Run Window Help

Project Explorer

- results
  - Includes
  - simulations
  - src
  - elb
  - elb-fir
  - fir
  - hdc
  - hop
  - results
    - ExperimentLarge.anf
    - results\_both
      - ExperimentLarge.anf
      - ExperimentLarge-0.sca
      - ExperimentLarge-0.vci
      - ExperimentLarge-0.vec
    - results\_muCh
      - ExperimentLarge.anf
      - ExperimentLarge-0.sca
      - ExperimentLarge-0.vci
      - ExperimentLarge-0.vec
    - results\_muPa
      - ExperimentLarge.anf
      - ExperimentLarge-0.sca
      - ExperimentLarge-0.vci
      - ExperimentLarge-0.vec
    - results\_none
      - ExperimentLarge.anf
      - ExperimentLarge-0.sca
      - ExperimentLarge-0.vci
      - ExperimentLarge-0.vec
  - Makefile
  - omnetpp.ini
  - package.ned
  - run
  - WSN.ned

package.ned ExperimentLarge ExperimentLarge ExperimentLarge

### Browse Data

Here you can see all data that come from the files specified in the Inputs page.

All (2 / 35) | Vectors (2 / 2) | Scalars (0 / 33) | Histograms (0 / 0)

file:/results/results\_both/ExperimentLarge-0.vec) AND run(ExperimentLarge-0-20150519-11:08:00)

Name	Value
ExperimentLarge : #0	
WSN.statistic	
sensorEnergy:vector (vector)	6.868704934595834 (72)
Module name	WSN.statistic
Type	double
Count	72
Mean	6.868704934595834
StdDev	0.043214844351825266
Min	6.6075337008242
Max	6.9086842198626
Start event number	84794162
End event number	84794162
Start time	1140
End time	1140
Title	Sensor energy, vector
sensorEnergyLevel:vector (vector)	75.81944444444444 (72)
Module name	WSN.statistic
Type	double
Count	72
Mean	75.81944444444444
StdDev	0.5125574894276121
Min	73.0
Max	76.0
Start event number	84794162
End event number	84794162
Start time	1140
End time	1140
Title	Sensor energy (level), vector

results/Generalanf - OMNeT++ IDE

File Edit Navigate Search Project Run Window Help

Project Explorer

- results
  - Includes
  - simulations
  - src
  - elb
  - elb-fir
  - fir
    - Generalanf
    - General-0.sca
    - General-0.vci
    - General-0.vec
  - hdc
    - Generalanf
    - General-0.sca
    - General-0.vci
    - General-0.vec
  - hop
  - Generalanf
  - results
    - ExperimentLarge.anf
    - results\_both
      - ExperimentLarge.anf
      - ExperimentLarge-0.sca
      - ExperimentLarge-0.vci
      - ExperimentLarge-0.vec
    - results\_muCh
      - ExperimentLarge.anf
      - ExperimentLarge-0.sca
      - ExperimentLarge-0.vci
      - ExperimentLarge-0.vec
    - results\_muPa
      - ExperimentLarge.anf
      - ExperimentLarge-0.sca
      - ExperimentLarge-0.vci
      - ExperimentLarge-0.vec
    - results\_none
      - ExperimentLarge.anf
      - ExperimentLarge-0.sca
      - ExperimentLarge-0.vci
      - ExperimentLarge-0.vec

Inputs

- file /results/hdc/General-\*.vec

Browse Data

Here you can see all data that come from the files specified in the Inputs page.

All (3 / 24) | Vectors (3 / 3) | Scalars (0 / 21) | Histograms (0 / 0)

file(/results/hdc/General-0.vec) AND run(General-0-20140524-17:02:45-11176)

Name	Value
General : #0	
WSN.statistic	
networkEnergy:vector (vector)	881.7273474516949 (59)
sensorEnergy:vector (vector)	3.074624615605278 (144)
sensorEnergyLevel:vector (vector)	33.84722222222222 (144)

Inputs | Browse Data | Datasets

Problems | Module Hierarchy | NED Parameters | NED Inheritance

No NED element or INI file entry selected.

results/General.anf - OMNeT++ IDE

File Edit Navigate Search Project Run Window Help

Project Explorer

- results
  - Includes
  - simulations
  - src
    - elb
      - General.anf
      - General-0.sca
      - General-0.vci
      - General-0.vec
    - elb-fir
      - General.anf
      - General-0.sca
      - General-0.vci
      - General-0.vec
    - fir
      - General.anf
      - General-0.sca
      - General-0.vci
      - General-0.vec
    - hdc
      - General.anf
      - General-0.sca
      - General-0.vci
      - General-0.vec
    - hop
      - General.anf
    - results
      - ExperimentLarge.anf
    - results\_both
      - ExperimentLarge.anf
      - ExperimentLarge-0.sca
      - ExperimentLarge-0.vci
      - ExperimentLarge-0.vec
    - results\_muCh
      - ExperimentLarge.anf
      - ExperimentLarge-0.sca
      - ExperimentLarge-0.vci
      - ExperimentLarge-0.vec
    - results\_muPa
      - ExperimentLarge.anf

ExperimentLarge ExperimentLarge ExperimentLarge ExperimentLarge omnetpp.ini General.anf

### Browse Data

Here you can see all data that come from the files specified in the Inputs page.

All (3 / 24) Vectors (3 / 3) Scalars (0 / 21) Histograms (0 / 0)

file:/results/hdc/General-0.vec AND run(General-0-20140524-17:02:45-11176)

Name	Value
General : #0	
WSN.statistic	
networkEnergy:vector (vector)	881.7273474516949 (59)
Module name	WSN.statistic
Type	double
Count	59
Mean	881.7273474516949
StdDev	245.12990576406247
Min	467.92930144908
Max	1296.0
Start event number	146
End event number	15536722
Start time	0
End time	3480
Title	Node energy, vector
sensorEnergy:vector (vector)	3.074624615605278 (144)
Module name	WSN.statistic
Type	double
Count	144
Mean	3.074624615605278
StdDev	0.017070488362600725
Min	3.0430496519171
Max	3.1336902791313
Start event number	15860986
End event number	15860986
Start time	3600
End time	3600
Title	Sensor energy, vector
sensorEnergyLevel:vector (vector)	33.84722222222222 (144)
Module name	WSN.statistic
Type	double

Inputs Browse Data Datasets

Problems Module Hierarchy NED Parameters NED Inheritance

No NED element or INI file entry selected.

Inputs

- file:/results/hdc/General-\*.vec
- file:/results/hdc/General-\*.sca

results/simulations/SourceSink.ned - OMNeT++ IDE

File Edit Source View Navigate Search Project Run Window Help

Project Explorer

- results
  - Includes
  - simulations
    - omnetpp.ini
    - package.ned
    - run
    - SourceSink.ned
  - src
    - Snik.cc
    - Snik.h
    - Source.cc
    - Source.h
    - results
      - omnetpp.h
      - RESULTS\_SOURCE\_H
      - omnetpp
      - results
        - Source
          - timerMessage : cMessage\*
          - Source()
          - ~Source()
          - handleMessage(cMessage\*) : void
          - initialize() : void
    - package.ned
    - Snik.ned
    - Source.ned
  - elb
    - General.anf
    - General-0.sca
    - General-0.vci
    - General-0.vec
  - elb-fir
    - General.anf
    - General-0.sca
    - General-0.vci
    - General-0.vec

package results.simulations

SourceSink

source sink

Palette

- Selector
- Connection
- Types
- Submodules
  - Snik (results)
  - Source (results)
  - IbidirectionalChannel (0) (ned)
  - IbidirectionalChannel (1) (ned)
  - Snik (results)
  - Source (results)

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10. Συγκρίσεις λογισμικών προσομοίωσης

## 10.1. Επιλογή κατάλληλου προσομοιωτή

Η επιλογή του κατάλληλου προσομοιωτή είναι μια πολύ σημαντική αλλά και δύσκολη διαδικασία για τον σχεδιαστή. Το βασικό δίλημμα που τίθεται αν θα χρησιμοποιήσει προσομοιωτή κατασκευαστή ή θα αποταθεί σε μια ελεύθερη χρήση λογισμικού ή ακόμα και σε εμπορικό λογισμικό που να καλύπτει τις ανάγκες του. Στατιστικά από τους σχεδιαστές προτιμάται προσομοιωτής του κατασκευαστή αν είναι διαθέσιμος λόγω εξειδίκευσης, πόρων υλικού και άλλων παραγόντων. Υπάρχει όμως και μεγάλη τάση η χρήση λογισμικού ανοικτού κώδικα τα οποία ικανοποιούν τα ερευνητικά ερωτήματα του σχεδιαστή για την δημιουργία του δικτύου. (Al-Bahadili, 2012)

Γενικά τα κριτήρια που τίθενται για τον προσομοιωτή είναι η κάλυψη των δικτύων σχεδίασης, τα αξιόπιστα στοιχεία μετρήσεων, η ανάλυση σε βάθος των γεγονότων που επιτελούνται στο δίκτυο ειδικά το θέμα των φόρτων στην μεταφορά των πακέτων, η ανάλυση και υποστήριξη μεγάλου αριθμού κόμβων, η απόδοση και τέλος το φιλικό γραφικό περιβάλλον.

Όμως το βασικό κριτήριο της επιλογής του προσομοιωτή πρέπει να είναι οι προδιαγραφές και οι απαιτήσεις της προσομοίωσης που πρέπει να γίνει, δηλαδή ποια ερευνητικά ερωτήματα πρέπει να απαντήσει η προσομοίωση με αξιόπιστα αποτελέσματα. Ένα βασικός παράγοντας είναι το επίπεδο της λεπτομέρειας που απαιτείται. Για την περίπτωση των ασύρματων δικτύων αισθητήρων που είναι αναγκαία η λεπτομέρεια λόγω των ιδιοτεροτήτων το NS-3 είναι μονόδρομος ασχέτως αν παρουσιάζει άλλα μειονεκτήματα τα οποία μπορούν να παρακαμφθούν. Ένας άλλος παράγοντας είναι και ο αριθμός των κόμβων έτσι ώστε ο προσομοιωτής να μπορεί να ανταπεξέλθει σε πολύ μεγάλα δίκτυα. Σε αυτές τις περιπτώσεις χρησιμοποιούνται και τεχνικές παραλληλιών με παράλληλους και κατανεμημένους προσομοιωτές. (Al-Bahadili, 2012)

Εκτός από το λειτουργικό σκέλος σημαντικός παράγοντας είναι και η τεκμηρίωση που διαθέτει το λογισμικό προσομοίωσης για τα μοντέλα που διαθέτει. Σε αυτό το θέμα το πλεονέκτημα το έχουν οι εμπορικοί προσομοιωτές οι οποίοι διαθέτουν καλή υποστήριξη εγγράφων για την δημιουργία της προσομοίωσης. Από την άλλη οι εμπορικοί εστιάζουν σε συγκεκριμένα πρωτόκολλα και τοπολογίες και πόρους υλικού ενώ οι προσομοιωτές ανοικτού κώδικα δίνουν μεγαλύτερη ευελιξία. (Al-Bahadili, 2012)

Ο βασικός στόχος με την επιλογή του προσομοιωτή είναι να παρέχει ενημερωμένα μοντέλα και πρωτόκολλα με τις λειτουργίες τους και να γίνεται παραμετροποίηση με πραγματικά δεδομένα για την δημιουργία των σεναρίων που απαιτούνται. Επίσης να καλύπτει τα σύγχρονα δικτυακά συστήματα και τις ερευνητικές ανάγκες που προκύπτουν. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων να είναι αξιόπιστα και να αποτελούν τον βασικό οδηγό στην δημιουργία ενός ανθεκτικού και αποδοτικού δικτύου.

## 10.2. Αξιολογήσεις Λογισμικών Προσομοίωσης

Στην συγκεκριμένη ενότητα γίνεται η αξιολόγηση των τεσσάρων λογισμικών προσημείωσης που επιλέχτηκαν. Τα λογισμικά είναι τα J-Sim, Mannasim, NS-3 και OMNeT++. Η αξιολόγηση εστιάζει στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων με ιδιαίτερη έμφαση στην αξιοπιστία, την λειτουργικότητα και την απόδοση του δικτύου.

### 10.2.1. Αξιολόγηση NS-3

Το NS-3 συνίσταται:

- ❑ Στις περιπτώσεις που πρέπει να γίνει προσομοίωση σε αρκετά αναλυτικό επίπεδο με μεγάλη παραμετροποίηση.
- ❑ Στις περιπτώσεις που πρέπει να γίνεται συνεχής μελλοντική προσομοίωση. Αποτελεί ένα λογισμικό το οποίο υποστηρίζεται από μια μεγάλη κοινότητα που εξασφαλίζει συνεχείς μελλοντικές εκδόσεις καλύπτοντας όλα τα σύγχρονα μελλοντικά ερευνητικά θέματα σε σχέση με την προσομοίωση των δικτύων.
- ❑ Στις περιπτώσεις που πρέπει να γίνει προσομοίωση μιας μεγάλης στοίβας πρωτοκόλλων το NS-3 είναι η καλύτερη επιλογή.
- ❑ Στις περιπτώσεις που πρέπει να γίνει προσομοίωση σε απλά συμβάντα ασύρματων δικτύων αισθητήρων εξαιτίας των άφθονων διαθέσιμων επιδιορθώσεων.
- ❑ Ακριβής αναπαράσταση επιπέδων πακέτων και καλή εξομοίωση και υποστήριξη υποδοχών.
- ❑ Η έξοδος PCAP που επιτρέπει αναλύσεις με άλλα εργαλεία όπως το Wireshark.
- ❑ Έχει μια εκτεταμένη βιβλιοθήκη προκαθορισμένων μοντέλων.
- ❑ Στην περίπτωση που απαιτείται η ανάλυση των χαμηλότερων επιπέδων στην προσομοίωσή του δικτύου. Ειδικά στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων συνίσταται για

την προσέγγιση των κόμβων στην μεταφορά των πακέτων σε συνδυασμό με την απαιτούμενη ενέργεια που απαιτείται και τις δρομολογήσεις που παράγονται σε αστοχίες των κόμβων.

- ❑ Κάνει ανάλυση σε χαμηλό επίπεδο με αναλυτικές και λεπτομερείς πληροφορίες. Παρότι κάνει καλή διαχείριση των υπολογιστικών πόρων υπάρχει ένα κόστος καθυστέρησης μετά από μεταγλωττίσεις που γίνονται.

([www.nsnam.org](http://www.nsnam.org), 2018)

### 10.2.2. Αξιολόγηση OMNeT ++

Το OMNeT++ συνίσταται:

- ❑ Στις περιπτώσεις που πρέπει να γίνει μια απλή και γρήγορη προσομοίωση ασύρματου δικτύου αισθητήρων.
- ❑ Ευέλικτο στην προσθήκη και διαχείριση νέων πρωτοκόλλων.
- ❑ Το πλεονέκτημα του είναι ότι θα εξοικονομήσει χρόνο αποφεύγοντας εργασίες μεταγλώττισης μετά από κάθε τροποποίηση και σε θέματα υπολογιστικών πόρων θα καταναλώσει λιγότερη μνήμη.
- ❑ Σε σχέση με τον μεγάλο του ανταγωνιστή το NS-3, ο προσομοιωτής έχει πολύ καλή υποστήριξη απεικόνισης και γραφικό περιβάλλον.
- ❑ Έχει μια εκτεταμένη βιβλιοθήκη προκαθορισμένων μοντέλων.
- ❑ Στην περίπτωση που δεν απαιτείται η ανάλυση των χαμηλότερων επιπέδων στην προσομοίωσή του δικτύου, αλλά η απλή ανταλλαγή βασικών μηνυμάτων μεταξύ οντοτήτων.
- ❑ Τα μοντέλα προσομοίωσης ομαδοποιούνται σε μεγαλύτερα πλαίσια.
- ❑ Το πλαίσιο INET καλύπτει θέματα ασύρματων δικτύων αισθητήρων.

([www.omnetpp.org](http://www.omnetpp.org), 2018), (Varga and Hornig, 2008)

### 10.2.3. Αξιολόγηση J-Sim

Το J-Sim συνίσταται:

- ❑ Στις περιπτώσεις που πρέπει να γίνει μια αρκετά ικανοποιητική και γρήγορη προσομοίωση ασύρματου δικτύου αισθητήρων.



- ❑ Έχει καλή επαναχρησιμοποίηση και εναλλαγές κάτι που διευκολύνει την εύκολη προσομοίωση.
- ❑ Έχει μια εκτεταμένη βιβλιοθήκη προκαθορισμένων μοντέλων.
- ❑ Περιλαμβάνει μεγάλο αριθμό πρωτοκόλλων και μπορεί να υποστηρίξει διαχύσεις δεδομένων, δρομολογήσεις και προσομοιώσεις εντοπισμού σε ασύρματα δίκτυα αισθητήρων σε μοντέλα και πρωτόκολλα με βάθος λεπτομέρειας προσεγγίζοντάς αρκετά το NS-3 που έχει το βασικό πλεονέκτημα στο συγκεκριμένο θέμα.
- ❑ Προσομοιώνει αρκετά μετρήσιμα μεγέθη των καναλιών και των καταναλώσεων ισχύος.
- ❑ Προσομοιώνει πολύ μεγάλο αριθμό κόμβων αισθητήρων,
- ❑ Κάνει πολύ καλή διαχείριση των υπολογιστικών πόρων που απαιτούνται ειδικά σε μεγάλες προσομοιώσεις πολλαπλών τοπολογιών.
- ❑ Το πλαίσιο προσομοίωσης που διαθέτει για τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων είναι αρκετά λεπτομερές.

*(www.j-sim.org, 2018)*

#### **10.2.4. Αξιολόγηση Mannasim**

Το Mannasim συνίσταται:

- ❑ Στις περιπτώσεις που πρέπει να γίνει μια απλή, αξιόπιστη και γρήγορη προσομοίωση ασύρματου δικτύου αισθητήρων.
- ❑ Εστιάζει στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων.
- ❑ Διαμορφώνει λεπτομερή σενάρια για προσομοιώσεις.
- ❑ Διαθέτει πολύ καλή σχεδίαση δικτύου με τα δομικά στοιχεία όπως ο αριθμός και ο τύπος των κόμβων, η πυκνότητα τους, συνδέσεις, οργάνωση δικτύου κλπ.
- ❑ Παρέχει μια ευέλικτη πλατφόρμα δοκιμών για αλγόριθμους και πρωτόκολλα.
- ❑ Κάνει παραγωγή αποτελεσμάτων και μετρήσιμων στοιχείων για το επίπεδο ισχύος που παραμένει στα εξαρτήματα, τον αριθμό και το είδος των σφαλμάτων στην προσομοίωση, το μέσο τμήμα γεγονότων και γενικά την λειτουργία του δικτύου κατά τη διάρκεια της ζωής του. *(www.mannasim.dcc.ufmg.br, 2018)*

### **10.3. Συμπεράσματα Αξιολόγησης/Σύγκρισης Λογισμικών Προσομοίωσης**

Στην συγκεκριμένη ενότητα γίνεται η τελική αποτίμηση συμπερασμάτων μεταξύ των λογισμικών προσομοίωσης που αναλυθήκαν (J-Sim, Mannasim, NS-3 και OMNeT++). Για το πιο λογισμικό πρέπει να χρησιμοποιηθεί εξαρτάται από τους προδιαγραφές της προσομοίωσης, σε τι θα εστιάσει και ποιος είναι ο στόχος. Τα συμπεράσματα με τις αξιολογήσεις και συγκρίσεις εστιάζουν στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων και στις προδιαγραφές της προσομοίωσης που πρέπει να γίνει. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην αξιοπιστία, λειτουργικότητα και απόδοση του δικτύου.

#### **10.3.1. Συμπέρασμα Αξιολόγησης/Σύγκρισης OMNeT++ / NS-3**

Τα δυο επικρατέστερα στις αξιολογήσεις λογισμικά προσομοίωσης ήταν τα OMNeT++ και NS-3. Για την περίπτωση των ασύρματων δικτύων αισθητήρων όπου υπάρχει μια πολυπλοκότητά σχετικά με τις εφαρμογές και αρχιτεκτονικές που πρέπει να χρησιμοποιηθούν το λογισμικό που συνίσταται είναι το NS-3.

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων έχουν κάποιες ιδιομορφίες τις οποίες καθορίζουν παράγοντες όπως η χρήση κινητής τηλεφωνίας στο δίκτυο, το διαδίκτυο, η πυκνότητα της εγκατάστασης των κόμβων, η ενεργειακή πολιτική, η δύσκολη γεωγραφική εγκατάσταση, οι δρομολογήσεις που απαιτούνται ειδικά σε αστοχίες κόμβων και γενικά η λειτουργία τους που διαφοροποιείται αισθητά από τους άλλους τύπους ασύρματων δικτύων.

Το NS-3 έχει το βασικό πλεονέκτημα ότι υποστηρίζεται από μια μεγάλη κοινότητα, εξασφαλίζει μελλοντικές εκδόσεις που θα καλύπτουν τα σύγχρονα ερευνητικά θέματα προσομοίωσης δικτύων. Στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων λόγω των ιδιομορφιών που προαναφέραμε πρέπει να γίνει προσομοίωση σε αρκετά αναλυτικό επίπεδο με μεγάλη παραμετροποίηση. Επίσης πρέπει να γίνει προσομοίωση σε απλά συμβάντα ασύρματων δικτύων αισθητήρων εξαιτίας των άφθονων διαθέσιμων επιδιορθώσεων και απαιτείται η ανάλυση των χαμηλότερων επιπέδων στην προσομοίωσή του δικτύου.

#### **10.3.2. Συμπέρασμα Αξιολόγησης/Σύγκρισης OMNeT++ / J-Sim**

Όπως αναφέραμε το OMNeT++ διαθέτει αρκετά δυναμικά στοιχεία σε θέματα προσομοιώσεων αλλά δεν προτείνεται για την προσομοίωση των ασύρματων δικτύων



αισθητήρων λόγω της πολυπλοκότητας που έχουν και της αναγκαιότητας αναλύσεων σε χαμηλό επίπεδο.

Το J-Sim προσεγγίζει αρκετά το NS-3 που θεωρείται το κατάλληλο για την προσομοίωση των ασύρματων δικτύων αισθητήρων. Το J-Sim έχει μια εξειδίκευση που έχει στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων υποστηρίζοντας διαχύσεις δεδομένων, δρομολογήσεις και προσομοιώσεις εντοπισμού σε ασύρματα δίκτυα αισθητήρων σε μοντέλα και πρωτόκολλα με μεγάλη ανάλυση πληροφορίας. Η μεταφορά των δεδομένων και οι δρομολογήσεις αποτελούν τα ουσιώδη θέματα και τα μεγάλα ερευνητικά πεδία στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων.

Το J-Sim σε σχέση με το OMNeT++ προτείνεται για αποκλειστική χρήση προσομοίωσης ασύρματων δικτύων αισθητήρων εξασφαλίζοντας μια αρκετά ποιοτική προσέγγιση στα αποτελέσματα των μετρήσεων.

### **10.3.3. Συμπέρασμα Αξιολόγησης/Σύγκρισης J-Sim / NS-3**

Όπως αναφέραμε για την περίπτωση των ασύρματων δικτύων αισθητήρων λόγω της πολυπλοκότητας που έχουν και της αναγκαιότητας αναλύσεων σε χαμηλό επίπεδο το λογισμικό που προτείνεται βάση αξιολογήσεων χαρακτηριστικών και λειτουργιών είναι το NS-3. Το J-Sim προσεγγίζει αρκετά το NS-3 αφού το δυνατό του σημείο είναι η εξειδίκευση που έχει στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων.

Το λογισμικό προσομοίωσης J-Sim διαθέτει ένα μεγάλο αριθμό πρωτοκόλλων και υποστηρίζει διαχύσεις δεδομένων, δρομολογήσεις και προσομοιώσεις εντοπισμού σε ασύρματα δίκτυα αισθητήρων σε μοντέλα και πρωτόκολλα με μεγάλη ανάλυση πληροφορίας. Το J-Sim έχει μια εξειδίκευση στις λειτουργίες των ασύρματων δικτύων αισθητήρων και σε πολλά θέματα παρουσιάζει καλύτερα αποτελέσματα από το NS-3.

Το NS-3 αποτελεί την πρωταρχική αξιόπιστη λύση παρέχοντας πολλές λειτουργίες και χαρακτηριστικά για την προσομοίωση των ασύρματων δικτύων αισθητήρων. Εναλλακτικά το J-Sim σε σχέση με το NS-3 προτείνεται για αποκλειστική χρήση προσομοίωσης ασύρματων δικτύων αισθητήρων εξασφαλίζοντας μια αρκετά ποιοτική προσέγγιση στα αποτελέσματα των μετρήσεων. Στα μειονεκτήματά του το J-Sim είναι σχετικά περίπλοκο στην χρήση και ο χρόνος εκτέλεσης είναι πολύ μεγαλύτερος από το NS-3.

#### **10.3.4. Συμπέρασμα Αξιολόγησης/Σύγκρισης Mannasim / NS-3**

Η περίπτωση των ασύρματων δικτύων αισθητήρων λόγω της πολυπλοκότητας που έχουν και της αναγκαιότητας αναλύσεων σε χαμηλό επίπεδο το λογισμικό που πληροί τις προδιαγραφές για ποιοτική και αναλυτική προσομοίωση είναι το NS-3.

Το Mannasim εστιάζει στην ανάλυση των προσομοιώσεων σε ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Παρέχει μια πολύ ευέλικτη πλατφόρμα με πρωτόκολλα. Αναλύει σε χαμηλό επίπεδο με μετρήσιμα στοιχεία για το επίπεδο ισχύος των εξαρτημάτων, τα σφάλματα που παρουσιάζονται σε αστοχίες κόμβων κατά την μεταφορά των πακέτων, την λειτουργία των γεγονότων που επιτελούνται στο δίκτυο κλπ.

Το Mannasim δίνει την δυνατότητα στην προσομοίωση διαφορετικών ειδών συσκευών αισθητήρων, κάνει χρήση διαφορετικών επιλογών ανίχνευσης, διαφορετικών επιλογών διάδοσης, διαφορετικών επιλογών επεξεργασίας, επιτρέπει την προσομοίωση επίπεδων και ιεραρχικών δικτύων αισθητήρων, επιτρέπει την προσομοίωση ομοιογενών και ετερογενών δικτύων αισθητήρων, επιτρέπει την προσομοίωση δικτύων με ένα ή περισσότερα σημεία πρόσβασης και την χρήση διαφορετικών πρωτοκόλλων κλπ.

Το NS-3 αποτελεί την πρωταρχική αξιόπιστη λύση παρέχοντας πολλές λειτουργίες και χαρακτηριστικά για τη προσομοίωση των ασύρματων δικτύων αισθητήρων. Το Mannasim παρόλο που έχει χαρακτηριστικά του J-Sim και μπορεί να αποτελέσει και αυτό το λογισμικό μια εναλλακτική σαν δευτερεύουσα λύση αποτελεί την τέταρτη επιλογή μεταξύ των τεσσάρων λογισμικών προσομοίωσης που αξιολογήθηκαν διότι στηρίζεται στο πλέον παρωχημένο και ξεπερασμένο NS-2.

#### **10.3.5. Συμπέρασμα Αξιολόγησης/Σύγκρισης Mannasim / J-Sim**

Το J-Sim προσεγγίζει αρκετά το NS-3 το οποίο είναι το πιο κατάλληλο για την προσομοίωση των ασύρματων δικτύων αισθητήρων. Το J-Sim έχει μια εξειδίκευση στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων υποστηρίζοντας πολλές διαδικασίες όπως είναι οι διαχύσεις των δεδομένων, οι δρομολογήσεις, ο εντοπισμός στο δίκτυο αισθητήρων σε μοντέλα και πρωτόκολλα με μεγάλη ανάλυση πληροφορίας.

Το Mannasim εστιάζει στην ανάλυση των προσομοιώσεων σε ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Αναλύει σε χαμηλό επίπεδο με αρκετά αναλυτική πληροφορία τις διακυμάνσεις και αλληλεπιδράσεις των δομικών στοιχείων και των γεγονότων του δικτύου.

Ελέγχει την ενεργειακή πολιτική των κόμβων, τις μεταφορές, τα σφάλματα κλπ. Το Mannasim παρόλο που έχει πολλά χαρακτηριστικά του J-Sim και μπορεί να αποτελέσει και αυτό το λογισμικό μια εναλλακτική σαν δευτερεύουσα λύση αποτελεί την τέταρτη επιλογή μεταξύ των τεσσάρων λογισμικών προσομοίωσης που αξιολογήθηκαν διότι στηρίζεται στο πλέον παρωχημένο και ξεπερασμένο NS-2.

Το NS-3 αποτελεί την πρωταρχική αξιόπιστη λύση παρέχοντας πολλές λειτουργίες και χαρακτηριστικά για τη προσομοίωση των ασύρματων δικτύων αισθητήρων. Το J-Sim σε σχέση με το Mannasim προτείνεται σαν δευτερεύουσα λύση για αποκλειστική χρήση προσομοίωσης ασύρματων δικτύων αισθητήρων εξασφαλίζοντας μια αρκετά ποιοτική προσέγγιση στα αποτελέσματα των μετρήσεων.

### **10.3.6. Συμπέρασμα Αξιολόγησης/Σύγκρισης Mannasim / OMNeT++**

Το λογισμικό προσομοίωσης OMNeT++ είναι ένα αρκετά σύγχρονο λογισμικό και διαθέτει αρκετά δυναμικά στοιχεία σε θέματα προσομοιώσεων. Θεωρείται όμως αφηρημένο αφού δεν εστιάζει σε βάθος λεπτομέρειας στα χαμηλά επίπεδα του δικτύου κάτι που απαιτείται στην περίπτωση της προσομοίωσης των ασύρματων δικτύων αισθητήρων λόγω της πολυπλοκότητας που έχουν και της αναγκαιότητας αναλύσεων σε χαμηλό επίπεδο.

Το Mannasim εξειδικεύεται στην ανάλυση των προσομοιώσεων σε ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Το βασικό του πλεονέκτημα είναι η ανάλυση σε αρκετά χαμηλό επίπεδο στα δομικά στοιχεία και τα γεγονότα του δικτύου. Ενδεικτικά ελέγχει την ενεργειακή πολιτική των κόμβων, τις μεταφορές των πακέτων και τα σφάλματα. Βασικές λειτουργίες που επιτελεί είναι η προσομοίωση διαφορετικών ειδών συσκευών αισθητήρων, επιλογών ανίχνευσης, επιλογών διάδοσης, επιλογών επεξεργασίας. Κάνει προσομοίωση ιεραρχικών επιπέδων δικτύων αισθητήρων, ομοιογενών και ετερογενών δικτύων αισθητήρων με χρήση διαφορετικών πρωτοκόλλων κλπ. Το Mannasim προσεγγίζει πολύ το J-Sim σε χαρακτηριστικά και λειτουργίες αφού είναι της ίδιας φιλοσοφίας.

Το Mannasim σε σχέση με το OMNeT++ παρότι στηρίζεται στο παρωχημένο και ξεπερασμένο NS-2 προτείνεται για αποκλειστική χρήση προσομοίωσης ασύρματων δικτύων αισθητήρων εξασφαλίζοντας μια αρκετά ποιοτική προσέγγιση στα αποτελέσματα των μετρήσεων.

#### 10.4. Αποτίμηση Σύγκρισης

Ύστερα από την ανάλυση των τεσσάρων βασικών λογισμικών προσομοίωσης από τα έξη λογισμικά που εξεταστήκαν η γενική διαπίστωση είναι ότι σε επίπεδο λογισμικού κατασκευαστή αλλά και σε ανοιχτού κώδικα η κάλυψη των ερευνητικών αναγκών σε θέματα προσομοίωσης είναι ικανοποιητική.

Οι κατασκευαστές για παράδειγμα η CISCO κάνουν ανάπτυξη λογισμικού εστιάζοντας περισσότερο στα δικά τους προϊόντα και όχι στην έρευνα. Για παράδειγμα η CISCO διαθέτει τον NETSIM προσομοιωτή ο οποίος εξειδικεύεται πάνω σε υλικό CISCO. Τα λογισμικά ανοιχτού κώδικα έχουν το πλεονέκτημα ότι υποστηρίζονται από μεγάλες κοινότητες και εστιάζουν περισσότερο σε ερευνητικά θέματα.

Σχετικά με τους προσομοιωτές που εξετάστηκαν όλοι είχαν κοινά βασικά χαρακτηριστικά όπως το εύρος των δικτύων που καλύπτουν, η ελεύθερη διάθεση τους, οι άδειες χρήσης, οι πλατφόρμες εγκατάστασης και χρήσης και τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση τους και τις βιβλιοθήκες και τα μοντέλα που διαθέτουν. Τα κριτήρια διαφοροποίησης και αξιολόγησης εστιάζουν βασικά στις προδιαγραφές της προσομοίωσης, την αξιοπιστία και την απόδοση της προσομοίωσης, την διαχείριση των υπολογιστικών πόρων και σε τι βάθος ανάλυση κάνουν στα χαμηλότερα επίπεδα του δικτύου κάτι που απαιτείται ειδικά σε τύπους δικτύων όπως είναι τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων λόγω των χαρακτηριστικών τους.

Σχετικά με την χρήση των λογισμικών προσομοίωσης οι βασικοί παράμετροι πέραν των αποτελεσμάτων που προαναφέρθηκαν στις αξιολογήσεις που έγιναν είναι οι πλατφόρμες λειτουργικού συστήματος και υπολογιστικών συστημάτων στις οποίες λειτουργούν, η γλώσσα προγραμματισμού που είναι περισσότερο εξοικειωμένος ο σχεδιαστής να δουλεύει και γενικά το περιβάλλον στο οποίο είναι συνηθισμένος να δουλεύει.

Από τα λογισμικά προσομοίωσης που αξιολογήθηκαν αυτά που ξεχώρισαν είναι το OMNET++ και το NS-3. Το πιο διαδεδομένο εργαλείο προσομοίωσης, θεωρείται το NS-3 το οποίο παρέχει μια μεγάλη γκάμα τοπολογιών, πρωτοκόλλων και εφαρμογών δικτύων που μπορεί να προσομοιώσει. Για την περίπτωση των ασύρματων δικτύων αισθητήρων το NS-3 κρίθηκε το κατάλληλο λόγω της χαμηλής ανάλυσης που κάνει στο δίκτυο κάτι που είναι άκρως απαραίτητο ειδικά στο θέμα της αστοχίας των κόμβων με την παραγωγή νέων δρομολογήσεων. Σαν δευτερεύουσα λύση κρίθηκε το J-Sim το οποίο έχει μια εξειδίκευση στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων παρέχοντας μια αξιόπιστη και αρκετά ποιοτική προσομοίωση. Το OMNET++ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για οποιαδήποτε προσομοίωση,

χρησιμοποιείται κυρίως για θέματα εκπαίδευσης και αποτελεί και την βάση της ανάπτυξης άλλων εργαλείων τα οποία εξειδικεύονται σε τοπολογίες και πρωτόκολλα δικτύων.

Άσχετα από τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που προσφέρουν τα λογισμικά προσομοίωσης ο βασικός στόχος είναι η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων έτσι ώστε να αποτελούν μέρος συστημάτων αποφάσεων για την τελική δημιουργία της αρχιτεκτονικής και σχεδίασης των δικτύων και την κάλυψη των σύγχρονων ερευνητικών αναγκών σε σχέση πάντα με τις ισχύουσες συνθήκες πληροφορικής που επικρατούν σήμερα.

---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11. Ανοιχτά θέματα, προκλήσεις, μελλοντική έρευνα και συμπεράσματα

Η προσομοίωση των δικτύων των υπολογιστικών συστημάτων είναι μια σημαντική τεχνική που χρησιμοποιούν οι σχεδιαστές των δικτύων για την δημιουργία νέων δικτύων ή την διόρθωση υφισταμένων δικτύων. Το λογισμικό προσομοίωσης κάνει την μοντελοποίηση της συμπεριφοράς του δικτύου ειδικά σε θέματα αξιοπιστίας μεταφοράς των πακέτων και σε θέματα απόδοσης σε μεγάλους φόρτους μεταφοράς πακέτων. Το αποτέλεσμα είναι ο υπολογισμός των φόρτων του δικτύου σε πραγματικές συνθήκες βάση σεναρίων που δημιουργούνται για να διαπιστωθεί η αντοχή και η απόδοση του σύμφωνα με τις προβλεπόμενες επιχειρησιακές προδιαγραφές που τίθενται στα πλαίσια του πληροφοριακού συστήματος που το χρησιμοποιεί.

Το δίκτυο διαχωρίζεται σε δυο βασικές κατηγορίες: τα βασικά δομικά στοιχεία σύνθεσης του δικτύου και τα γεγονότα του δικτύου. Η προσομοίωση εστιάζει στα θέματα σχεδίασης αλλά κυρίως στα μετρήσιμα στοιχεία των γεγονότων που επιτελούνται βάση της σχεδίασης του δικτύου που έχει γίνει. Ένα βασικό γεγονός που επηρεάζει πολλές διαδικασίες είναι η μεταφορά των πακέτων που εξαρτάται από την τοπολογία που έχει δημιουργηθεί. Επομένως η δομή και τα γεγονότα του δικτύου είναι αλληλένδετα μεταξύ τους. Επίσης η δομή του δικτύου είναι μονής κατεύθυνσης, δηλαδή το γεγονός επηρεάζεται αποκλειστικά από την δομή του δικτύου.

Η διαδικασία της προσομοίωσης γίνεται με την μοντελοποίηση του συστήματος με σκοπό την καταγραφή της αλληλεπίδρασης των δομικών στοιχείων του δικτύου. Γίνεται η δημιουργία πολλαπλών σεναρίων με πραγματικές συνθήκες και δεδομένα με την αναπαραγωγή του πραγματικό φόρτου του δικτύου. Το αποτέλεσμα είναι η δημιουργία αναφορών με την συμπεριφορά του δικτύου βάση πολλών σεναρίων.

Όπως αναφέρθηκε πολλές φορές η προσομοίωση αποτελεί τον οδηγό μιας σωστής αρχιτεκτονικής και σχεδίασης του δικτύου με σκοπό ένα συμπαγές και αποδοτικό δίκτυο. Η βασική παράμετρος που επηρεάζει τον σωστό σχεδιασμό είναι η αξιοπιστία των μετρήσεων της προσομοίωσης και με την πάροδο των ετών και την ανάπτυξη της πληροφορικής και ειδικά στην σημερινή εποχή την ανάπτυξη του διαδικτύου να καλύπτει τις συνεχόμενες νέες ανάγκες που δημιουργούνται και τα ερευνητικά πεδία που προκύπτουν. Η έρευνα είναι μια πολύ σημαντική διαδικασία σε όλους τους τομείς της κοινωνίας. Στην περίπτωση της πληροφορικής όταν δημιουργείται ένα πληροφοριακό σύστημα, στην περίπτωση μας ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων και είναι σε πλήρη λειτουργία σε παραγωγικό περιβάλλον πρέπει να υπάρχει συνεχής έρευνα για την επίλυση και καλύτερευση προβλημάτων και την δημιουργία νέων λειτουργιών και χαρακτηριστικών σύμφωνα πάντα με τις συνθήκες που επικρατούν. Η πληροφορική είναι ένας τομέας ο οποίος δεν είναι στάσιμος, συνεχώς εξελίσσεται και συμπαρασύρει όλα τα υπολογιστικά συστήματα που δημιουργούνται.

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων αποτελούν ένα νέο πεδίο πληροφορικής με συνεχόμενη χρήση και ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια. Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων έχουν πολλές διαφοροποιήσεις σε σχέση με τα κλασικά ασύρματα δίκτυα και για αυτό παρουσιάζουν μια πολυπλοκότητα αλλά ταυτόχρονα και ένα πεδίο μεγάλης έρευνας για την καλύτερη λειτουργικότητα και απόδοση τους. Για παράδειγμα οι αλγόριθμοι, η δημιουργία νέων δρομολογήσεων των κόμβων και οι τεχνικές μεταφοράς των πακέτων αποτελούν σημαντικά πεδία έρευνας.

Για την περίπτωση των ασύρματων δικτύων αισθητήρων έγιναν αναλυτικές αξιολογήσεις και συγκρίσεις των λογισμικών προσομοίωσής που επιλέχθηκαν. Το NS-3 κρίθηκε το πιο κατάλληλο λόγω της χαμηλής ανάλυσης που κάνει στο δίκτυο κάτι που είναι απαραίτητο στο φαινόμενο της αστοχίας των κόμβων και τον νέο υπολογισμό των δρομολογήσεων. Επίσης θέματα σχετικά με την πυκνότητα των κόμβων, τις ενεργειακές πολιτικές για την βιωσιμότητα των κόμβων σε δύσκολα γεωγραφικά μέρη είναι σημαντικοί παράγοντες για προσομοιώσεις οι οποίες να δίνουν αναλυτικές και συγκεντρωτικές πληροφορίες σε χαμηλό επίπεδο για το δίκτυο με σκοπό την αξιολόγηση τους από τους σχεδιαστές με σκοπό την δημιουργία ενός συμπαγές ανθεκτικού και αποδοτικού δικτύου.

Τέλος, παρά τις αναλύσεις που έγιναν πρέπει να αναφερθεί ότι το βασικό δεδομένο είναι ότι τα λογισμικά προσομοίωσής μπορεί να χρησιμοποιούν δεδομένα παραγωγής σε πραγματικές συνθήκες αλλά τα αποτελέσματα είναι εικονικά. Επομένως ο βασικός σκοπός του προσομοιωτή είναι η αξιοπιστία των μετρήσεων και των αποτελεσμάτων έτσι ώστε αν δεν μπορούν να δώσουν το απόλυτο να δείξουν με αξιοπιστία την τάση που υπάρχει σχετικά με τα θέματα του δικτύου όπως είναι η απόδοση του, τα λάθη που δημιουργούνται, προβληματικές μεταφορές πακέτων και άλλες σημαντικές λειτουργίες που επιτελούνται. Ο προσομοιωτής πρέπει να είναι ο οδηγός αξιολόγησης και επιλογής του προτεινόμενου δικτύου σε θέματα αρχιτεκτονικής και σχεδίασης πριν την φάση υλοποίησης και εγκατάστασης στο παραγωγικό περιβάλλον.

---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12. Επίλογος

Στην σημερινή εποχή με την ανάπτυξη της πληροφορικής και την συνεχόμενη αυξητική τάση χρήσης του διαδικτύου και την πλήρη προσαρμογή του στα πληροφοριακά συστήματα, τα δίκτυα αποτελούν σημαντικό παράγοντα ανάπτυξης και υποστήριξης των συστημάτων. Ειδικά με την χρήση της κινητής τηλεφωνίας και την υποστήριξη των εφαρμογών τα ασύρματα δίκτυα παίζουν σημαντικό ρόλο στην λειτουργία των επιχειρησιακών διαδικασιών των πληροφοριακών συστημάτων.

Ειδικά τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων είναι σημαντικά με την δημιουργία νέων πεδίων πληροφορικής και έρευνας με την δημιουργία νέων καινοτόμων πληροφοριακών συστημάτων. Το ασύρματο δίκτυο αισθητήρων είναι ένα σύνολο από διασκορπισμένους αυτόνομους αισθητήρες που χρησιμοποιούνται για πολλούς σκοπούς και σε πολλούς τομείς αλλά κυρίως για την παρακολούθηση φυσικών ή περιβαλλοντολογικών συνθηκών.

Η συγκεκριμένη εργασία πραγματοποιήθηκε τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Τα προσέγγισε σε βασικό θεωρητικό επίπεδο και στο ειδικό μέρος εστίασε στα λογισμικά προσομοίωσης που χρησιμοποιούνται για την σωστή σχεδίαση των δικτύων. Έγινε μια ανάλυση των λογισμικών με τα βασικά χαρακτηριστικά τους και διαδικασίες αξιολογήσεων και συγκρίσεων μεταξύ τους με άξονα τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Βάση των συγκρίσεων προέκυψαν αρκετά σημαντικά χαρακτηριστικά και διαδικασίες σε σχέση με την προσομοίωση των δικτύων. Η συνεισφορά της εργασίας είναι η καταγραφή των βασικών συγκρίσεων των λογισμικών προσομοίωσης και οι αναλυτικές προτάσεις χρήσης για την προσομοίωση των ασύρματων δικτύων αισθητήρων με άξονα τις προδιαγραφές λειτουργίας, την αξιοπιστία, την λειτουργικότητα και την απόδοση του δικτύου.

---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 13. Βιβλιογραφικές Αναφορές / Πηγές

### □ Ελληνόγλωσση Βιβλιογραφία

- [01] Κίκιρας, Π. (2008). “Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων: Αρχιτεκτονική κόμβων και δικτύων”.
- [02] Σ. Κουμπιάς, Βιομηχανικά Δίκτυα Υπολογιστών, 2012

### □ Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

- [01] I. F. Akyildiz and I. H. Kasimoglu, “Wireless sensor and actor networks: Research challenges,” Ad Hoc Networks, 2004.
- [02] A. Perrig, “Designing Secure Sensor Networks,” IEEE Wirel. Commun., vol. 11, no. 6, Dec. 2004.
- [03] K. Sohraby, D. Minoli, and T. Znati, Wireless Sensor Networks. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2007
- [04] F. L. Lewis, “Smart Environments - Wireless Sensor Networks,” D. J. Cook and S. K. Das, Eds. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2004.
- [05] G. Sharma, “Routing in wireless sensor networks,” 2009.
- [06] E. Fasolo, M. Rossi, J. Widmer, and M. Zorzi, “In-network aggregation techniques for wireless sensor networks: a survey,” IEEE Wireless Communications, vol. 14., 2007.
- [07] B. Heile, “Emerging Standards: Where Do ZigBee/UWB Fit?,” ZigBee Alliance, Bish. Ranch, CA, 2004.
- [08] T. Arampatzis, J. Lygeros, and S. Manesis, “A Survey of Applications of Wireless Sensors and Wireless Sensor Networks,” Proc. 2005 IEEE Int.
- [09] A. Mainwaring, D. Culler, J. Polastre, R. Szewczyk, and J. Anderson, “Wireless Sensor Networks for Habitat Monitoring,” in Proceedings of the 1<sup>st</sup>



{ACM}International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications, 2002

- [10] G.J. Pottie, W.J. Kaiser, "Wireless integrated network sensors", Communications of the ACM 43 (5) (2000)
- [11] G. Wittenburg and J. Schiller, "Running Real-World Software on Simulated Wireless Sensor Nodes," in REALWSN 2006, 2006.
- [12] G. Sharma, "Routing in wireless sensor networks," 2009.
- [13] Malik Tubaishat and Sanjay Madria, "Sensor networks: an overview", IEEE Potentials, 22(2):20--23, April-May 2003.
- [14] Ian Akyildiz, Weilian Su, Yogesh Sankarasubramanian, Erdal Cayirci, "A Survey on Sensor Network," IEEE Communications Magazines, August, 2002.
- [15] O. B. Akan and I. F. Akyildiz, "Event-to-sink reliable transport in wireless Sensor networks," IEEE/ACM Trans. Netw., vol. 13, no. 5, pp. 1003–1016, Oct. 2005.
- [16] Varga Andras, OMNeT++ Discrete Event Simulation System Version 3.2, User Manual, 2005 (pdf document)
- [17] A.Varga and R. Hornig. An overview of the OMNeT++ simulation environment. March 2008.
- [18] M. L. A. Ghizoni, A. Santos, and L. B. Ruiz, "Follow-us: A distributed ubiquitous healthcare system simulated by manasim," Computational Science and Its Applications, 2012
- [19] Kazemeyni, Fatemeh; Johnsen, Einar Broch; Owe, Olaf; Balasingham, Ilango: Formal modeling and validation of a power-efficient grouping protocol for WSNs (2012)
- [20] Vasu,B., M.Varshney, R.Rengaswamy, M.Marina, A.Dixit, P.Aghera, M. Srivastava, and R. Bagrodia. 2005. Squalnet: a scalable simulation framework for sensor networks. In Proceedings of the 3rd International Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys'05).

[21] Wehrle, Klaus, Gunes, Mesut, Modeling and Tools for Network Simulation, 2010

[22] Mohsen Guizani, Ammar Rayaes, Bilal Khan, Ala Al-Fuqaha, Network Modeling and Simulation : A Practical Perspective, 2010

[23] Hussein Al-Bahadili, Simulation in Computer Network Design and Modeling: Use and Analysis, 2012

### **□ Ηλεκτρονικοί Πόροι**

[01] “OMNeT++ (Objective Modular Network Test-bed in C++)”,  
<https://www.omnetpp.org>

[Πρόσβαση 30 Σεπτεμβρίου 2018]

[02] “NS-3”, < <https://www.nsnam.org>>

[Πρόσβαση 30 Σεπτεμβρίου 2018]

[03] “J-Sim”, <http://www.j-sim.org>

[Πρόσβαση 30 Σεπτεμβρίου 2018]

[04] “Mannasim”, < <http://www.mannasim.dcc.ufmg.br>>

[Πρόσβαση 30 Σεπτεμβρίου 2018]