

ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ



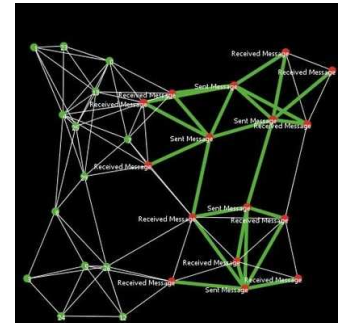
ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ: ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΑΙ ΘΕΜΑΤΑ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ»

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΔΕΛΛΑΠΟΡΤΑΣ ΠΕΤΡΟΣ Α.Μ 3722

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: ΛΙΟΔΑΚΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΧΑΝΙΑ, ΜΑΙΟΣ 2011



Θα ήθελα να ευχαριστήσω όλου όσους μου συμπαραστάθηκαν σε αυτό το ταξίδι των πέντε ετών φοιτήσεως στο Τμήμα Ηλεκτρονικής και θα σταθώ ιδιαιτέρως στους γονείς μου, οι οποίοι με την υπομονή τους και τη περίσσεια κατανόηση μου έδωσαν τα απαραίτητα εφόδια ώστε να καταφέρω να θέσω τις βάσεις για τη μετέπειτα ζωή μου.

Πολλές ευχαριστίες θα ήθελα να απευθύνω και στο διδακτικό προσωπικό του παραρτήματος αφού από τον κάθε έναν ξεχωριστά κατάφερα να αποκομίσω έστω και κάτι το ελάχιστο και ιδιαίτερα στο κ. Γεώργιο Λιοδάκη με τον οποίο κατά τη διάρκεια της πρακτικής μου άσκησης στο εργαστήριο Τηλεπικοινωνιών συνεργαστήκαμε άψογα, αλλά και κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της πτυχιακής, για τις προτροπές και τη καθοδήγηση του, οι οποίες με βοήθησαν στο μέγιστο βαθμό να τη πραγματοποιήσω.

Πέτρος Δελλαπόρτας

Wireless Sensor Networking Performance: Evaluation and implementation Issues

ABSTRACT

Many application areas have been proposed to date that show the versatility of Wireless Sensor Networks (WSNs), and some are already finding their way into the mainstream. However, a major issue to be solved in the application area under consideration, is to assure a minimum level of security through the introduction of the appropriate trust and reputation model for the interactivity nodes of the WSN.

As it concerns the evaluation of a WSN, it is more cost-effective to use simulation, except for final stages of development (when real world testbeds are needed).

The aim of the thesis is to present issues related to WSN application areas, WSN development issues, and methods for the evaluation of WSN performance. Furthermore, by the use of a WSN-specific simulator, the effectiveness of three trust and reputation models is studied.

In particular the effectiveness of the models is examined in terms of the percentage accuracy (for the selection of trustworthy servers by the client nodes of our WSN) and path length (i.e. the number of hops for paths leading to trustworthy servers).

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Γενικά περί Ασυρμάτων Δικτύων Αισθητήρων(ΑΔΑ)

1.1 Ορισμοί-Πλαίσιο

1.2 Θέματα Σχεδιασμού & Κρίσιμες Παράμετροι για τα WSN

1.2.1 Διαχείριση ενέργειας(power budget)

1.2.2 Τοπολογία δικτύου(network topology)

1.2.3 Δρομολόγηση(routing)

1.2.4 Κλιμάκωση(scalability)

1.2.5 Κρίσιμοι παράμετροι WSN

1.3 Εφαρμογές των WSN

1.3.1 Παρακολούθηση περιοχής

1.3.2 Παρακολούθηση και ανίχνευση σε στρατιωτικές εφαρμογές

1.3.3 Assisted living facilities

1.3.4 Δίκτυα σώματος(body networking)

1.3.5 Backbone Networks

1.3.6 Παρακολούθηση και έλεγχος νερού

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Υλοποίηση WSN μέσω SUNSPOT συσκευών

2.1 Αισθητήρες τεχνολογίας SUNSPOT

2.1.1 Περιβάλλον χειρισμού SUNSPOT

2.1.2 Εργαλεία ανάπτυξης για SUNSPOT

2.1.3 Ασφάλεια

2.1.5 Τεχνικά χαρακτηριστικά του SUNSPOT

2.2 Υλοποίηση WSN μέσω TINYOS

2.2.1 Μοντελοποίηση TINYOS

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Αξιολόγηση Απόδοσης WSN

3.1 Τρόποι αξιολόγησης απόδοσης

3.1.1 Testbeds

3.1.2 Emulator

3.1.3 Simulator

3.2 Απαιτήσεις και τεχνικές από το λογισμικό προσομοίωσης

3.2.1 Η ακρίβεια των προσομοιωτών

3.2.2 Η επίδραση της granularity

3.2.3 Μοντέλα φορητότητας

3.2.4 Μοντέλα ασύρματης διάδοσης

3.2.5 Μέγεθος προσομοίωσης

3.2.6 Τεχνικές επιτάχυνσης προσομοίωσης

3.2.7 Παραλληλισμός και κατανομή

3.2.8 Υβριδικές προσομοιώσεις

3.2.9 Γλώσσες προσομοίωσης και πλαίσια

3.2.10 Οπτικοποίηση και έλεγχος λαθών

3.2.11 Bining

3.2.13 Επιλογή κατάλληλου προσομοιωτή

3.2.14 Κριτήρια και μεθοδολογίες για την επιλογή προσομοιωτή

3.3 Περιγραφή και προσομοίωση του BTRM μοντέλου μέσω του TRMSim

3.3.1 Παρουσίαση του προσομοιωτή BTRMSim

3.3.2 Ρυθμίσεις δικτύου

3.3.3 Ρυθμίσεις προσομοίωσης

3.3.4 Συμπεριφορά ταλάντωσης και συγκρούσεις

3.3.5 Αποτελέσματα και μηνύματα

3.3.6 Παρουσίαση του BTRM μοντέλου

3.3.7 Πειράματα και αποτελέσματα πάνω σε στατικά WSNs

3.3.8 Πειράματα και αποτελέσματα πάνω σε δυναμικά WSNs

3.4 Σύγκριση BTRM μοντέλου με άλλα μοντέλα προσομοίωσης

3.4.1. Πληροφορίες σχετικά με το PEERTRUST μοντέλο

3.4.2 Πληροφορίες σχετικά με το POWERTRUST μοντέλο

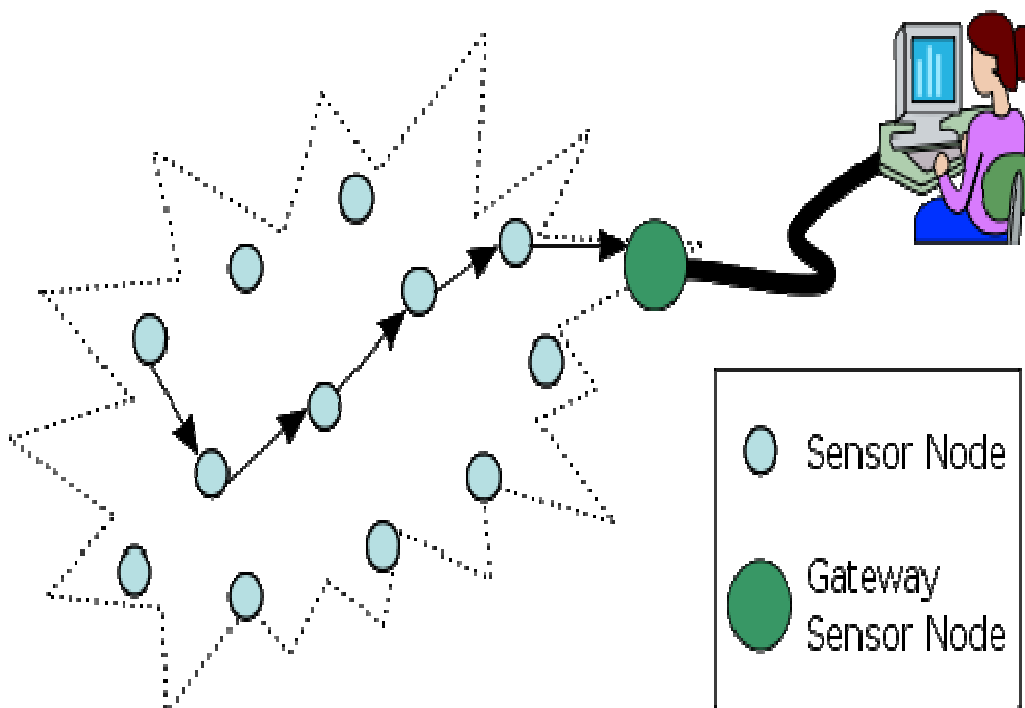
3.4.3 Προσομοιώσεις Α.Δ.Α για διάφορα μοντέλα Trust and Reputation

3.4.4 Παρατηρήσεις-συμπεράσματα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ



(Σχήμα 1.1)

(κλασσική εφαρμογή WSN δικτύου όπου κόμβοι-αισθητήρες αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και η πληροφορία μας μέσω ενός gateway κόμβου μεταφέρεται στον υπολογιστή μας)

Ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων αποτελείται από αυτόνομους αισθητήρες κατανεμημένους στο χώρο, (Όπως βλέπουμε στο σχήμα 1) όπου συνεργαζόμενοι μεταξύ τους παρακολουθούν και ελέγχουν φυσικές ή περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως θερμοκρασία, ήχος, δόνηση, πίεση και κίνηση. Η παραγωγή αυτού του είδους δικτύων ξεκίνησε από στρατιωτικές εφαρμογές όπως η επιτήρηση ενός πεδίου μάχης. Τώρα χρησιμοποιούνται σε βιομηχανικές εφαρμογές αλλά και στη καθημερινότητα μας συμπεριλαμβανομένου βιομηχανικές επεξεργασίες, παρακολούθηση ιατρικών μηχανημάτων, σε εφαρμογές υγιεινής, σε αυτοματισμούς σπιτιών αλλά και στον έλεγχο της κυκλοφορίας στα αστικά κέντρα.

Κάθε κόμβος εμπεριέχει έναν πομποδέκτη ή άλλες ασύρματες τηλεπικοινωνιακές συσκευές, ένα μικρό μικροεπεξεργαστή, μια πηγή ενέργειας συνήθως μια μπαταρία. Ένας αισθητήρας-κόμβος μπορεί να ποικίλλει σε μέγεθος, κυμαίνεται από ένα ζευγάρι παπουτσιών μέχρι ένα κόκκο άμμου. Το κόστος αυτών των αισθητήρων κυμαίνεται από εκατοντάδες δολάρια έως και μερικά cents, η τιμή πάντα εξαρτώμενη από το μέγεθος του κάθε αισθητήρα και το είδος της εφαρμογής του και παράγοντες όπως **η μνήμη, η ενέργεια, ταχύτητα υπολογισμού και εύρος ζώνης.**

Ένα δίκτυο αισθητήρων κανονικά αποτελεί ένα ασύρματο ad-hoc δίκτυο, δηλαδή κάθε αισθητήρας ξεχωριστά υποστηρίζει ένα multi-hop αλγόριθμο δρομολόγησης (πολλοί κόμβοι δηλαδή μπορούν να στέλνουν πακέτα πληροφορίας με διαφορετικές διαδρομές στο σταθμό βάσης).

Στην επιστήμη υπολογιστών και στις τηλεπικοινωνίες, τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων βρίσκονται πλέον στο επίκεντρο ερευνών και πολλά συνέδρια διεξάγονται για τα εν λόγω δίκτυα.

1.2 ΘΕΜΑΤΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΚΡΙΣΙΜΟΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΓΙΑ ΤΑ WSN

Κρίσιμα θέματα σχεδιασμού των ΑΔΑ έχουν να κάνουν με παράγοντες όπως η **ενέργεια**, η **τοπολογία**, και η **κλιμάκωση** του όλου συστήματος παράγοντες ιδιαίτερα κρίσιμοι στο σχεδιασμό δικτύων όπου οι απαιτήσεις είναι μεγάλες.

1.2.1 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ



Πολλές συσκευές όπως το MICA2 και το MICAZ που χρησιμοποιούνται σε WSN λειτουργούν με δυο μπαταρίες AA. Εξαρτώμενη από το επίπεδο ενεργειών του κάθε κόμβου, η διάρκεια ζωής μπορεί να είναι λίγων ημερών αν δεν υπάρχει η κατάλληλη διαχείριση ενέργειας. Από τη στιγμή που τα περισσότερα συστήματα απαιτούν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, σημαντική έρευνα έχει αφιερωθεί για την αύξηση της διάρκειας ζωής ανάλογα με τις απαιτήσεις λειτουργίας.

Σε επίπεδο hardware είναι πιθανό να προστεθούν ηλιακά πάνελ ή ενέργεια που αντλείται από τη κίνηση ή τον άνεμο. Οι μπαταρίες ακόμη βελτιώνονται. Αν ο παράγοντας της μορφής της εφαρμογής δεν είναι πρόβλημα τότε είναι επίσης πιθανό να προσθέσουμε ακόμα περισσότερες μπαταρίες. Χαμηλής ενέργειας κυκλώματα και μικροεπεξεργαστές βελτιώνονται. Οι περισσότερες πλατφόρμες hardware επιτρέπουν πολλαπλές καταστάσεις εξοικονόμησης ενέργειας(off,idle,on) για κάθε στοιχείο της συσκευής(κάθε αισθητήρα, ο μικροεπεξεργαστής). Με αυτό

τον τρόπο, μόνο τα στοιχεία απαιτούνται σε ένα συγκεκριμένο χρόνο ώστε να είναι ενεργά.

Θέματα Σχεδιασμού & Κρίσιμες Παράμετροι για τα WSN

Σε επίπεδο λογισμικού οι λύσεις διαχείρισης ενέργειας στοχεύουν στο να ελαχιστοποιούν τις επικοινωνίες από τη στιγμή που η εκπομπή και η ακοή για τα μηνύματα κοστίζουν ενεργειακά και δημιουργώντας sleep/wake up καταστάσεις για κόμβους συγκεκριμένων στοιχείων.

Το να ελαχιστοποιείται ο αριθμός των μηνυμάτων είναι ένα πρόβλημα. Για παράδειγμα, με ένα καλό **MAC πρωτόκολλο** υπάρχουν λιγότερες **συγκρούσεις** και **αναμεταδόσεις**. Με καλή δρομολόγηση, σύντομα μονοπάτια και αποφυγή συμφόρησης ή ελαχιστοποίηση μπορεί να επιτευχθεί και αυτό ελαχιστοποιεί τον αριθμό των μηνυμάτων που εστάλησαν.

Αποδοτική εύρεση γειτόνων, συγχρονισμός ρολογιού, εντοπισμός και «flooding» μπορούν να μειώσουν τον αριθμό των μηνυμάτων αυξάνοντας έτσι τη διάρκεια ζωής.

Πολλές λύσεις προσπαθούν να κρατούν «ξύπνιο» τον ελάχιστο αριθμό των κόμβων, για να παρέχουν την απαιτούμενη κάλυψη όσο επιτρέπουν στους άλλους να «κοιμούνται». Για να εξισορροπήσουμε την κατανάλωση ενέργειας μια κατεύθυνση εφαρμόζεται περιοδικά εκεί όπου καινούριες «σκοπιές» επιλέγονται για την επόμενη περίοδο του χρόνου. Άλλη κοινή τεχνική είναι να βρούμε το κύκλο καθήκοντος των κόμβων. Για παράδειγμα, ένας κόμβος μπορεί να μένει ξύπνιος για 200 millisecond ο καθένας με ένα κύκλο καθήκοντος 20%. Το ποσοστό του κύκλου καθήκοντος που επιλέγεται εξαρτάται από τις απαιτήσεις της εφαρμογής αλλά το τελικό αποτέλεσμα είναι συνήθως μια σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας. Να σημειώσουμε ότι ο κύκλος καθήκοντος μπορεί να εφαρμοστεί και σε στρατιωτικές εφαρμογές συστημάτων παρακολούθησης.

Ειδικότερα στα ΑΔΑ θα πρέπει να σχεδιάζονται αλγόριθμοι δυναμικής δρομολόγησης για να μπορέσουμε να αντιμετωπίσουμε την απρόβλεπτη αλλαγή

της τοπολογίας του δικτύου που μας ενδιαφέρει γιατί όπως γνωρίζουμε στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων οι κόμβοι λειτουργούν με περιορισμένη ενέργεια

ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ(ΑΔΑ)

μπαταρίας και η αποτελεσματική χρήση της διαθέσιμης ισχύος έχει μεγάλη σημασία. Ένα χαρακτηριστικό αυτών των δικτύων είναι ότι η κατανάλωση ισχύος μετάδοσης συνδέεται στενά με την επιλογή μονοπατιών δρομολόγησης.

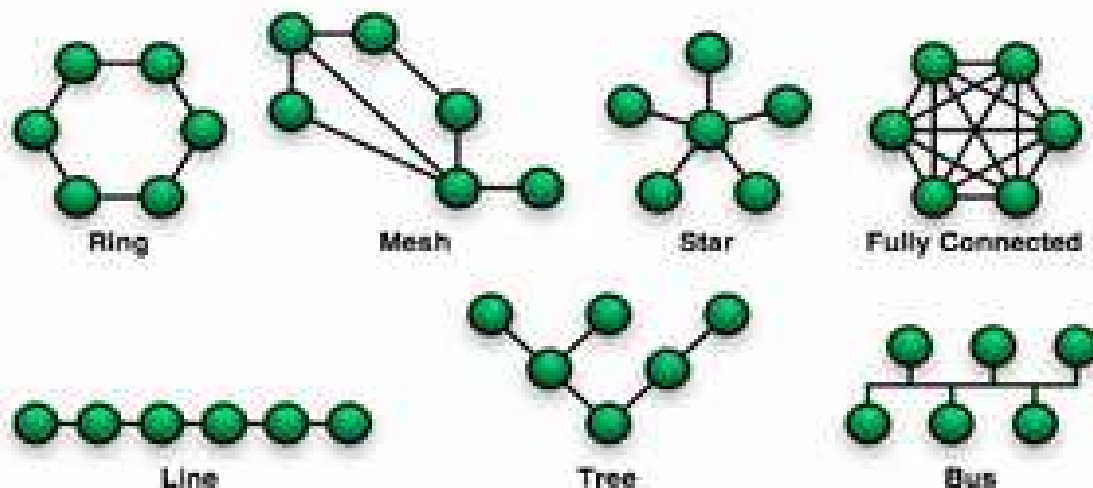
Πολλές φορές η δρομολόγηση επιλέγεται με τρόπο τέτοιο που να ελαχιστοποιεί τη συνολική ισχύ μετάδοσης έτσι ελαχιστοποιείται επίσης η ενέργεια που καταναλώνεται ανά πακέτο πληροφορίας. Όμως όταν όλη η κίνηση δρομολογείται προς τον προορισμό κατά μήκος του μονοπατιού ελάχιστης ενέργειας, οι κόμβοι στο μονοπάτι αυτό θα εξαντλήσουν τη μπαταρία τους σύντομα, οδηγώντας και άλλους κόμβους να αχρηστευτούν εξαιτίας απώλειας συνδεσιμότητας του δικτύου, ακόμη και όταν οι άλλοι κόμβοι διαθέτουν ενέργεια. Επομένως αναζητάμε τρόπους δρομολόγησης που να μεγιστοποιούν τη διάρκεια ζωής του δικτύου.

Βάσει όλων αυτών καλύφθηκε και το θέμα της ενέργειας γιατί στην περίπτωση των ΑΔΑ **τοπολογία-δρομολόγηση-ενέργεια** είναι έννοιες που συνδέονται.

1.2.2 ΤΟΠΟΛΟΓΙΑ ΔΙΚΤΥΟΥ

Στη δικτύωση υπολογιστών η τοπολογία σημαίνει το πώς συνδέονται και επικοινωνούν οι κόμβοι μεταξύ τους. Η τοπολογία ειδικότερα χωρίζεται σε 2 μέρη τη φυσική και τη λογική. Στη φυσική τοπολογία εννοούμε το φυσικό σχέδιο που περιλαμβάνει τις συσκευές που απαρτίζουν το δίκτυο και την τοποθεσία τους. Η λογική τοπολογία αναφέρεται στο πως μεταφέρονται τα δεδομένα μέσα στο δίκτυο όπως θα συνέβαινε στο φυσικό σχέδιο. Τοπολογία μπορεί να θεωρηθεί το εικονικό σχέδιο της δομής ενός δικτύου.

Όμως στη περίπτωση των ΑΔΑ πρέπει να γνωρίζουμε ότι η τοπολογία είναι δυναμική, δηλαδή αλλάζει.

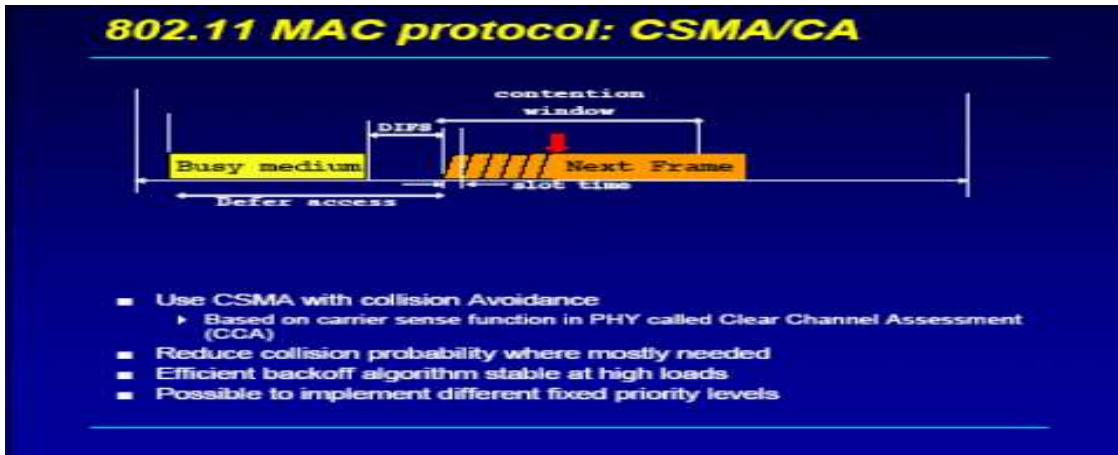


(Σχήμα 1.2)

(κλασσικές περιπτώσεις τοπολογίας όπου κάθε μια ονομάζεται ανάλογα με το σχήμα π. χ δακτυλίου, αστέρα, γραμμής, δέντρου η λεωφορείου)

Στο **σχήμα 1.2** παραπάνω βλέπουμε διάφορα είδη τοπολογιών. Αξίζει να αναφερθούμε στις λογικές τοπολογίες σκόπιμα ώστε να μπορέσουμε να αναλύσουμε και το θέμα των πρωτοκόλλων MAC. Το μονοπάτι που διαλέγει το δεδομένο μεταξύ των κόμβων συχνά προσδιορίζει και τη τοπολογία του δικτύου. Οι λογικές τοπολογίες συχνά σχετίζονται με τα MAC πρωτόκολλα. **(σχήμα 1.3&1.4)**

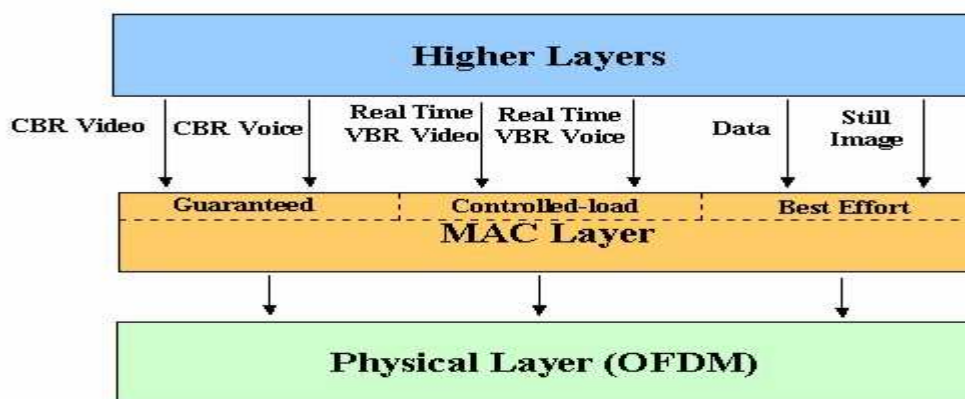
- 1) Οι λογικές τοπολογίες γενικώς καθορίζονται από τα πρωτόκολλα όπως καθορίζονται και από τη φυσική καλωδίωση.
- 2) Οι δυναμικές τοπολογίες συνήθως καθορίζονται και αναπροσαρμόζονται όπως ξέρουμε από συσκευές όπως **Routers** και **Switches**.



(Σχήμα 1.3)

(παραπάνω βλέπουμε τη χρονική διαδοχή που ακολουθεί ένα πρωτόκολλο MAC-CSMA/CA, όπου ο κόμβος που θέλει να στείλει το πακέτο, ελέγχει πρώτα αν το κανάλι είναι ελεύθερο και έπειτα στέλνει, ειδάλλως σε περίπτωση μεγάλου φόρτου κάνει 'back-off', δηλαδή περιμένει.)

Ας αναλύσουμε τα MAC πρωτόκολλα(σχήμα 1.4):



(Σχήμα 1.4)

(παραπάνω βλέπουμε μια απεικόνιση όπου το MAC επίπεδο μεσολαβεί μεταξύ του φυσικού επιπέδου και των υψηλότερων επιπέδων όπου λαμβάνουν χώρα εφαρμογές φωνής, εικόνας και

δεδομένα πραγματικού χρόνου τα οποία μέσω του MAC πρωτοκόλλου δρομολογούνται προς το φυσικό επίπεδο)

Ο έλεγχος πρόσβασης στο μέσο (MAC)(πρωτόκολλο) συντονίζει τις ενέργειες πάνω σε ένα διαμοιραζόμενο κανάλι. Μια στρατηγική που χρησιμοποιείται είναι ο κόμβος που έχει ένα μήνυμα να μεταδώσει ότι θα πρέπει να ελέγξει αν το κανάλι είναι απασχολημένο, εάν δεν είναι τότε μεταδίδει, αλλιώς περιμένει και προσπαθεί αργότερα. Μετά από σύγκρουση, οι κόμβοι περιμένουν με τυχαίους χρόνους προσπαθώντας να αποφύγουν ξανά την σύγκρουση. Αν δυο κόμβοι μεταδίδουν την ίδια χρονική στιγμή, υπάρχει σύγκρουση και όλοι οι κόμβοι συγκρούονται προσπαθώντας αργότερα. Πολλά ασύρματα πρωτόκολλα έχουν επίσης μια λειτουργία όπου οι κόμβοι δεν εμπλέκονται με το να στέλνουν και να λαμβάνουν ένα πακέτο σε ένα δοσμένο χρονικό πλαίσιο και πηγαίνουν σε κατάσταση αδράνειας για να εξοικονομήσουν ενέργεια.

Γενικώς, τα περισσότερα πρωτόκολλα προσβλέπουν σε μια γενική περίπτωση και για συγκεκριμένα επικοινωνιακά πρότυπα. Ωστόσο, ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων έχει πιο επικεντρωμένες απαιτήσεις που περιλαμβάνουν μια τοπική παρουσίαση, η κίνηση είναι γενικώς από κόμβους σε ένα ή σε λίγους, έχοντας περιοδική ή σπάνια επικοινωνία και πρέπει να σκεφτούμε και την κατανάλωση ενέργειας σαν έναν

σημαντικό παράγοντα. Ένα αποτελεσματικό πρωτόκολλο τέτοιου είδους για ΑΔΑ πρέπει να καταναλώνει λίγη ενέργεια, να αποφεύγει συγκρούσεις, να εφαρμόζεται με μικρούς κώδικες και με μικρή μνήμη, να είναι αποδοτικό σε απλές εφαρμογές και να είναι ανεκτό σε αλλαγές της ράδιο-συχνότητας και στις συνθήκες του δικτύου. Ένα παράδειγμα ενός καλού πρωτοκόλλου είναι το **B-MAC**. Αυτό ρυθμίζεται πολύ εύκολα στις ανάγκες μας και μπορεί να εκτελεστεί μια εφαρμογή με μικρό κομμάτι κώδικα και με μικρή μνήμη. Έχει μια διασύνδεση που επιτρέπει την επιλογή διαφόρων λειτουργιών για κάθε συγκεκριμένη εφαρμογή.

Ειδικότερα,

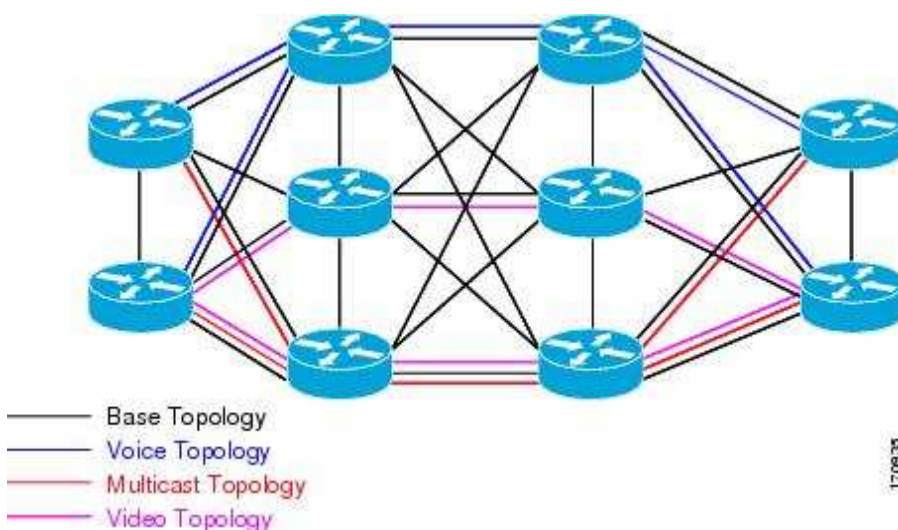
Στόχοι του B-MAC

- 1) Χαμηλής κατανάλωσης λειτουργία.
- 2) Αποτελεσματική αποφυγή συγκρούσεων.
- 3) Απλή εκτέλεση προγράμματος(μικρός κώδικάς).
- 4) Αποδοτικότητα σε χαμηλό και υψηλό ρυθμό δεδομένων.
- 5) Αναπροσαρμογή από τα υψηλότερα επίπεδα.
- 6) Ανοχή σε αλλαγές στο δίκτυο.
- 7) Κλιμάκωση στον αριθμό των κόμβων.

Αποτελέσματα των B-MAC

- 1) Λειτουργεί καλύτερα από τα άλλα πρωτόκολλα στις περισσότερες περιπτώσεις.
- 2) Το μοντέλο του συστήματος μπορεί να γίνει πιο σύνθετο για εφαρμογές και δρομολόγηση πρωτοκόλλων.
- 3) Πρωτόκολλα χρησιμοποιούνται ευρέως γιατί έχει καλά αποτελέσματα ακόμα και με προκαθορισμένες παραμέτρους.

1.2.3 ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ



(Σχήμα 1.5)

(παράδειγμα διαφόρων τοπολογιών όπου συνδυασμένες μεταξύ τους μπορούν να επιτύχουν τη δρομολόγηση πολλών ειδών πληροφορίας όπως φωνής, εικόνας κτλ)

Η δρομολόγηση (παράδειγμα αυτής παραπάνω στο Σχήμα 1.5) είναι μια κρίσιμη υπηρεσία που απαιτείται από ένα ΑΔΑ. Οι τεχνικές του INTERNET δεν έχουν το επιθυμητό αποτέλεσμα στα ΑΔΑ. Η δρομολόγηση του INTERNET απαιτεί υψηλά αξιόπιστες συνδέσεις με αποτέλεσμα τα λάθη σε πακέτα να είναι σπάνια, αυτό δεν ισχύει στα ΑΔΑ.

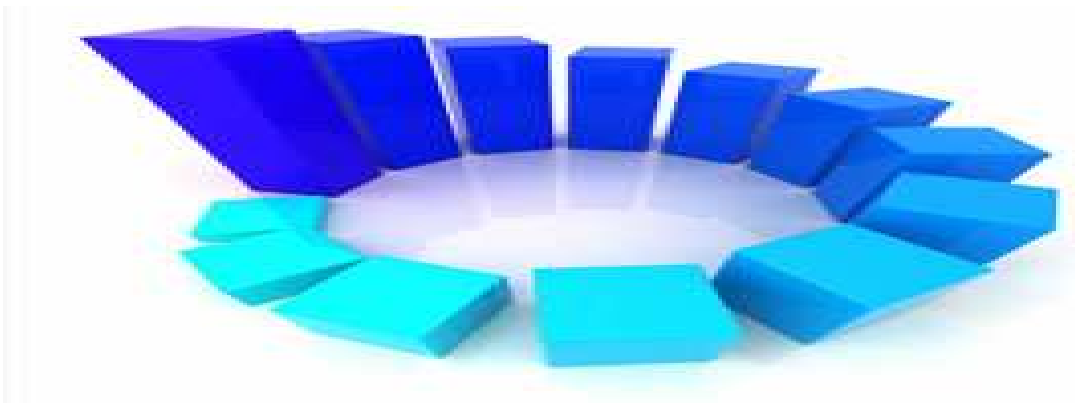
Για παράδειγμα στα ΑΔΑ, τα οποία είναι τύπου AD-HOC, η δρομολόγηση τυπικά ξεκινά με την ανακάλυψη κάποιου «γείτονα». Ο κόμβος στέλνει πακέτα και φτιάχνει τοπικές «γειτονικές» συνδέσεις. Αυτές οι συνδέσεις περιλαμβάνουν την ελάχιστη πληροφορία από κάθε ταυτότητα του γείτονα αλλά και την τοποθεσία του. Αυτό σημαίνει ότι οι κόμβοι θα πρέπει να ξέρουν **εκ των προτέρων** τη τοποθεσία του γειτονικού κόμβου. Άλλες πληροφορίες σημαντικές είναι **η ενέργεια που μένει, η καθυστέρηση που εισάγει ο κάθε κόμβος** αλλά και **η εκτίμηση της ποιότητας του σήματος**.

Στους περισσότερους αλγόριθμους δρομολόγησης, τα μηνύματα κατευθύνονται από μια πηγή και η διεύθυνση του προορισμού βασίζεται σε γεωγραφικές συντεταγμένες και όχι στην ταυτότητα του κάθε κόμβου. Ένας τυπικός αλγόριθμος που κάνει αυτή τη δουλειά είναι ο **Geographic Forwarding (GF)**. Σε αυτόν, ένας κόμβος ο οποίος γνωρίζει την τοποθεσία του, και ένα μήνυμα το οποίο δρομολογείται περιέχουν την διεύθυνση προορισμού. Αυτός ο κόμβος τότε μπορεί να υπολογίσει ποιος γειτονικός κόμβος κάνει την περισσότερη πρόοδο στη δρομολόγηση με το να χρησιμοποιεί την απόσταση που πρέπει. Μετά αυτός προωθεί το μήνυμα στην επόμενη δρομολόγηση. Σε παραλλαγές του GF, ο κόμβος μπορεί να υπολογίσει και τις καθυστερήσεις, την αξιοπιστία της σύνδεσης και την ενέργεια που απομένει.

Ένα άλλο παράδειγμα δρομολόγησης των ΑΔΑ είναι η απευθείας διάχυση. Αυτή η λύση βελτιώνει τη δρομολόγηση και τη συγκέντρωση των δεδομένων.

Ένας κόμβος με τα απαιτούμενα δεδομένα ανταποκρίνεται με ένα ζεύγος απόδοσης-τιμής. Μαζί με το μονοπάτι από τη πηγή στον προορισμό, τα δεδομένα μπορούν να συγκεντρωθούν και να μειώσουν το κόστος της επικοινωνίας. Τα δεδομένα μπορούν να ταξιδέψουν πάνω από πολλαπλά μονοπάτια αυξάνοντας έτσι την ευρωστία της δρομολόγησης.

1.2.4 ΚΛΙΜΑΚΩΣΗ



Στις τηλεπικοινωνίες η κλιμάκωση(**scalability**) είναι ένα επιθυμητό προσόν σε ένα δίκτυο όπου δείχνει την ικανότητα του συστήματος να χειρίζεται μεγάλο φόρτο εργασίας με τον καταλληλότερο τρόπο ή ακόμα να μπορεί σε σύστημα να αναπτυχθεί ακόμη περισσότερο. Για παράδειγμα μπορεί να αναφέρεται στην ικανότητα του συστήματος να αυξάνει τον συνολικό όγκο εργασίας μέσα στον αυξανόμενο φόρτο όταν και άλλες πηγές προστεθούν. Συνήθως τύπου hardware.

Η κλιμάκωση σαν μέγεθος είναι δύσκολο να οριστεί και σε όλες τις περιπτώσεις είναι αναγκαίο να ορίσουμε τις συγκεκριμένες απαιτήσεις που εμείς θεωρούμε σημαντικές. **Με λίγα λόγια ένα σύστημα του οποίου η απόδοση δεν επηρεάζεται αφού του προσθέσουμε hardware τότε αυτό το σύστημα θεωρείται κλιμακωτό.** Ένας αλγόριθμος, ένα πρόγραμμα και ένα πρωτόκολλο δικτύου ή ένα άλλο σύστημα λέγεται ότι κλιμακώνει εάν ταιριάζει αποδοτικά και πρακτικά όταν ανταπεξέρχεται σε καταστάσεις όπως μεγάλη είσοδος δεδομένων. Αν το σύστημα αποτύχει όταν η ποσότητα αυτή αυξηθεί τότε το σύστημα δε θεωρείται κλιμακωτό.

Υπάρχουν διάφορα είδη κλιμάκωσης:

1)Κλιμάκωση φορτίου

Είναι η ικανότητα σε ένα κατανεμημένο σύστημα να επεκτείνεται εύκολα ώστε να χειρίζεται εύκολα μεγαλύτερα ή μικρότερα φορτία. Με απλά λόγια η ευκολία ενός συστήματος ή ενός στοιχείου αυτού, να μπορεί να τροποποιηθεί να προστεθεί να μετακινηθεί ή να αφαιρεθεί, δηλαδή να προσαρμόζεται στο εκάστοτε φορτίο.

2) Γεωγραφική κλιμάκωση

Είναι η ικανότητα να διατηρεί το σύστημα την απόδοσή του, τη χρησιμότητά του εάν αυτό επεκταθεί σε ένα διαφορετικό γεωγραφικό σημείο με άλλες απαιτήσεις.

3) Λειτουργική κλιμάκωση

Είναι η ικανότητα να βελτιώνεται το σύστημα προσθέτοντας του καινούργιες λειτουργίες με ελάχιστη προσπάθεια.

Μαζί με τα βασικά θέματα σχεδιασμού των Α.Δ.Α που μόλις παρουσιάστηκαν, υπάρχουν και άλλα πολλά σημαντικά θέματα που περιλαμβάνονται:

1.2.5 ΚΡΙΣΙΜΟΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ Α.Δ.Α

- 1)Αξιοπιστία
- 2)Ολοκλήρωση με θέματα wake/sleep
- 3)Πραγματικός χρόνος
- 4)Φορητότητα
- 5)Ασφάλεια
- 6)Συμφόρηση
- 7)Αποφυγή(void)
- 8)Unicast, multicast and anycast semantics
- 9)Εντοπισμός των κόμβων
- 10)Συγχρονισμός ρολογιού

1)Αξιοπιστία: Από τη στιγμή που τα μηνύματα ταξιδεύουν με πολλές αναπηδήσεις(hops) είναι σημαντικό να έχουν μια υψηλή αξιοπιστία σε κάθε σύνδεση, αλλιώς η πιθανότητα ενός μηνύματος να μεταφέρεται σε ολόκληρο το δίκτυο θα είναι πολύ χαμηλή. Σημαντική δουλειά έχει γίνει για να αναγνωριστούν αξιόπιστες συνδέσεις χρησιμοποιώντας μετρικά όπως η λαμβανόμενη δύναμη του σήματος(**POWER SIGNAL**), η ποιότητα του σήματος βασισμένη στα λάθη(**BER**) και η αναλογία το πακέτων(**PACKAGE RATIO**) που παραδίδονται. Σημαντικά εμπειρικά στοιχεία δείχνουν ότι η αναλογία των πακέτων που παραδίδονται είναι η καλύτερη μέτρηση, αλλά μπορεί να είναι πολύ ακριβή για να την συλλέξουμε.. Εμπειρικά δεδομένα επίσης δείχνουν πως πολλές συνδέσεις σε ένα ΑΔΑ είναι ασύμμετρες, εννοώντας πως ενώ ο κόμβος Α μπορεί επιτυχώς να μεταδώσει ένα μήνυμα στο κόμβο Β, η αντίθετη σύνδεση από τον Β στον Α μπορεί να μην είναι αξιόπιστη. Οι ασύμμετρες συνδέσεις είναι ένας λόγος που τα WSN πρωτόκολλα δρομολόγησης όπως το DSR και το AODV δε λειτουργούν σωστά σε ένα WSN διότι αυτά τα πρωτόκολλα στέλνουν ένα μήνυμα ανακάλυψης από τη πηγή στο προορισμό και

μετά χρησιμοποιούν το αντίστροφο μονοπάτι για επιβεβαίωση. Αυτό το αντίστροφο μονοπάτι δεν είναι τόσο αξιόπιστο λόγω της ασυμμετρίας των WSN.

2)Ολοκλήρωση με θέματα wake/sleep: Για να εξοικονομήσουμε ενέργεια πολλά WSN τοποθετούν κόμβους σε κατάσταση «ύπνου». Προφανώς, μια αντίθετη κατάσταση δε θα πρέπει να επιλέγει μια κατάσταση «ύπνου» στην επόμενη μεταπήδηση.

3)Πραγματικός χρόνος: Για κάποιες εφαρμογές, τα μηνύματα πρέπει να φθάνουν στο προορισμό μέχρι το τέλος μιας προθεσμίας. Εξαιτίας του υψηλού βαθμού αβεβαιότητας στα WSN είναι δύσκολο να αναπτυχθούν πρωτόκολλα δρομολόγησης με απόλυτη εγγύηση. Πρωτόκολλα όπως το SPEED και το RAP χρησιμοποιούν μια υποθετική ταχύτητα για να επισπεύδονται οι μεταδόσεις των πακέτων. Η ταχύτητα είναι ένα καλό μέτρο που συνδυάζει την προθεσμία και την απόσταση που το μήνυμα πρέπει να διανύσει.

4)Φορητότητα: Η δρομολόγηση περιπλέκεται αν η πηγή ή ο προορισμός του μηνύματος μετακινούνται. Λύσεις περιλαμβάνουν συνεχή ανανέωση των τοπικών γειτονικών κόμβων ή αναγνώριση βοηθητικών κόμβων που είναι υπεύθυνη για να παρακολουθούν το πού βρίσκονται οι κόμβοι. Οι βοηθητικοί κόμβοι για έναν δεδομένο κόμβο μπορούν να αλλάζουν αν ο κόμβος απομακρύνεται όλο και περισσότερο από την αρχική του θέση.

5)Ασφάλεια: Αν υπάρχουν «αντιπαλότητες», μπορεί κάποιος να εισάγει μια μεγάλη γκάμα από επιθέσεις στον αλγόριθμο δρομολόγησης περιλαμβάνοντας επιλεκτικές επιθέσεις, μαύρες τρύπες, επαναλήψεις και επιθέσεις στις υπηρεσίες. Δυστυχώς, σχεδόν όλοι οι WSN αλγόριθμοι δρομολόγησης έχουν αγνοήσει την ασφάλεια και είναι ευάλωτα σε αυτές τις επιθέσεις. Πρωτόκολλα όπως το SPINS έχουν ξεκινήσει να δρομολογούν θέματα δρομολόγησης.

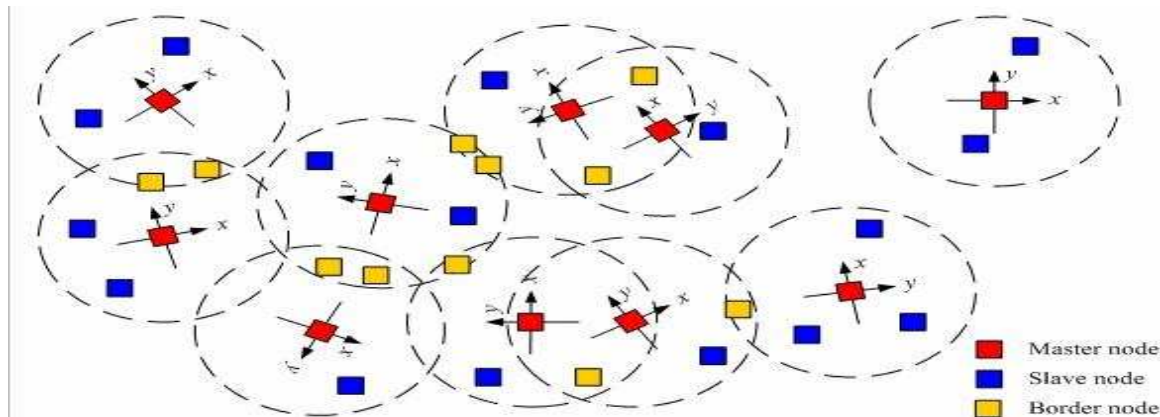
6)Συμφόρηση: Σήμερα, πολλά WSN έχουν περιοδική ή σπάνια κίνηση. Η συμφόρηση δε θεωρείται μεγάλο πρόβλημα στα WSN. Ωστόσο, η συμφόρηση είναι ένα πρόβλημα για πιο απαιτητικά WSN και προβλέπεται να είναι ένα πιο σημαντικό θέμα με μεγαλύτερα συστήματα που μπορεί να επεξεργάζονται ήχο, ή εικόνα και να έχουν πολλαπλού σταθμούς βάσης. Ακόμα και τα συστήματα με ένα μόνο σταθμό

βάσης, η συμφόρηση κοντά σε αυτόν είναι ένα σοβαρό πρόβλημα από τη στιγμή που η «κίνηση» βρίσκεται κοντά στο σταθμό βάσης. Λύσεις χρησιμοποιούν του ρυθμού μετάδοσης των κόμβων που αποτελούν την πηγή, μη δίνοντας έμφαση σε μηνύματα λιγότερης σημασίας και χρησιμοποιώντας προγράμματα για να αποφεύγουν όσο πιο πολλές συγκρούσεις για να μειωθεί το πρόβλημα της συμφόρησης.

7)Αποφυγή(void): Από τη στιγμή που οι κόμβοι των WSN έχουν περιορισμένη εμβέλεια μετάδοσης, είναι πιθανό για κάποιους κόμβους στο μονοπάτι δρομολόγησης να μην βοηθούν στη προώθηση της κατεύθυνσης που πρέπει να ακολουθήσει το μήνυμα. Πρωτόκολλα όπως το GPSR λύνουν το πρόβλημα με το να επιλέγουν κάποιους άλλους κόμβους που δε χρησιμοποιούνται για δρομολόγηση στη σωστή κατεύθυνση ώστε να γίνει μια προσπάθεια να βρεθεί ένα μονοπάτι γύρω από αυτούς.

8)Unicast, multicast and anycast semantics: Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, στις περισσότερες περιπτώσεις ενός WSN σχετικά με τη δρομολόγηση των μηνυμάτων υφίσταται ένας γεωγραφικός προορισμός. Τι συμβαίνει όταν αυτό φτάνει στο προορισμό του? Υπάρχουν αρκετές πιθανότητες. Πρώτον, το μήνυμα μπορεί να περιέχει μια ταυτότητα με ένα συγκεκριμένο unicast κόμβο σε αυτή τη περιοχή σα στόχο, ή σημασιολογικά μπορεί να είναι ένας μόνο κόμβος που είναι πλησιέστερος στη γεωγραφική περιοχή που θα είναι τώρα αυτός ο κόμβος unicast. Δεύτερον, οι σημασιολογία θα μπορούσε να είναι ότι όλοι οι κόμβοι μέσα στη περιοχή γύρω από τη διεύθυνση του προορισμού θα πρέπει να λαμβάνουν το μήνυμα. Αυτοί είναι και η περιοχή multicast.Τρίτον, μπορεί να είναι αναγκαίο για κανέναν κόμβο, που αποκαλείται anycast, μέσα στη περιοχή προορισμού για να λάβει το μήνυμα. Το πρωτόκολλα SPEED υποστηρίζει αυτούς τους τρεις τύπους. Υπάρχει επίσης συχνά η ανάγκη να «πλημμυρίσει» όλο το δίκτυο με πληροφορία(multicast). Πολλοί αλγόριθμοι υποστηρίζουν αυτή την αποδοτική τεχνική.

9)ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΚΟΜΒΩΝ



(Σχήμα 1.6)

(παραπάνω βλέπουμε το μηχανισμό του εντοπισμού των κόμβων με χρήση συστήματος GPS, διακρίνουμε άξονες x, y που μας δείχνουν τη θέση τους στο χώρο)

Ο εντοπισμός των κόμβων (**ο μηχανισμός φαίνεται στο παραπάνω σχήμα (1.6)**) είναι ένα πρόβλημα του προσδιορισμού της γεωγραφικής τοποθεσίας του κάθε κόμβου μέσα στο σύστημα. Ο εντοπισμός είναι ένα από τα πιο δύσκολα προβλήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν σε ένα WSN. Ο εντοπισμός είναι μια λειτουργία από πολλές παραμέτρους και απαιτήσεις και τον κάνουν πολύ περίπλοκη διαδικασία. Για παράδειγμα, θέματα που αφορούν και περιέχουν: το επιπλέον κόστος του hardware εντοπισμού, τα beacons(κόμβοι που ξέρουν τη θέση τους), πόσοι είναι και ποιες είναι οι εμβέλεις τους, ποιος είναι ο βαθμός της ακρίβειας της τοποθεσίας τους που απαιτείται, αν το σύστημα είναι indoor/outdoor, αν δεν υπάρχει κατευθείαν οπτική επαφή μεταξύ των κόμβων, ποιος είναι ο προϋπολογισμός ισχύος(**power budget**), πόσος χρόνος απαιτείται για τον εντοπισμό, αν τα ρολόγια είναι συγχρονισμένα.

Για κάποιους συνδυασμούς απαιτήσεων και θεμάτων το πρόβλημα λύνεται εύκολα. Αν το κόστος δεν είναι παράγοντας σημαντικός και η ακρίβεια μερικών μέτρων είναι δεκτή, τότε για εξωτερικά συστήματα(outdoors) το να εξοπλίσεις κάθε κόμβο με

σύστημα GPS είναι μια απλή απάντηση. Αν το σύστημα αναπτύσσεται χειροκίνητα με ένα κόμβο τη φορά, τότε ένας απλός κόμβος με GPS μπορεί να εντοπίζει κάθε άλλο κόμβο μέσω μιας λύσης που ονομάζεται WALKING GPS.

Περισσότερες, από τις λύσεις για εντοπισμό σε ένα WSN είναι είτε βασισμένο στην εμβέλεια(**range-based**) ή στην ελεύθερη εμβέλεια(**range-free**). Η πρώτη χρησιμοποιεί διάφορες τεχνικές για να καθορίσει πρώτον τις αποστάσεις μεταξύ των κόμβων και έπειτα να υπολογίσει την τοποθεσία χρησιμοποιώντας κάποιες γεωμετρικές αρχές. Για το προσδιορισμό των αποστάσεων, επιπλέον hardware συνήθως απαιτείται παραδείγματος χάρη, hardware για τον εντοπισμό της χρονικής διαφοράς της άφιξης του ήχου και των ράδιο-κυμάτων. Αυτή η διαφορά μπορεί να μετατραπεί σε μέτρηση της απόστασης. Στη δεύτερη οι αποστάσεις δε προσδιορίζονται ευθέως, αλλά μετρείται ο αριθμός των μεταπηδήσεων(**hops**) που πραγματοποιούνται. Αν και οι μετρήσεις των μεταπηδήσεων είναι καθορισμένες, οι αποστάσεις μεταξύ των κόμβων είναι εκτιμημένες χρησιμοποιώντας μια μέση απόσταση ανά μεταπήδηση, και τότε οι γεωμετρικές αρχές εφαρμόζονται για τον υπολογισμό της τοποθεσίας. Αυτή η τεχνική δεν είναι τόσο αποδοτική όσο η πρώτη που αναφέραμε και συχνά απαιτεί περισσότερα μηνύματα. Ωστόσο, δεν απαιτούν επιπλέον hardware για κάθε κόμβο.

Αρκετές πρώιμες λύσεις για τον εντοπισμό περιέχουν **APIT** και **CENTROID**. Κάθε ένα από αυτά τα πρωτόκολλα λύνει το πρόβλημα του εντοπισμού για ένα συγκεκριμένο σύνολο από υποθέσεις. Δυο πρόσφατες και ενδιαφέρουσες λύσεις είναι το **SPOTLIGHT** και το **RADIO INTERFEROMETRIC GEOLOCATION**. Το πρώτο μετακινεί τους περισσότερους κώδικες εντοπισμού και τους οδηγεί σε μια συσκευή που τα συγκεντρώνει. Αυτό απαιτεί απευθείας οπτική επαφή και συγχρονισμό του ρολογιού.

Το δεύτερο πρωτόκολλο χρησιμοποιεί μια τεχνική επεξεργασίας που στηρίζεται στην εκπομπή ράδιο-κυμάτων των κόμβων ταυτοχρόνως με κάποιες αλλαγές τις συχνότητας. Αυτή η λύση είναι θέμα για προβλήματα πολλαπλών δρόμων(**multi-path**) σε κάποιες εφαρμογές και απαιτεί πολλά μηνύματα.

Και οι δυο τεχνικές προσφέρουν υψηλή ακρίβεια σε εμβέλειες της τάξης των cm.

10)ΣΥΓΧΡΟΝΙΣΜΟΣ ΡΟΛΟΓΙΟΥ

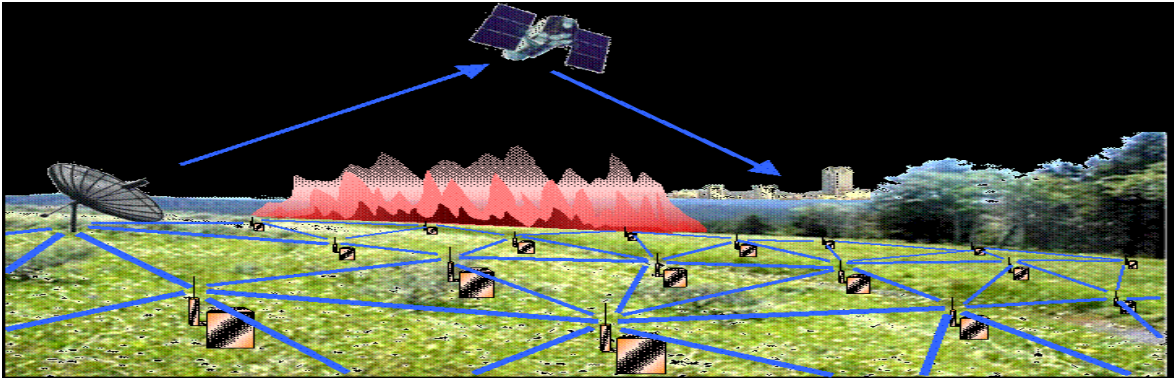
Το ρολόι κάθε κόμβου σε ένα WSN θα πρέπει να διαβάζει τον ίδιο χρόνο μέσα στο «έψιλον» και να παραμένει σε αυτόν τον τρόπο λειτουργίας. Από τη στιγμή που τα ρολόγια παρασύρονται πάνω από αυτό το χρόνο, θα πρέπει να συγχρονίζονται περιοδικά και σε κάποια παραδείγματα όταν απαιτείται υψηλή ακρίβεια είναι σημαντικό για τους κόμβους να υπολογίζουν το αν θα «παρασυρθεί» το ρολόι μεταξύ των περιόδων συγχρονισμού.

Ο συγχρονισμός του ρολογιού είναι σημαντικός για πολλούς λόγους. Όταν ένα γεγονός λαμβάνει χώρα σε ένα WSN είναι συχνά απαραίτητο να γνωρίζουμε που και πότε αυτό συμβαίνει. Τα ρολόγια είναι επίσης χρησιμοποιούμενα σε πολλές εφαρμογές και σε πολλά συστήματα. Για παράδειγμα, sleep/awake λειτουργίες, κάποιοι αλγόριθμοι εντοπισμού, και συγχώνευση κόμβων είναι κάποιες από τις υπηρεσίες που συχνά εξαρτώνται από ρολόγια που είναι συγχρονισμένα. Εφαρμογές όπως παρακολούθηση και υπολογισμός ταχύτητας εξαρτώνται από συγχρονισμένα ρολόγια.

Το **NTP** πρωτόκολλο χρησιμοποιείται για το συγχρονισμό ρολογιών. Το να τοποθετήσουμε σε κάθε κόμβο ένα σύστημα GPS είναι πολύ ακριβή διαδικασία. Χαρακτηριστικά πρωτόκολλα για το συγχρονισμό είναι: τα **RBS**, **TPSN** και **FTSP**.

1.3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ WSN

Οι εφαρμογές των ΑΔΑ ποικίλλουν, περιλαμβάνοντας κάποιο είδος **παρακολούθησης, εντοπισμού και ελέγχου**. Συγκεκριμένες εφαρμογές που περιλαμβάνουν παρακολούθηση συμπεριφοράς και συνηθειών, εντοπισμός αντικειμένων, έλεγχος πυρηνικού αντιδραστήρα, εντοπισμός φωτιάς, εντοπισμός ολισθηρών εδαφών και έλεγχος κυκλοφορίας. Σε μια κλασσική εφαρμογή ένα ΑΔΑ είναι διασκορπισμένο σε μια ευρύτερη περιοχή όπου σκοπός αυτών είναι η συλλογή δεδομένων διαμέσου των κόμβων-αισθητήρων. **(παράδειγμα τέτοιας εφαρμογής φαίνεται παρακάτω στο σχήμα (1.7))**



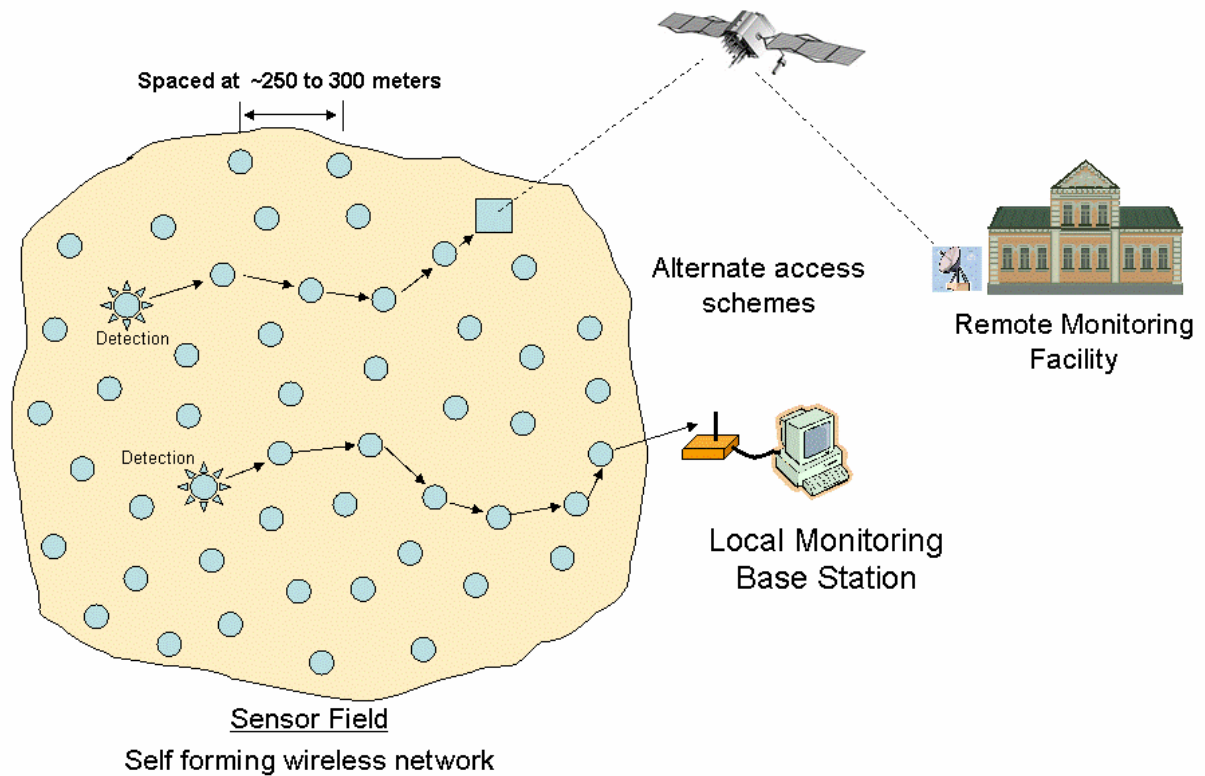
(Σχήμα 1.7)

(στο παραπάνω σχήμα μπορούμε να παρατηρήσουμε μια εφαρμογή κάλυψης ενός πεδίου όπου σε περίπτωση πυρκαγιάς τα δεδομένα πιθανόν της θερμοκρασίας που αναπτύσσεται λόγω αυτής συλλέγονται από τους διασκορπισμένους αισθητήρες και μέσω δορυφορικής ζεύξης μεταφέρονται στον χειριστή)

1.3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ WSN

Οι εφαρμογές των ΑΔΑ ποικίλλουν, περιλαμβάνοντας κάποιο είδος **παρακολούθησης, εντοπισμού και ελέγχου**. Συγκεκριμένες εφαρμογές που περιλαμβάνουν παρακολούθηση συμπεριφοράς και συνηθειών, εντοπισμός αντικειμένων, έλεγχος πυρηνικού αντιδραστήρα, εντοπισμός φωτιάς, εντοπισμός ολισθηρών εδαφών και έλεγχος κυκλοφορίας. Σε μια κλασσική εφαρμογή ένα ΑΔΑ είναι διασκορπισμένο σε μια ευρύτερη περιοχή όπου σκοπός αυτών είναι η συλλογή δεδομένων διαμέσου των κόμβων-αισθητήρων.**(παράδειγμα τέτοιας εφαρμογής φαίνεται παραπάνω στο σχήμα (1.7))**

1.3.1 ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ



(Σχήμα 1.8)

Η συγκεκριμένη εφαρμογή(που διαφαίνεται παραπάνω στο σχήμα 1.8) είναι συνηθισμένη στα ΑΔΑ. Σε παρακολούθηση μιας περιοχής το ΑΔΑ εφαρμόζεται σε μια περιοχή όπου κάποια φαινόμενα πρόκειται να παρατηρηθούν. Για παράδειγμα μια μεγάλη ποσότητα αισθητήρων μπορεί να διατεθεί επί ενός πεδίου μάχης ώστε να εντοπιστεί μια εχθρική παρείσδυση αποφεύγοντας τη χρησιμοποίηση ναρκών. Όταν οι αισθητήρες εντοπίζουν το γεγονός που παρατηρούν(ζέστη, πίεση, ήχος, φως, ηλεκτρομαγνητικά πεδία, δόνηση κτλ) το εκάστοτε γεγονός πρέπει να αναφερθεί στο σταθμό βάσης, ο οποίος πρέπει να επιτελέσει τις αναγκαίες κινήσεις(όπως να στείλει το μήνυμα στο internet ή σε ένα δορυφόρο).Ανάλογα τη

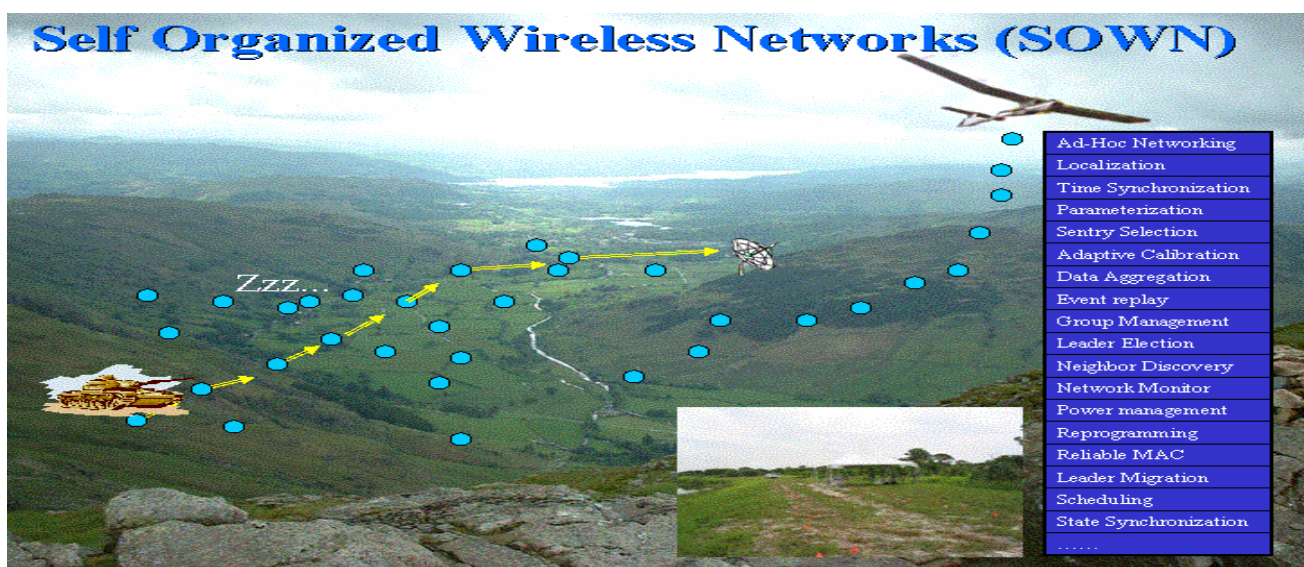
συγκεκριμένη εφαρμογή γίνονται διάφορες λειτουργίες που απαιτούν διαφορετική διάδοση της πληροφορίας εξαρτώμενοι από παράγοντες που χρειάζονται ώστε να

ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ(ΑΔΑ)

επιτύχουμε την εφαρμογή που ζητάμε όπως την απόκριση του συστήματος σε πραγματικό χρόνο(**real time**) ή την ανάγκη του συστήματος για ασφάλεια.

1.3.2 ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΚΑΙ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΣΕ ΣΤΡΑΤΙΩΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Το **VIGILNET**(παρακάτω **σχήμα 1.9**) σύστημα είναι ένα μακράς ζωής πραγματικού χρόνου ΑΔΑ για στρατιωτικές εφαρμογές. Το γενικό αντικείμενο του είναι να επαγρυπνά και να δίνει στρατιωτικές εντολές ώστε να τους ενημερώνει για κάποια συμβάντα. Αυτά τα συμβάντα που αφορούν παρουσία ανθρώπων, ανθρώπων με όπλα, και μικρά ή μεγάλα οχήματα. Επιτυχής ανίχνευση, παρακολούθηση είναι οι απαιτήσεις της εφαρμογής της τρέχουσας θέσης ενός αντικειμένου με αποδεκτή σιγουριά. Όταν η πληροφορία ληφθεί, αναφέρεται σε ένα μετακινούμενο σταθμό βάσης μέσα σε μια αποδεκτή καθυστέρηση. Αυτό το σύστημα χρησιμοποιεί πάνω από 200 κόμβους για να παρέχει καλή επιτήρηση με ένα κεντρικό σύστημα διαχείρισης ενέργειας., με αποτέλεσμα να πετυχαίνει διάρκεια ζωής 3 με 6 μήνες. Αυτό το σύστημα επίσης ενεργοποιεί και εξωτερικούς αισθητήρες όπως υπέρυθρες κάμερες, μόνο όταν κρίνεται απαραίτητο και έτσι αυξάνεται περαιτέρω η διάρκεια ζωής.



(Σχήμα 1.9)

(παραπάνω βλέπουμε την αρχή λειτουργίας του VIGILNET με τους κόμβους διασκορπισμένους σε μια ευρύτερη περιοχή και μπορούμε να παρατηρήσουμε τον εντοπισμό της κίνησης π. χ ενός

Εφαρμογές των WSN

τάγκ ή ενός αεροπλάνου και μέσω δορυφόρου να συγκεντρωθούν οι πληροφορίες, δεξιά στην οθόνη βλέπουμε τις επιλογές όπως το πιο αξιόπιστο MAC πρωτόκολλο και το συγχρονισμό)

1.3.3 ASSISTED LIVING FACILITIES

ALARMNET(παρακάτω σχήμα 1.10) είναι ένα WSN για ιατρικές εφαρμογές, για μεγάλης κλίμακας εγκαταστάσεις, ολοκληρώνεται με ετερογενής συσκευές, κάποιες από αυτές μπορούν να τοποθετηθούν πάνω στον ασθενή και κάποιες άλλες μέσα στο χώρο που περιβάλλει τον ασθενή. Αυτού του είδους οι συσκευές μπορούν να επιτύχουν τη παρακολούθηση της κατάστασης της υγείας του ασθενή. Συλλέγονται στοιχεία, αυτά επεξεργάζονται, αποθηκεύονται και με τη βοήθεια άλλων αισθητήρων(πίεσης, θερμοκρασίας, μόλυνσης του χώρου ακόμη και του ορόφου που βρίσκεται ο ασθενής) και έτσι υπάρχει μια πλήρης εικόνα για τη κατάσταση του ασθενή. Η κλασική ιατρική φροντίδα μπορεί να παρέχεται μέσω δικτύων που είναι συνδεδεμένα στο σύστημα μέσω ενός γειτονικού gateway ή κατευθείαν στις κατακευματισμένες βάσεις δεδομένων. Κάποια στοιχεία του δικτύου είναι κινητά όπως τα δίκτυα του σώματος με χρήση κόμβων τύπου infrastructure δικτύων, ενώ άλλοι είναι σταθεροί. Το σύστημα είναι σχεδιασμένο να υφίσταται ώστε να περιέχει ένα μεγάλο αριθμό μονάδων.

(Σχήμα 1.10)

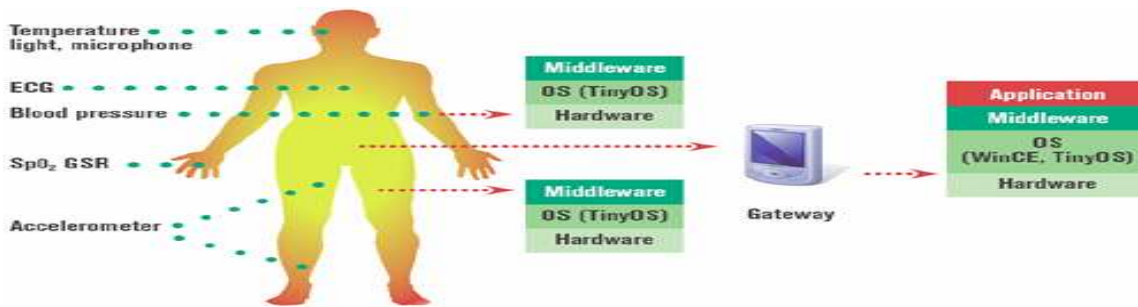


ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ(ΑΔΑ)

(παραπάνω βλέπουμε μια οικιακή εγκατάσταση όπου διάφοροι αισθητήρες όπως για πυρκαγιά είτε για κίνδυνο κλοπής βρίσκονται σε διάφορα μέρη του σπιτιού και όλα αυτά τα δεδομένα μεταφέρονται ασύρματα στο χρήστη)

1.3.4 ΔΙΚΤΥΑ ΣΩΜΑΤΟΣ(BODY NETWORKS)

Το δίκτυο σώματος(σχήμα 1.11 παρακάτω) συντίθεται από πολύ μικρές φορητές συσκευές εξοπλισμένες με μια ποικιλία από αισθητήρες(όπως ρυθμού παλμών καρδιάς, θερμοκρασία, επιταχυνσιό-μέτρο) και εκτελεί βίο-φυσική παρακολούθηση, αναγνώριση ασθενή, εντοπισμό περιοχής και άλλες επιθυμητές λειτουργίες. Η κατανάλωση ενέργειας είναι επίσης είναι ρυθμιζόμενη, έτσι η μπαταρία δεν είναι αναγκαίο να την αντικαθιστούμε. Μπορούν κάλλιστα να φορτίζονται μέσω της κίνησης. Οι «κινητές» γνωστοποιούν στο χρήστη με σημαντικά μηνύματα για κάποια εξωτερική «οντότητα». Για παράδειγμα μπορεί να θυμίσει σε έναν ασθενή Alzheimer να ελέγξει το φούρνο γιατί αισθητήρες εντόπισαν μια ασυνήθιστα υψηλή θερμοκρασία. Ή ένας τόνος μπορεί να δείξει ότι είναι η ώρα για να πάρει ο ασθενής το φάρμακό του. Ανάλογα με το μέγεθος και τις απαιτήσεις ενέργειας, οι κόμβοι σε αυτό το δίκτυο έχουν μικρή ικανότητα επεξεργασίας και μικρές δυνατότητες αποθήκευσης.



(Σχήμα 1.11)

Εφαρμογές των WSN

(παραπάνω βλέπουμε τη διαδοχή της λειτουργίας του δικτύου σώματος, όπου ποσότητες όπως θερμοκρασία, πίεση αίματος αφού μετρούνται μεταφέρονται μέσω του gateway στο χρήστη)

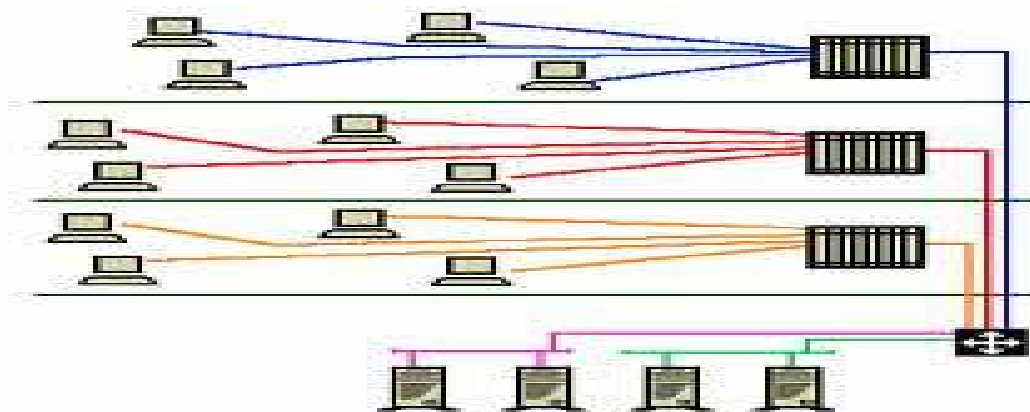
1.3.5 BACKBONE NETWORKS

Ένα **BACKBONE** δίκτυο είναι ένα μέρος ενός δικτύου υπολογιστών που συνδέει διάφορα κομμάτια ενός δικτύου, παρέχοντας ένα μονοπάτι για ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ διαφορετικών τοπικών δικτύων ή υπό-δικτύων. Ένα τέτοιο δίκτυο μπορεί να συνενώσει διαφορετικά δίκτυα μέσα στο ίδιο δίκτυο, σε διαφορετικά δίκτυα σε ένα πανεπιστημιακό περιβάλλον ή σε μεγάλες εκτάσεις. Κανονικά, η χωρητικότητα του είναι μεγαλύτερη από αυτή των δικτύων που είναι συνδεδεμένα σε αυτό. π. χ ένας μεγάλος όμιλος επιχειρήσεων που έχει πολλές τοποθεσίες μπορεί να χρησιμοποιεί ένα BACKBONE δίκτυο που συνενώνει διαφορετικές τοποθεσίες, εάν ένας εξυπηρετητής έχει ανάγκη πρόσβασης σε διαφορετικά τμήματα της εταιρίας που βρίσκονται σε διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές. Τα κομμάτια των συνδέσεων του δικτύου όπως **ETHERNET** που φέρνουν αυτά τα τμήματα κοντά συχνά αναφέρονται ως δίκτυα **BACKBONE**.

Ένα τέτοιο δίκτυο περιλαμβάνει αισθητήρες κλασικά συστήματα όπως PDA, PC που περιστοιχίζουν το WSN. Επίσης συνδέει κόμβους με μια υψηλής ταχύτητας αναμετάδοση για αποδοτική δρομολόγηση. Αυτό το δίκτυο μπορεί να επικοινωνεί ασύρματα ή μπορεί μέσω μιας ενσύρματης δομής infrastructure. Μερικοί κόμβοι

κατέχουν αξιοσημείωτη χωρητικότητα και ικανότητα επεξεργασίας. Ακόμη όμως, εξαρτώνται και από τη τοπολογία του κτηρίου, άρα και το κόστος είναι υψηλό. **(παράδειγμα αυτής το σχήμα 1.12)**

ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ(ΑΔΑ)



(Σχήμα 1.12)

(Παραπάνω μπορούμε να διακρίνουμε τη δομή ενός δικτύου BACKBONE όπου γίνεται η διασύνδεση των διαφόρων δικτύων)

1.3.6 ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΝΕΡΟΥ

Τέτοιων ειδών εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούν ΑΔΑ δε χρησιμοποιούν καλωδίωση για τις ανάγκες ενέργειας και εκπομπής δεδομένων και μπορεί να γίνει η παρακολούθηση μέσω συσκευών και αισθητήρων χρησιμοποιώντας ηλιακά πάνελ **(σχήμα 1.13, παρακάτω)**.



Σχήμα 1.13

(παραπάνω βλέπουμε μια εφαρμογή WSN στον τομέα της γεωργίας, εδώ μπορούμε να τοποθετήσουμε κατάλληλους αισθητήρες πίεσης μέσα στο έδαφος και παρακολουθώντας τα

Εφαρμογές των WSN

επίπεδα της πίεσης του νερού μέσα στο χώμα μπορούμε να εξαγάγουμε συμπεράσματα σχετικά με τα επίπεδα αποθέματος του και αντίστοιχα τη ποσότητα που χρησιμοποιήθηκε)

Χρησιμοποιώντας ΑΔΑ στον αγροτικό τομέα μπορεί να γίνει ο έλεγχος παρακολουθώντας τα συστήματα ποτίσματος του χώματος χρησιμοποιώντας πομπούς πίεσης όπου μέσω της βαρύτητας που ασκεί το νερό στο χώμα οι αισθητήρες μπορούν να ελέγχουν τα επίπεδα νερού που είναι διαθέσιμα στις δεξαμενές. Έτσι οι δεξαμενές μπορούν να ελέγχονται μέσω συσκευών, το νερό μπορεί να υπολογίζεται και ασύρματα να μεταδίδεται πίσω σε ένα κεντρικό σημείο ελέγχου για να υπολογιστεί η χρέωση. Με αυτόν τον τρόπο μειώνεται η σπατάλη του νερού αλλά και η χρήση του καθίσταται πιο αποδοτική.

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ Α.Δ.Α

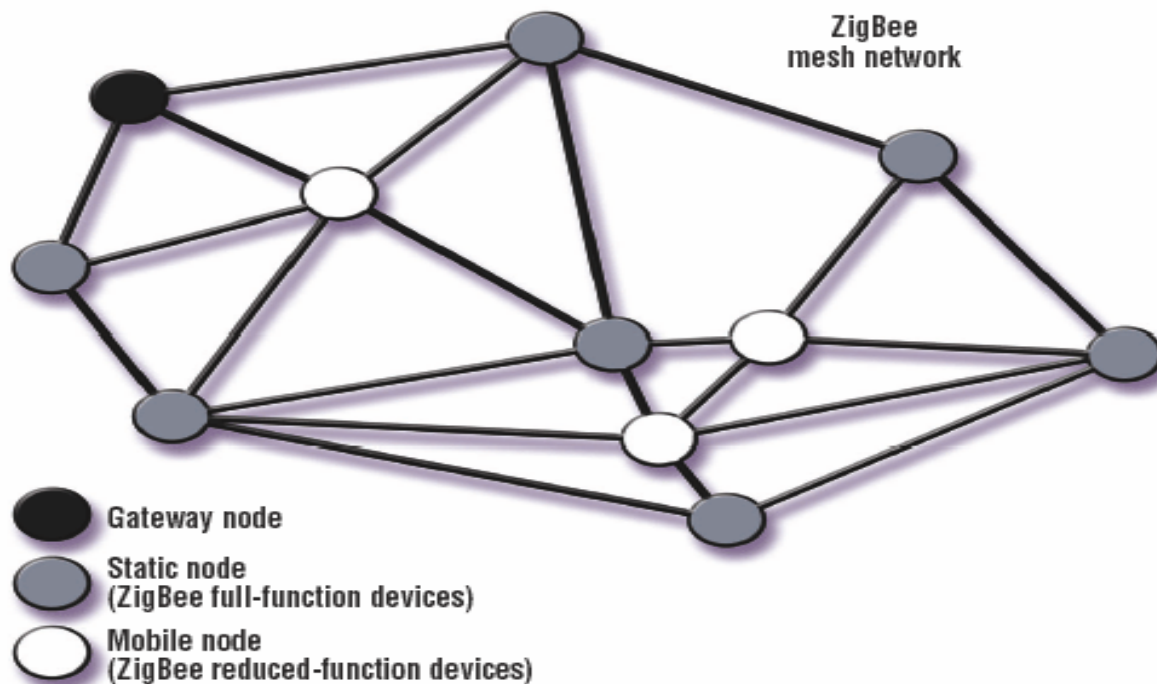
- 1) Περιορισμένη ενέργεια**
- 2) Ικανότητα να αντιλαμβάνονται διάφορες συνθήκες**

- 3) Ικανότητα να μπορούν να ανταπεξέλθουν σε λάθη των κόμβων
- 4) Κινητικότητα των κόμβων
- 5) Δυναμική τοπολογία του δικτύου
- 6) Λάθη στις τηλεπικοινωνίες
- 7) Ετερογενείς τηλεπικοινωνιακοί κόμβοι
- 8) Μεγάλη κλίμακα ανάπτυξης
- 9) Αφύλακτες λειτουργίες
- 10) Η χωρητικότητα του κάθε κόμβου είναι κλιμακωτή, περιορίζεται μόνο από το bandwidth του gateway κόμβου.

Οι κόμβοι-αισθητήρες μπορούμε να φανταστούμε ότι είναι μικροί υπολογιστές . Συνήθως αποτελούνται από μια μονάδα επεξεργασίας με περιορισμένη μνήμη και υπολογιστική δυνατότητα, μια συσκευή επικοινωνιών και μια πηγή ενέργειας, συνήθως μια μπαταρία.

Οι σταθμοί βάσης είναι στοιχεία του δικτύου με περισσότερη υπολογιστική δυνατότητα και μεγαλύτερα αποθέματα ενέργειας. Έχουν το ρόλο του διαμεσολαβητή μεταξύ του τελικού χρήστη και του δικτύου γενικότερα.

Παρακάτω μπορούμε να δούμε ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα στο σχήμα που διαφαίνεται (σχήμα 1.14) , όπου εκεί βλέπουμε το συνδυασμό στατικών κόμβων και κινητών κόμβων σε τοπολογία MESH η οποία είναι η πιο συνηθισμένη σε δίκτυα WSN.



1. The practical location system proposed by Cambridge Consultants is based on a ZigBee mesh structure. A gateway node provides access to a main controller. Static nodes are based at a known location, while mobile nodes are attached to a mobile asset, such as the patient.

(Σχήμα 1.14)

ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΑΔΑ ΜΕΣΩ SUNSPOT ΣΥΣΚΕΥΩΝ

(Ένας gateway κόμβος συνήθως παρέχει πρόσβαση σε έναν κεντρικό χειριστή, στατικοί κόμβοι είναι τοποθετημένοι σε γνωστή τοποθεσία, ενώ κινητοί κόμβοι είναι συνδεδεμένοι σε έναν κινητό φορέα, όπως ένας ασθενής, να τονίσουμε επίσης ότι το zigBee είναι το λογισμικό που χρησιμοποιείται στο παραπάνω σχήμα για επικοινωνία μεταξύ των κόμβων).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΑΔΑ ΜΕΣΩ SUNSPOT ΣΥΣΚΕΥΩΝ

2.1 ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ SUNSPOT

Σήμερα, το διαδίκτυο αποτελείται από εκατομμύρια υπολογιστών, όμως η φύση του αλλάζει καθημερινά. Νέοι τύποι συσκευών αρχίζουν να συνδέονται καθημερινά στο διαδίκτυο. Σύντομα αυτοκίνητα, ιατρικές συσκευές ή ακόμη παιχνίδια θα μπορούν να διαχειρίζονται και να ελέγχουν τα δεδομένα τους μεταξύ τους ανά τον κόσμο. Ο αριθμός αυτών των συσκευών θα ξεπεράσει κατά πολύ αυτόν των υπολογιστών.

Ήδη, πάνω από 1.5 δισεκατομμύρια κινητά με λογισμικό **JAVA** επικοινωνούν μεταξύ τους σε καθημερινή βάση. Προβλέπεται, κάποια μέρα στο κοντινό μέλλον να επικοινωνούν μεταξύ τους τρισεκατομμύρια τέτοιων συσκευών.

Για χρόνια, η εταιρία SUN πίστευε ότι μια μέρα τα πάντα θα είναι κομμάτι του internet. Αυτό το όραμα, του «internet όλων των πραγμάτων» περιλαμβάνει όχι μόνο υπολογιστές που θα επικοινωνούν μεταξύ τους και θα ανταλλάσουν δεδομένα, αλλά θα είναι όλα συνδεδεμένα μεταξύ τους όλα θα επικοινωνούν και θα μοιράζονται δεδομένα, συνεχώς. Αυτοκίνητα, δίκυκλα, αστροναύτες, παιχνίδια ακόμη και δέντρα θα μπορούν να συλλέγουν και να παραδίδουν αμφίδρομα πληροφορίες μέσω αυτών των συσκευών. (για παράδειγμα τα δέντρα χρησιμοποιώντας τους κατάλληλους αισθητήρες θα μπορούν να εντοπίζουν κλιματικές αλλαγές είτε κάποιες κινήσεις ζώων).

Αισθητήρες τεχνολογίας SUNSPOT

Υπάρχει μεγάλη ποσότητα πληροφορίας για επεξεργασία, διαχείριση και αποθήκευση. Τα τελευταία 24 χρόνια η **SUN έχει βάλει στόχο** να δημιουργήσει ένα δίκτυο υποδομής ώστε να χειρίζεται μεγάλες ποσότητες δεδομένων δουλειές δηλαδή που μπορεί να επιτελέσει ένας server, ένα σύστημα αποθήκευσης δεδομένων, λογισμικό διαχείρισης δεδομένων και πάει λέγοντας. Και τώρα με το **SUN SPOT(Small Programmable Object Technology)** ένα τεχνολογικό εγχείρημα της SUN κατάφερε να αυτή την έμπνευση να την ενσαρκώσει σε μια συσκευή η οποία φαίνεται παρακάτω.(σχήμα 2.1)



(στην εικόνα 2.1 παραπάνω βλέπουμε τα λεγόμενα SUNSPOT)

Για το σχεδιασμό αυτής της συσκευής ελήφθησαν υπόψη οι εξής κρίσιμοι παράγοντες:

2.1.1 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΧΕΙΡΙΣΜΟΥ

Τοποθετώντας τη πλατφόρμα της SUN SPOT πάνω σε τεχνολογία JAVA, έγινε πιο εύκολο να γραφεί κώδικας για μικρές ασύρματες συσκευές αισθητήρων και άλλων ηλεκτρονικών συσκευών κατανάλωσης. Έτσι, οι δημιουργοί μπορούν να γράψουν ένα πρόγραμμα σε JAVA, να το φορτώσουν σε μια συσκευή να το τρέξουν και να

ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΑΔΑ ΜΕΣΩ SUNSPOT ΣΥΣΚΕΥΩΝ

αναζητήσουν και σφάλματα πάνω στον κώδικα. Με τη JAVA είναι επίσης ευκολότερο να μεταφέρουμε εφαρμογές μεταξύ των διάφορων πλατφόρμων και οι συσκευές SUNSPOT προσφέρουν μια μικρή, ευέλικτη ασύρματη πλατφόρμα ώστε να τοποθετηθούν αυτές οι εφαρμογές. Για τα εκατομμύρια των χρηστών που χειρίζονται και γράφουν κώδικα σε JAVA μέσω αυτής της συσκευής μπορούν να επιτύχουν αρκετά πράγματα. Ένα από αυτά τα παραδείγματα είναι να μεταφερθεί λογισμικό από ένα SPOT συσκευή με χαμηλή μπαταρία σε ένα άλλο με περισσότερη μπαταρία αποφεύγοντας έτσι απώλεια πληροφοριών.

2.1.2 ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

Αντιθέτως με άλλα συστήματα, οι SUNSPOT χρήστες μπορούν να χρησιμοποιούν εργαλεία ανάπτυξης εφαρμογών όπως τα **NETBEANS** ή **ECLIPSE** για να προγραμματίζουν τις εφαρμογές που επιθυμεί ο χρήστης.

2.1.3 ΑΣΦΑΛΕΙΑ

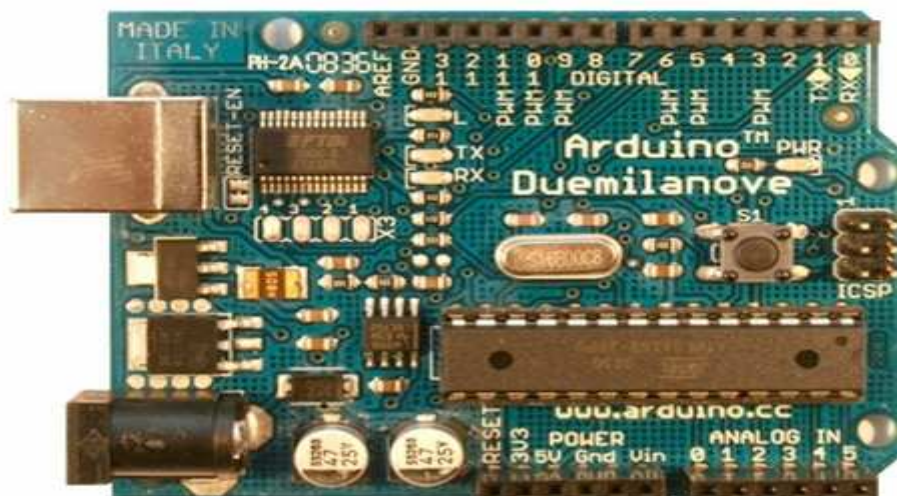
Χρησιμοποιώντας τη τεχνολογία ECC έγινε εφικτό να προστίθεται περισσότερη ασφάλεια χωρίς να χαραμίζεται η μνήμη και η ικανότητα επεξεργασίας των μικρών συσκευών. Έτσι με αυτό το πρόγραμμα με το ψευδώνυμο **SIZZLE** μπορούμε να παρακολουθούμε και αν ελέγχουμε οτιδήποτε με ασφάλεια μέσω ενός **WEB BROWSER**.

2.1.4 ΠΡΟΣΦΕΡΟΜΕΝΗ ΚΛΙΜΑΚΩΣΗ

Οποιαδήποτε συσκευή αυτής της τεχνολογίας μπορεί να είναι ικανή να επηρεάζεται από μια μεγάλη κλιμάκωση(παραδείγματος χάρη ολοκληρωμένα συστήματα από έναν έως χιλιάδες επεξεργαστές είτε η αύξηση σε petabytes σε χωρητικότητα).

Αισθητήρες τεχνολογίας SUNSPOT

2.1.5 ΤΕΧΝΙΚΑ



ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΟΥ SUNSPOT

- 1) 180 MHz 32 bit ARM920T core-512K RAM-4M Flash
- 2) 2.4 GHz IEEE 802.15.4 με ενσωματωμένη κεραία
- 3) AT91 κύκλωμα χρονισμού
- 4) USB θύρα

ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ

- 1) 2G/6G three-axis accelerometer
- 2) Αισθητήρας θερμοκρασίας
- 3) Αισθητήρας φωτός
- 4) 8 LED τριών χρωμάτων
- 5) 6 αναλογικές εισοδοι
- 6) 2 διακόπτες
- 7) 5 γενικοί εισοδοι και έξοδοι και 4 υψηλού ρεύματος έξοδοι
- 8) Μπαταρία 3.7 V επαναφορτιζόμενη λιθίου
- 9) 30 μ amper λειτουργία «ύπνου»

ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΑΔΑ ΜΕΣΩ SUNSPOT ΣΥΣΚΕΥΩΝ

ΧΡΗΣΙΜΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΓΙΑ SUNSPOT ΣΥΣΚΕΥΕΣ

Οι συσκευές που χρησιμοποιούν JAVA είναι γνωστές για την ικανότητα τους να είναι ανεξάρτητες από το hardware. Το **SUNSPOT** χρησιμοποιεί ένα μικρό J2ME το οποίο τρέχει κατευθείαν στον επεξεργαστή χωρίς ένα **OS(OPERATION SYSTEM)**. Και το **J2ME** και το **SUNSPOT** είναι **ανοικτού κώδικα**.

Με τον όρο **Λογισμικό ανοικτού κώδικα** εννοείται λογισμικό του οποίου ο πηγαίος κώδικας διατίθεται ελεύθερα σε αυτούς που θέλουν να τον εξετάσουν, και/ή τροποποιήσουν η χρησιμοποιήσουν σε άλλες εφαρμογές. Υπάρχουν πολλές διαφορετικές άδειες χρήσης που μπορεί να συνοδεύουν το λογισμικό ανοικτού κώδικα.

Σε γενικές γραμμές το λογισμικό ανοικτού κώδικα δεν σημαίνει απαραίτητα δωρεάν λογισμικό, ούτε ελεύθερο λογισμικό (σύμφωνα με τον ορισμό που δίνει στο ελεύθερο λογισμικό το Ίδρυμα Ελεύθερου Λογισμικού), αλλά αναφέρεται κυρίως στην ελευθερία του κάθε χρήστη να εξετάσει και να χρησιμοποιήσει την γνώση και τις δυνατότητες που του προσφέρει ο κώδικας προγραμματισμού.

2.2 ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΑΔΑ ΜΕΣΩ TINYOS



Το **TINYOS** είναι ένα σύστημα χειρισμού ανοικτού κώδικα σχεδιασμένο για ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Περιέχει μια αρχιτεκτονική βασισμένη σε στοιχεία που ενεργοποιούν γρήγορες εφαρμογές ενόσω ο κώδικας ελαχιστοποιείται σε μέγεθος καθώς αυτό απαιτείται από τη μνήμη που υπάρχει στα δίκτυα αισθητήρων.

ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΑΔΑ ΜΕΣΩ SUNSPOT ΣΥΣΚΕΥΩΝ

Η βιβλιοθήκη των στοιχείων αυτού του συστήματος περιέχει **πρωτόκολλα δικτύων, κατανεμημένες υπηρεσίες, οδηγούς αισθητήρων** τα οποία όλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μια εφαρμογή ενός καταναλωτή.

Τα μοντέλα TINYOS (**λεγόμενα και event-driven**) μας επιτρέπουν να κάνουμε τη διαχείριση που θα μας επιτρέπει να προγραμματίζουμε με την ευελιξία που είναι απαραίτητη για απρόβλεπτες αλλαγές στη φύση της ασύρματης επικοινωνίας.

Μια ευρεία κοινότητα προγραμματιστών χρησιμοποιεί τα **TINYOS** για να προσομοιώσει και να τεστάρει αλγορίθμους και πρωτόκολλα.

Ας αναφερθούμε για λίγο σε μια περίπτωση ενός δικτύου βασισμένο πάνω σε TINYOS.

Θα προσπαθήσουμε να παρουσιάσουμε 3 σημαντικά θέματα:

A) Πως παρέχεται η μεθοδολογία για να δημιουργήσουμε αξιόπιστα μοντέλα για ετερογενή δικτυακά συστήματα.

B) Πως μας επιτρέπεται να κατανοήσουμε την αμοιβαία επίδραση μεταξύ πλατφόρμας-εξάρτησης και πλατφόρμας-ανεξαρτησίας. Το μοντέλο ενός κόμβου είναι η μίξη μεταξύ ενός αφηρημένου μοντέλου **TINYOS** και ενός συστήματος με το λογισμικό της εκάστοτε εφαρμογής.

Γ) Πως μας παρέχεται η βοήθεια από την αναγνώριση της συμπεριφοράς και της προσομοίωσης του συστήματος των δικτυακών συστημάτων. Αυτές οι συγκρίσεις μεταξύ των προσομοιώσεων μας επιτρέπουν να αξιολογήσουμε την απόδοση του εκάστοτε συστήματος που μελετάμε.

2.2.1 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ TINYOS

Αισθητήρες τεχνολογίας SUNSPOT

Το TINYOS μοντέλο μας είναι συνδυασμός 2 συνόλων από στοιχεία:

- 1) Μοντέλα για hardware στοιχεία, παρουσιάζοντας χρονιστές, αισθητήρες και ράδιο.
- 2) Προγραμματιστές για γεγονότα και εργασίες.

Χρησιμοποιούνται 2 προγραμματιστές για να μοντελοποιήσουμε το προγραμματιστικό μηχανισμό του TINYOS.

1) ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΤΕΣ ΜΟΝΤΕΛΩΝ

Χρησιμοποιούμε 2 προγραμματιστές ώστε να μοντελοποιήσουμε τον μηχανισμό των δύο επιπέδων του TINYOS. Ο προγραμματιστής για τα γεγονότα (events) είναι υπεύθυνος για την διαχείριση των γεγονότων που δημιουργούνται από τα στοιχεία hardware. Όταν ένα γεγονός γενόμενο από hardware στοιχείο συμβολισμένο με e γίνεται δεκτό από ένα κανάλι λεγόμενο sig, ο προγραμματιστής αρχικά αποκτά πρώτος οποιοδήποτε τρέχων στοιχείο με το να συγχρονίζει μέσω του καναλιού pre και στοιβάζει τα id's από τα αποκτηθέντα στοιχεία που δέχτηκε.

Μετά, αυτό πυροδοτεί την εκτέλεση των χειριστών γεγονότων που είναι ταυτοποιημένα ως e παρουσιάζοντας τα μέσω της θύρας beg. Από τη κατάσταση BYSY1, ο προγραμματιστής γεγονότων μπορεί είτε να πυροδοτείται μέσω ενός νέου σήματος γενόμενου από hardware (port sig) ή μέσω μιας ειδοποίησης τερματισμού (port fin). Στη πρώτη περίπτωση, αυτό αποκτά πρώτο το προσωρινό τρέχων στοιχείο, στη δεύτερη περίπτωση, εξαρτάται από τη κατάσταση του σωρού (αν είναι άδειος ή όχι), και πηγαίνει στη κατάσταση IDLE ή στη κατάσταση BYSY2 από την οποία ανακτά το τελευταίο στοιχείο.

2) ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΑΔΑ ΜΕΣΩ SUNSPOT ΣΥΣΚΕΥΩΝ

Ο προγραμματιστής εργασιών εικόνα (3β) λαμβάνει νέους στόχους(εργασίες) διαμέσου του καναλιού post και συμπεριφέρεται σε αυτούς με τη σειρά **FIFO(FIRST IN FIRST OUT)**.Μπορεί να ξεκινήσει μια εργασία μόνο όταν ο προγραμματιστής γεγονότων είναι σε κατάσταση IDLE.

Αναλυτικότερα:

Χρησιμοποιώντας την αρχή-**PRIORITY(BIP) (ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ-ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ-ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΑ)** πλαίσιο στοιχείων. Η μεθοδολογία βασίζεται στο να χτίζουμε ένα μοντέλο ενός κόμβου όπως τη σύνθεση ενός μοντέλου που εξάγουμε από ένα NESC πρόγραμμα περιγράφοντας την εφαρμογή, και μοντέλα των TINYOS στοιχείων. Μοντέλα για δίκτυα εξάγονται από τη σύνθεση από μοντέλα των κόμβων χρησιμοποιώντας BIP συνδέσεις εμπλέκοντας διαφορετικούς τύπους ράδιο-καναλιών. Αυτό ανοίγει το δρόμο για βαθύτερη ανάλυση και έγκαιρη ανίχνευση χρησιμοποιώντας τεχνικές επαλήθευσης.

Η σχεδίαση των ADA εμπλέκει την σύνθεση μιας ποικιλίας από hardware και software στοιχείων παραγόμενα από διαφορετικές μεθοδολογίες και εργαλεία. Έχουμε περιορισμένη κατανόηση στο πως συγκεκριμένα στοιχεία επηρεάζουν τη συνολική συμπεριφορά του συστήματος. Για να ανταπεξέλθουμε με αυτή την πολυπλοκότητα και για καλύτερη κατανόηση, είναι σημαντικό να σκεφτούμε ένα ADA σαν μια σύνθεση από μικρές λειτουργίες, υπηρεσίες και στοιχεία χρησιμοποιώντας αρχές αυξανόμενης δομής. Το κύριο πρόβλημα για αυτό είναι η έλλειψη των πλαισίων των μοντέλων που περιστοιχίζουν την ετερογένεια των συστημάτων.

Τα πιο πολλά περιβάλλοντα προσομοιώσεων χρησιμοποιούν λογισμικό βασισμένο σε λίγο πολύ ad-hoc αρχές με το να ολοκληρώνεται ο κώδικας της εφαρμογής σε συγκεκριμένες πλατφόρμες. Είναι χρήσιμα για έλεγχο λαθών στο κώδικα που εφαρμόζεται αλλά δεν είναι επαρκή για μια πιο ακριβής εξερεύνηση ενός όχι ντετερμινιστικού δικτύου.

Αισθητήρες τεχνολογίας SUNSPOT

Το BIP αποτελείται από μια γλώσσα για μοντελοποίηση συστημάτων βασισμένων σε στοιχεία και σχετίζεται με εργαλεία που πραγματοποιούν εκτέλεση και προσομοίωση αλλά και ανίχνευση.

Για έναν δεδομένο κόμβο, ένα οικουμενικό BIP μοντέλο είναι φτιαγμένο συνθέτοντας BIP μοντέλα για εφαρμογές λογισμικού και για *tinycos*. Τα μοντέλα για εφαρμογές λογισμικού παράγονται αυτόματα από *nesC* προγράμματα μέσω ενός 'ΔΙΕΡΜΗΝΕΑ' όπου παίρνει τον κώδικα σαν είσοδο και παράγει τα ανταποκρινόμενα BIP στοιχεία και συνδέσεις.

Αυτή η μεθοδολογία χαρακτηρίζεται όπως:

- 1) Ένα οικουμενικό μοντέλο για το δίκτυο είναι βασισμένο στη σύνθεση στοιχείων BIP μοντελοποιώντας την εφαρμογή λογισμικού όπως θα την έκανε και ένα σύστημα χειρισμού. Αυτή είναι η βασική διαφορά με τις υπάρχουσες προσεγγίσεις προσομοίωσης, χρησιμοποιώντας κατευθείαν *tinycos* και C κώδικα παραγόμενο από C compiler.
- 2) Μια σημαντική διαφορά με τις υπάρχουσες προσεγγίσεις προσομοιώσεων είναι ότι τα λαμβανόμενα BIP μοντέλα δεν είναι ντετερμινιστικά και χαρακτηρίζουν πλήρως τη συμπεριφορά του δικτύου ανεξάρτητα από τη πλατφόρμα που χρησιμοποιείται.

3) Άλλη μια σημαντική διαφορά είναι η αυξανόμενη δομή των BIP μοντέλων. Αυξητικότητα σημαίνει ότι το οικουμενικό μοντέλο μπορεί να δημιουργηθεί με προοδευτική σύνθεση όλων των ατομικών στοιχείων του. Αυτό επιτρέπει μεγαλύτερη διατήρηση της δομής του μέσω μετάφρασης μέσα σε ένα BIP. Με αυτό είναι δυνατό να μπορούμε να μελετήσουμε τις επιδράσεις του κάθε εξαρτήματος στη συνολική συμπεριφορά του συστήματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1 ΤΡΟΠΟΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ

3.1.1 TESTBEDS



(χαρακτηριστικό παράδειγμα διεξαγωγής testbed σε εργαστηριακό χώρο)

Η αξιολόγηση της απόδοσης των ΑΔΑ γίνονται μέσω προσομοιωτών ή εξομοιωτών. Τα σημερινά περιβάλλοντα προσομοιωτών για WSN δίκτυα είναι είτε υψηλά εξειδικευμένα να ταιριάζουν σε συγκεκριμένες συσκευές που συμμετέχουν στο δίκτυο ή να ανταποκρίνονται ρεαλιστικά σε αληθινές εφαρμογές. Τα περισσότερα περιβάλλοντα αν και ικανοποιητικά για συγκεκριμένες συσκευές, πάσχουν όταν τα προγραμματιστικά μοντέλα γίνονται πιο περίπλοκα στις εφαρμογές. Πρόσφατα κάποιες λύσεις βασισμένες σε java ήρθαν για να κάνουν απλούστερες και να επεκτείνουν τη δημιουργία εφαρμογών πάνω σε WSNs.

Επίσης όπως ξέρουμε τα συγκεκριμένα δίκτυα τις περισσότερες φορές είναι δυναμικά και αποτελούνται από πολλούς κινητούς σταθμούς. Εξαιτίας του υψηλού κόστους και την έλλειψη ευελιξίας αυτών των δικτύων, οι πειραματισμοί είναι πιο αποτελεσματικοί μέσω προσομοίωσης.

Τρόποι αξιολόγησης απόδοσης

Ερευνώντας αυτού του είδους δίκτυα, είναι πιο εφικτό αν το πετύχουμε είτε χρησιμοποιώντας προσομοιωτές λογισμικού είτε χρησιμοποιώντας πειραματικά δίκτυα(**testbeds**). Οι πιο πολλοί ερευνητές προτιμούν τις προσομοιώσεις παρά τα testbeds για τον λόγο ότι είναι ακριβή διαδικασία και δεν είναι τόσο ευέλικτα.

Ας αναλύσουμε τα testbeds. Τα testbeds είναι δίκτυα που δημιουργούνται πειραματικά και χρησιμοποιούνται από τους ερευνητές. Σκοπός τους είναι να πειραματιστούν πάνω σε αυτά πρωτόκολλα και σε εφαρμογές.

Ας δώσουμε μερικά παραδείγματα από μερικές μελέτες:

Το APE πρόγραμμα πειραματίστηκε πάνω στη δρομολόγηση που χρησιμοποιούν οι κόμβοι με το στάνταρ IEEE.802.11. Πολλοί συμμετέχοντες χρησιμοποιήθηκαν για να μετακινούν τις φορητές συσκευές το οποίο είχε σαν συνέπεια το υψηλό κόστος και τη δυσκολία του πειραματισμού.

Το Roof Net πρόγραμμα διεξάχθηκε από ερευνητές του MIT πάνω από τη πόλη του CAMBRIDGE χρησιμοποιώντας 40 κόμβους με το πρότυπο IEEE802.11. Σκοπό είχε να μελετήσει τη δρομολόγηση(multi hop) των MANET δικτύων. Το πρόγραμμα όμως χρησιμοποιούσε στατικούς κόμβους. Εν ολίγοις δε μπορούσε να ανταπεξέλθει σε θέματα φορητότητας.

Το πρόγραμμα AD-HOC-CITY χρησιμοποίησε το συνδυασμό ασυρμάτων και ενσύρματων σταθμών. Καλύπτοντας όλη τη πόλη του Seattle, πραγματική πληροφορία μπορούσε να συγκεντρωθεί.

Τα testbeds πιο συγκεκριμένα έχουν σα μεγάλο μειονέκτημα το κόστος που απαιτείται σε hardware αφού ένας κόμβος στοιχίζει αρκετές εκατοντάδες ευρώ , μαζί με τη διαχείριση των εφαρμογών αλλά και τη δυσκολία παρακολούθησής τους.

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ WSN

Για να γίνουμε πιο συγκεκριμένοι θα πρέπει να πούμε ότι δεν έχουν την ικανότητα της κλιμάκωσης. Με λίγα λόγια δεν επιτρέπουν τη δημιουργία ενός μεγαλύτερου δικτύου. Ο μέγιστος αριθμός κόμβων μόλις φτάνει μετά βίας τους 50.

3.1.2 EMULATORS

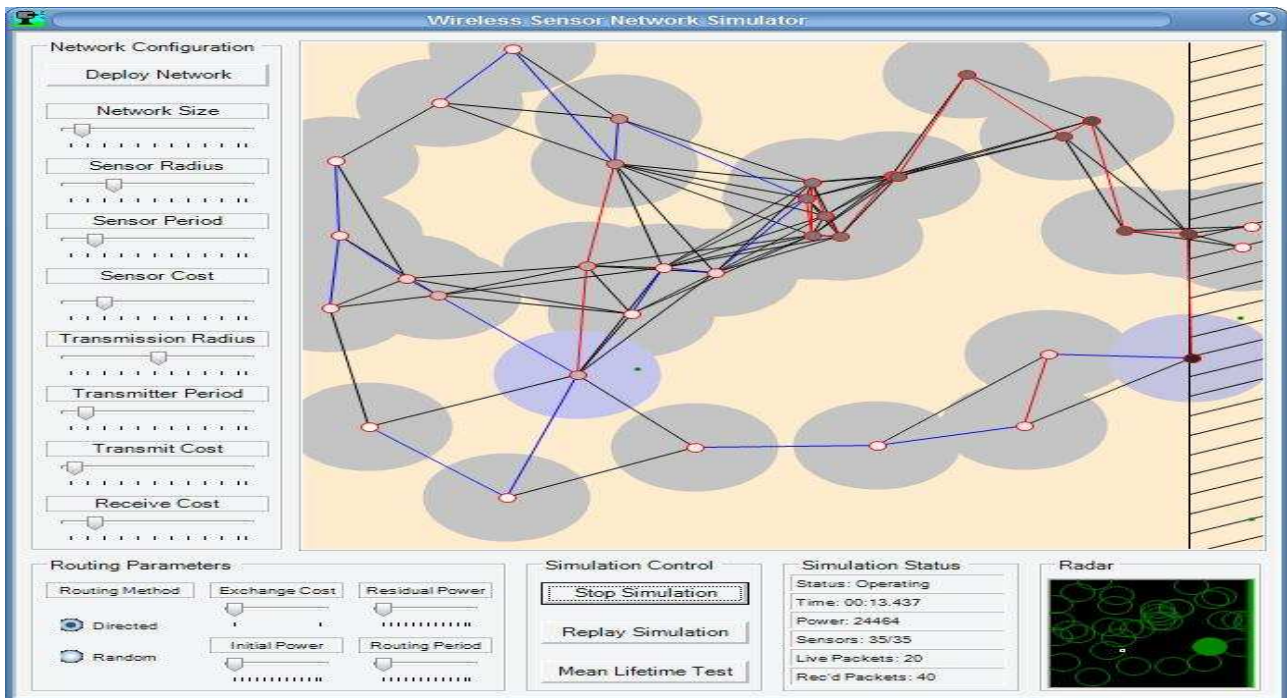
Με τον όρο εξομοιωτή εννοούμε το πρόγραμμα αυτό που μελετά τη συμπεριφορά του εκάστοτε συστήματος στο οποίο θέτουμε πραγματικές συνθήκες. Ένα παράδειγμα είναι να τρέχουμε ένα πείραμα πραγματικού χρόνου χρησιμοποιώντας αληθινούς και μη κόμβους με τον ίδιο κώδικα εφαρμογής.

Ο εξομοιωτής προσφέρει απλές διασυνδέσεις προγραμματισμού και επιτρέπει την παραγωγή αποδοτικού κώδικα. Επίσης επιτρέπει στον χρήστη να παρακολουθεί την συμπεριφορά του WSN δικτύου και να βρίσκει λάθη στην εφαρμογή.

Σημαντικό είναι ότι μας επιτρέπει την έρευνα σε πολύ μεγάλα δίκτυα(κλιμάκωση). Οι αληθινοί κόμβοι μπορεί να είναι συσκευές βασισμένες σε IEEE802.15.4. Οι κόμβοι που εξομοιώνονται είναι ανεξάρτητοι και πιθανόν κατανεμημένοι μεταξύ πολλών διαδικτυακών υπολογιστών. Οι κόμβοι «εκτέλεσης» τρέχουν την εφαρμογή του WSN δικτύου. Ο αθροιστής είναι υπεύθυνος για να συλλέξει τις στατιστικές του δικτύου για περαιτέρω ανάλυση. Τελικά μια γέφυρα ενώνει τους κόμβους που προσομοιώνονται με τους αληθινούς κόμβους, και αποτελείται από το πραγματικό του μέρος και το αυτό της προσομοίωσης. Η φυσική θέση των κόμβων προσομοίωσης μας δίνεται από τον πελάτη που είναι ο τοπικός διαχειριστής τοπολογίας. Οι πληροφορίες της τοπολογίας υπολογίζονται από τον αντίστοιχο εξυπηρετητή που είναι ένας από τους υπολογιστές και εφαρμόζεται στο πείραμα και παρέχει στους διάφορους πελάτες ένα πραγματικού χρόνου TCP(SOCKETS). Με λίγα λόγια ο εξομοιωτής μπορεί να δώσει έναν ρεαλισμό στα πειράματά μας. Βάση αυτού μπορούμε να ελέγξουμε σημαντικές παραμέτρους όπως η πραγματική κατανάλωση ισχύος, η μνήμη αλλά και μετρήσεις της CPU.

3.1.3 SIMULATORS

Τρόποι αξιολόγησης απόδοσης



(screenshot από τον προσομοιωτή WSN, στην εικόνα διαφαίνονται τα links μεταξύ των κόμβων και οι εμβέλειες τους.)

Η καλύτερη λύση για να ελέγξουμε το οποιοδήποτε σύστημα είναι ο προσομοιωτής. Οι προσομοιωτές μας επιτρέπουν να ελέγξουμε το δίκτυο εξ ολοκλήρου, είναι πιο εύχρηστοι και καθιστούν τη παρακολούθηση του συστήματος μια εύκολη διαδικασία. Εξάλλου, το μέγεθος του δικτύου που προσομοιώνεται είναι περιορισμένο από τη διαθέσιμη ενέργεια που είναι υπολογισμένη.

3.2 ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ και ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΓΙΑ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Οι απαιτήσεις που έχουμε από το λογισμικό της προσομοίωσης είναι οι εξής:

3.2.1 Η ΑΚΡΙΒΕΙΑ ΤΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΤΩΝ

Έχουν γίνει κάποιες μελέτες που επικεντρώνονται στην ακρίβεια των προσομοιωτών. Μερικές από αυτές στοχεύουν στην ύπαρξη κάποιων σημαντικών διακυμάνσεων στο τρόπο που λειτουργούν οι προσομοιωτές. Θα πρέπει να πούμε στην ουσία ότι δεν υπάρχει δίκτυο το οποίο να είναι ακριβές. Στη καλύτερη

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ WSN

περίπτωση μπορούμε να ονομάσουμε το δίκτυο εξαρτώμενο ή ρεαλιστικό. Οι ερευνητές που απαιτούν ακρίβεια θα θέλουν να διεξάγουν τα πειράματα τους πάνω σε αληθινές συσκευές, χρησιμοποιώντας testbeds. Όταν αυτό δεν είναι πιθανό θα πρέπει να καταφύγουν σε προσομοίωση και αυτό για να ικανοποιηθεί με ένα βέβαιο επίπεδο ανακρίβειας. Η ανακρίβεια έχει πολλές αιτίες, που εξηγούνται στα παρακάτω.

3.2.2 Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ GRANULARITY

Οι σχεδιαστές λογισμικού ξέρουν πως για να κατασκευαστεί ένα υπολογιστικό μοντέλο που περιλαμβάνει όλες τις λεπτομέρειες του τομέα που επικεντρώνεται είναι απίθανο: υπολογιστικά μοντέλα της πραγματικότητας είναι αναγκαία σχεδιασμένα με σίγουρο granularity. Βεβαίως το να μοντελοποιήσουμε τα πάντα είναι αδύνατον. Στη συγκεκριμένη περίπτωση των WSN, αν τα επίπεδα λογισμικού είναι συσχετιζόμενα μπορούν εύκολα να εφαρμοστούν ξανά μέσω προσομοιωτή.

Δυστυχώς, το να παραμελούνται λεπτομέρειες έχει μερικές φορές κάποιες σοβαρές συνέπειες στα αποτελέσματα που περιμένουμε. Ιδανικά, το granularity του μοντέλου που χρησιμοποιείται, πρέπει να οριστεί ανάλογα με τις ανάγκες της εφαρμογής που προσομοιώνουμε.

3.2.3 ΜΟΝΤΕΛΑ ΦΟΡΗΤΟΤΗΤΑΣ

Μέχρι στιγμής, οι περισσότερες έρευνες έχουν πετύχει όχι ρεαλιστικές υποθέσεις για την φορητότητα των κόμβων. Πιο συγκεκριμένα, αυτοί γενικά στηρίζονται πάνω σε μοντέλα τυχαία, ειδικά πάνω στο μοντέλο RANDOM WAYPOINT. Χάρη στις αρκετές έρευνες που επικεντρώνονται πάνω στο τυχαίο της φορητότητας, οι ερευνητές στρέφουν την προσοχή τους στο επιβλαβές αντίκτυπο τους.

3.2.4 ΜΟΝΤΕΛΑ ΑΣΥΡΜΑΤΗΣ ΔΙΑΔΟΣΗΣ

Τα ραδιοκύματα διάδοσης αποτελούν έναν άλλο παράγοντα σχετικά με την αξιοπιστία. Μέχρι τώρα, οι περισσότερες μελέτες έχουν επικεντρωθεί στο να βρουν τα μονοπάτια με τη λιγότερη απώλεια διάδοσης, συχνά σχετιζόμενα με τυχαία πρότυπα φορητότητας. Η διάδοση ραδιοκυμάτων είναι γενικά σχετισμένη με τη φορητότητα διότι και τα δύο μεγέθη διέπονται από τα ίδια περιβαλλοντικά στοιχεία.

Απαιτήσεις και τεχνικές για το λογισμικό προσομοίωσης

Συγκεκριμένα, τα ραδιοκύματα σχετίζονται με φαινόμενα όπως σκέδαση, διάθλαση και ανάκλαση. Μέχρι τώρα κανείς προσομοιωτής δεν εφαρμόζει αυτές τις τρεις παραμέτρους της ράδιο –διάδοσης. Τωρινές εφαρμογές βασίζονται πάνω σε **στατιστικά μοντέλα**. Για παράδειγμα, έρευνες όπως αυτή του DRICOT και DE DONCKER χρησιμοποιούν μοντελοποιημένες έννοιες ανάκλασης όπως αυτή του MARKOV. Δυστυχώς όμως, αυτός ο τρόπος καταναλώνει πολύ χρόνο.

3.2.5 ΜΕΓΕΘΟΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Κάποιοι ερευνητές εξήγησαν πως υπάρχει ένα κατώφλι από τον αριθμό των σταθμών μέσα στο δίκτυο για τους οποίους τα αποτελέσματα λαμβάνονται όχι αργότερα από την αύξηση του αριθμού των σταθμών. Αυτό το κατώφλι εξαρτάται από την εφαρμογή που προσομοιώνεται. Εξαιτίας της έλλειψης κλιμάκωσης για τους πιο πολλούς προσομοιωτές, αυτό το σημαντικό στοιχείο για την εγκυρότητα των πρωτοκόλλων είναι συχνά παραμελημένο. Προσομοιωτές με κλιμάκωση και με τεχνικές προόδου θα ξεπεράσουν αυτό το πρόβλημα.

3.2.6 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Η προσομοίωση μπορεί να είναι είτε συνεχής είτε διακριτή. Οι συνεχείς προσομοιώσεις χρησιμοποιούν αναλυτικά μοντέλα. Εξαιτίας της ουσιαστικής περιπλοκότητας των ΑΔΑ, αναλυτικά μοντέλα μπορούν δύσκολα να εφαρμοστούν. Η διακριτή προσομοίωση αποδεικνύεται περισσότερο πρακτική. Στη περίπτωση των ΑΔΑ προσομοιώσεων, η διακριτή προσομοίωση πλεονεκτεί από συγκεκριμένες οπτικές τεχνικές.

3.2.7 ΠΑΡΑΛΛΗΛΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΝΟΜΗ

Από τη μια, ο παραλληλισμός αναφέρεται στην ταυτόχρονη εκτέλεση διαφορετικών οδηγιών του ίδιου προγράμματος. Χρησιμοποιείται για να επιταχύνει τις προσομοιώσεις. Παραλληλισμός είναι η τεχνολογία για προσομοίωση ενσύρματων

δικτύων. Από την άλλη, η κατανομή αναφέρεται στη συλλογή δεδομένων προγραμματισμού ή κώδικα σε διαφορετικούς υπολογιστές. Κυρίως, χρησιμοποιείται για να προσφέρει κλιμάκωση και να ενεργοποιήσει τον παραλληλισμό. Παραλληλισμός και κατανομή μπορούν να χρησιμοποιηθούν μαζί ή και ξεχωριστά. Η πρόοδος όσον αφορά την ταχύτητα και τη κλιμάκωση εξαρτάται από τον αριθμό των κόμβων-επεξεργαστών που εμπλέκονται. Όταν η κατανομή δε χρησιμοποιείται, ο παραλληλισμός τυπικά εφαρμόζεται σε διαμοίραση αρχιτεκτονικών μνήμης. Αυτή η τεχνική επιτρέπει στους προσομοιωτές να μοντελοποιούν δίκτυα φτιαγμένα από δεκάδες χιλιάδες σταθμούς.

3.2.8 ΥΒΡΙΔΙΚΕΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ

Η αρχή των υβριδικών προσομοιώσεων είναι να συνδυάσουμε αναλυτικά μοντέλα και διακριτά. Αν και αγνά αναλυτικά μοντέλα δε ταιριάζουν σε προσομοιώσεις ΑΔΑ, αναμιγνύοντας τα με διακριτά μοντέλα οδηγούμαστε σε καλά αποτελέσματα.

3.2.9 ΓΛΩΣΣΕΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΚΑΙ ΠΛΑΙΣΙΑ

Αρκετοί προσομοιωτές όπως ο GLOMOSIM έχουν δημιουργηθεί χρησιμοποιώντας γλώσσες, βιβλιοθήκες και πλαίσια αφιερωμένα σε προσομοιώσεις διακριτών-γεγονότων. Αυτές οι τεχνολογίες τυπικά επικεντρώνονται στην απόδοση και την κατανομή. Μια προσέγγιση έγινε για να δημιουργηθούν γλώσσες προσομοίωσης που θα συγγενεύουν με τις ήδη υπάρχουσες γλώσσες με επεκτάσεις για συγχρονισμό και διαχείριση χρόνου.

3.2.10 ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΛΑΘΩΝ

Έχει διευκρινιστεί πως ο κατανεμημένος προγραμματισμός είναι από τη φύση του δύσκολος. Επιπροσθέτως, το να κατανέμεται είναι τυπικά αποκεντρωτικό. Χειρότερα, η πολύ δυναμική φύση των WSN κάνει τη δημιουργία των πρωτοκόλλων και των εφαρμογών τους εξαιρετικά επιρρεπής στο λάθος. Οπότε, είναι πολύ σημαντικό ο χρήστης να είναι εφοδιασμένος με αποδοτικούς μηχανισμούς ελέγχου λαθών και οπτικοποίησης (**visualization**).

Υπάρχουν δύο τεχνικές για να μπορεί να δει ο χρήστης το τι συμβαίνει κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Ο προσομοιωτής διακριτών γεγονότων βοηθάει στη

Απαιτήσεις και τεχνικές για το λογισμικό προσομοίωσης

δημιουργία φακέλου που περιέχει κάθε περιγραφή όλων των γεγονότων που συμβαίνουν στη προσομοίωση. Αυτή η γενική τεχνική αναφέρει όλα τα γεγονότα στο χρήστη. Δυστυχώς όμως λόγω του μεγάλου μεγέθους που δημιουργεί το κάθε ίχνος, δεσμεύεται μεγάλη υπολογιστική ικανότητα από τη CPU με αποτέλεσμα να καθυστερεί αρκετά η επεξεργασία της προσομοίωσης. Τελικά, ο χρήστης πρέπει να εισάγει κάποια «φίλτρα» ώστε να βλέπει τις πληροφορίες που αυτός θεωρεί απαραίτητες. Αυτό διαφυλάσσει αρκετή υπολογιστική ικανότητα. Εξάλλου, μας επιτρέπει να βλέπουμε γραφικές παραστάσεις, που είναι πολύ σημαντικές για να γίνει ο έλεγχος λαθών και για παρακολούθηση της όλης προσομοίωσης.

3.2.11 BINING

Αυτή η τεχνική έχει καλή χρήση στο διαστηματικό εντοπισμό των κόμβων δικτύου στα ΑΔΑ, είναι βασικά πρακτικό και ευρέως χρησιμοποιούμενο σε όλα τα συστήματα φτιαγμένα από διαστηματικά αντικείμενα. Αυτό αποτελεί τη διάσταση μιας περιοχής προσομοίωσης μέσα σε μια συγκεκριμένη δομή που ονομάζεται list-based. Το binning βελτιώνει δραματικά τον καθορισμό των επικοινωνιακών συνδέσεων μέσα σε ένα δίκτυο.

STAGED SIMULATION

Είναι μια γενική τεχνική που βελτιώνει την απόδοση ενός προσομοιωτή διακριτού-γεγονότος με το να αναγνωρίζει και να τερματίζει υπολογισμούς που θεωρούνται περιττοί. Αποτελείται από τρία μέρη:

- 1) FUNCTION CACHING=ΚΡΥΨΙΜΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΩΝ**
- 2) EVENT RESTRUCTING=ΕΠΑΝΑΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΓΕΓΟΝΟΤΟΣ**
- 3) TIME-SHIFTING=ΟΛΙΣΘΗΣΗ ΧΡΟΝΟΥ**

Η πρώτη λειτουργία αποφεύγει τους πλεονάζοντες υπολογισμούς τοποθετώντας στη μνήμη cache τα αποτελέσματα των ειδοποιήσεων κάθε λειτουργίας.

Η δεύτερη λειτουργία βελτιώνει τη πρώτη λειτουργία με το να εκθέτει χαμηλής σημασίας γεγονότα.

Η τρίτη λειτουργία δίνει νέες εντολές στα γεγονότα ώστε να είναι σε μια σειρά που να ταιριάζει καλύτερα στην αρχιτεκτονική του υπολογιστή που εκτελεί την προσομοίωση. Μπορεί επίσης να ενεργοποιήσει μια σειρά από μικρά γεγονότα για να υπολογιστούν όλα μαζί μέσω ενός πιο αποδοτικού αλγορίθμου.

3.2.12 ΜΕΡΙΚΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΤΩΝ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥΣ

DIANEmu: Είναι ένας προσομοιωτής διακριτού-γεγονότος από το πανεπιστήμιο της Καρλσρούη. Στοχεύει στο να ενεργοποιεί τη προσομοίωση των ad-hoc εφαρμογών μέσα σε ρεαλιστικές συνθήκες. Μέχρι τώρα, οι περισσότεροι προσομοιωτές έχουν σχεδιαστεί για να επιτρέπουν προσομοιώσεις σε επίπεδο πρωτοκόλλου. Ο συγκεκριμένος έχει χρησιμοποιεί διαφορετική προσέγγιση, υποθέτει ότι τα χαμηλότερα επίπεδα δικτύου είναι διαθέσιμα. Τότε επικεντρώνεται πάνω στο μοντέλο εφαρμογών. Ο DIANEMU ανήκει σε μια καινούρια τάξη προσομοιωτών που μας επιτρέπει μεγάλης κλίμακας προσομοίωση και υψηλού επιπέδου εφαρμογές όπως παιχνίδια και επιχειρήσεις μέσω του διαδικτύου.

Επίσης παρέχει ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον σχεδιασμού εφαρμογών. Η μηχανή προσομοίωσης είναι στενά συνδεδεμένη με τις γραφικές διασυνδέσεις του. Πιο συγκεκριμένα ορίζει ότι το κάθε γεγονός σχετίζεται με ένα καθορισμένο χειριστή. Αυτός ο χειριστής επικαλείται δυναμικά όταν ένα γεγονός λαμβάνει χώρα. Αξίζει να σημειώσουμε ότι είναι γραμμένος σε java.

J-SIM: Δημιουργήθηκε στο πανεπιστήμιο του ILLINOIS, και είναι βασισμένο σε στοιχεία (component-based). Αρχικά σχεδιάστηκε για προσομοιώσεις ενσύρματων δικτύων. Αργότερα προχώρησαν σε ασύρματη επέκταση του. Ο J-SIM επίσης περιέχει ένα σύνολο από στοιχεία που συνθέτουν βασικές έρευνες για ασύρματα

Απαιτήσεις και τεχνικές για το λογισμικό προσομοίωσης

δίκτυα, περιλαμβάνοντας τρία χαρακτηριστικά μοντέλα διάδοσης και δυο στοχαστικά μοντέλα φορητότητας. Και αυτό γραμμένο σε γλώσσα java.

OMNET++: Είναι ένα καλά σχεδιασμένος προσομοιωτής γραμμένος σε C++ και βασικά είναι ένας προσομοιωτής γενικού-σκοπού ικανός για να προσομοιώνει οποιοδήποτε σύστημα που συντίθεται από συσκευές που αλληλεπιδρούν η μια στην άλλη. Μπορεί φυσικά να ανταπεξέλθει και σε WSN δίκτυα. Χρησιμοποιείται για εκπαιδευτικούς σκοπούς.

SWANS: Δημιουργήθηκε στο πανεπιστήμιο του CORNELL , και αυτός είναι σε java κώδικα. Χρησιμοποιεί μια υψηλά αποδοτική μηχανή και έχει συγκριθεί με άλλους προσομοιωτές σε θέματα ποιότητας. Ο τρόπος που εκτελεί τις εφαρμογές που προσομοιώνονται είναι μοναδικός: ο χρόνος προσομοίωσης δεν είναι διαχειρίσιμος από ένα κοινό ρολόι. Αντιθέτως, κάθε οντότητα είναι υπεύθυνη για να προσδιορίσει το χρόνο που απαιτείται για την εκτέλεση του.

JANE: Δημιουργήθηκε στο πανεπιστήμιο του Τρίερ στη Γερμανία. Αποτελείται από την ένωση του περιβάλλοντος προσομοίωσης και μια πλατφόρμα εκτέλεσης. Το κύριο ενδιαφέρον του είναι να επιτρέπει στο κώδικα προσομοίωσης να μεταφέρεται στις πραγματικές συσκευές χωρίς ρυθμίσεις. Επίσης περιέχει ένα κώδικα εξομοίωσης που επιτρέπει στις πραγματικές συσκευές να συμμετέχουν στις προσομοιώσεις. Επιπροσθέτως, περιλαμβάνει υψηλού επιπέδου θέματα όπως θέματα υπηρεσιών και μηνυμάτων που ταιριάζουν στη προσομοίωση των υπηρεσιών επιπέδου-εφαρμογών, κάνει και χρήση GPS πληροφοριών, και αυτό είναι σημαντικό εργαλείο για προσομοίωση που βασίζεται σε υπηρεσίες που βασίζονται στη τοποθεσία των συσκευών. Και αυτό επίσης σε java.

Pdms: Δημιουργήθηκε στο πανεπιστήμιο της Καλιφόρνιας. Αυτού του είδους, παράλληλος/κατανεμημένος προσομοιωτής δικτύου στοχεύει στο να ξεπεράσει το όριο της κλιμάκωσης. Πιο συγκεκριμένα πετυχαίνει ένα αποδοτικό παραλληλισμό της επεξεργασίας της προσομοίωσης με το να δημιουργεί κάποια χαρακτηριστικά υπό-δίκτυα και να τα προσομοιώνει ξεχωριστά. Έτσι μπορεί να προσομοιώνει δίκτυα που αποτελούνται από εκατοντάδες ή και χιλιάδες κόμβους.

NAB: Είναι ένας προσομοιωτής διακριτών γεγονότων που δημιουργήθηκε στο πανεπιστήμιο της Λωζάννης. Αυτός είναι αφιερωμένος σε προσομοιώσεις WSN δικτύων. Με το να επικεντρώνεται στην κλιμάκωση και οπτικοποίηση και περιέχοντας ένα πολύ ρεαλιστικό μοντέλο φορητότητας, συναντά τις ανάγκες εφαρμογών αιχμής. Το NAB σαν ιδέα δημιουργήθηκε από την ανικανότητα να προσομοιωθούν μεγάλης κλίμακας ad-hoc δίκτυα με τα υπάρχοντα εργαλεία και κάποια ανυπομονησία σχετικά με το πώς θα αντιμετωπιστεί η πολυπλοκότητα τους. Η γλώσσα που υποστηρίζει αυτός ο προσομοιωτής είναι C++.

OPNET: Παρουσιάστηκε πρώτη φορά στο MIT το 1986 και είναι ένας προσομοιωτής και αυτός διακριτού-γεγονότος. Είναι το πιο εμπορικό λογισμικό προσομοίωσης. Περιέχει περιβάλλον που μας επιτρέπει να σχεδιάσουμε και να μελετήσουμε δίκτυα, συσκευές, πρωτόκολλα και εφαρμογές. Για αυτό, μια μακρά λίστα πρωτοκόλλων υποστηρίζεται. Συγκεκριμένα, τα MAC πρωτόκολλα που περιλαμβάνουν το IEEE802.11A/B/G/ και φυσικά και το BLUETOOTH. Ένα από τα πολλά σημαντικά αυτού του προγράμματος είναι η ικανότητα του να εκτελεί και να παρακολουθεί αρκετά σενάρια εφαρμογών. Επίσης και αυτό το λογισμικό είναι γραμμένο σε γλώσσα C++.

3.2.13 ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΤΗ

Οι προσομοιωτές WSN παρουσιάζουν διαφορετικά μοντέλα. Η επιλογή ενός προσομοιωτή θα πρέπει να καθοδηγείται από τις απαιτήσεις. Το να καθορίσουμε το επίπεδο της λεπτομέρειας που απαιτούμε είναι ένα κλειδί. Από την άλλη, αν η ασύρματη τεχνολογία δεν έχει αντίκτυπο στο στοχευόμενο πρωτόκολλο, προσομοιωτές όπως ο NAB και JANE που παρουσιάζουν υψηλού επιπέδου αφηρημένες έννοιες που είναι πιο κατάλληλες.

Ένας άλλος παράγοντας επιλογής του κατάλληλου προσομοιωτή είναι και ο αριθμός των κόμβων. Πολλοί προσομοιωτές δε μπορούν να ανταπεξέλθουν σε δίκτυα με πάνω από 1000 κόμβους. Αν χρειαστεί μεγαλύτερη κλίμακα, τότε οι παράλληλοι προσομοιωτές είναι η καλύτερη επιλογή.

Απαιτήσεις και τεχνικές για το λογισμικό προσομοίωσης

Τελικά, οι πιο πολλοί όχι τόσο εμπορικοί προσομοιωτές πάσχουν από έλλειψη καλής υποστήριξης και εγγράφων που να μας βοηθούν στη διεξαγωγή μιας προσομοίωσης. Άρα ένας εμπορικός θα μας λύσει το πρόβλημα. Ακόμα οι εμπορικοί προσομοιωτές συνήθως περιέχουν εκτεταμένη λίστα από πρωτόκολλα που υποστηρίζονται, ενώ λύσεις ανοικτού κώδικα δίνουν μεγαλύτερη ευελιξία.

3.2.14 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΤΗ

Έχουν οριστεί κάποια κριτήρια για να μπορούμε να εκτιμήσουμε και να συγκρίνουμε τους επιλεγμένους προσομοιωτές που έχουμε στη διάθεση μας.

Τα κριτήρια αυτά είναι:

1) Το επίπεδο των λεπτομερειών(level of details): Υπάρχουν 3 τύποι προσομοιωτών. Ο πρώτος τύπος είναι ένας γενικός προσομοιωτής ο οποίος επικεντρώνεται στα υψηλής σημασίας θέματα ενός WSN όπως τη δικτύωση, την επεξεργασία των δεδομένων ενόσω γίνεται κάποιος χειρισμός του συστήματος(**OS=operating system**) και την αρχιτεκτονική του hardware των κόμβων που δεν υπολογίζονται. Αυτός ο τύπος του προσομοιωτή είναι χρήσιμος για την εκτίμηση των πρωτοκόλλων υψηλού επιπέδου και αλγορίθμων.

Ο δεύτερος τύπος είναι ο προσομοιωτής επιπέδου κώδικα(**code level simulator**) που χρησιμοποιεί τον ίδιο κώδικα προσομοίωσης όπως και ένας αληθινός κόμβος. Ο κώδικας εφαρμογής και ο κώδικας OS ελέγχεται από τη μηχανή που τρέχει τον προσομοιωτή όσο η αρχιτεκτονική του hardware των κόμβων δεν λαμβάνεται υπόψη. Αυτοί οι προσομοιωτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εντοπιστούν λάθη που δε σχετίζονται με το χρονισμό ή την αρχιτεκτονική του hardware.

Ο τρίτος τύπος είναι ένας **firmware level simulator** ο οποίος χρησιμοποιεί εξομοίωση hardware για να εκτελέσει εφαρμογές και κώδικα OS .

2)Timing: Σε προσομοιωτές διακριτών γεγονότων, τα γεγονότα που επηρεάζουν τη κατάσταση του συστήματος είναι χρονολογικά τοποθετημένα σε μια σειρά γεγονότων και ο χειριστής γεγονότων τα εκτελεί ένα-ένα.

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ WSN

3)Software license: Ένας προσομοιωτής μπορεί να έχει και τις 3 λειτουργίες ή μια από αυτές.

4)Popularity: Ο αριθμός των αναφορών του προσομοιωτή στο GOOGLE με την επωνυμία Wireless Sensor Network<simulator name>.

5)Simulator platform: Το σύστημα λειτουργίας που τρέχει τον εκάστοτε προσομοιωτή.

6)WSN platforms: Πλατφόρμες κόμβων-αισθητήρων που μπορεί να προσομοιωθούν.

7)Graphical User Interface(GUI): Είναι διαθέσιμα και πόσο χρήσιμα είναι?

8)Available models and protocols: Είναι επεξεργασμένα ξεχωριστά για κάθε επίπεδο ή τμήμα του WSN, φυσικό επίπεδο-MAC επίπεδο-επίπεδο δικτύου-μεταφοράς.

9)Energy consumption model: Είναι διαθέσιμο και τι επίπεδο λεπτομερειών έχει?

Για να δώσουμε ένα παράδειγμα εκτίμησης ενός προσομοιωτή θα συγκρίνουμε τέσσερις προσομοιωτές τον **NS-2**, τον **CASTALIA**, τον **TOSSIM** και τον **COOJA**.

Ας αναφερθούμε στο πρώτο, είναι ο πιο διαδεδομένος προσομοιωτής WSN, είναι ένας γενικός προσομοιωτής και υποστηρίζει επίσης κινητά ασύρματα δίκτυα AD-HOC και είναι διακριτών γεγονότων. Είναι γραμμένος σε C++. Υπάρχει η δυνατότητα αλλαγών των ρυθμίσεων όπως η τοπολογία του δικτύου, τα σενάρια δρομολόγησης αλλά και σενάρια που σχετίζονται με το φυσικό επίπεδο. Επίσης η κίνηση των κόμβων και η κίνηση της πληροφορίας μέσα στο δίκτυο και αυτά μπορούν να ρυθμιστούν.

Ένα πολύ απλό μοντέλο κατανάλωσης ενέργειας χρησιμοποιείται εδώ. Κάθε κόμβος ξεκινά με ένα δεδομένο ποσό ενέργειας και ανάλογα και το κόστος σε ενέργεια που δαπανάται σε κάθε εκπομπή πακέτου έχουν επίσης οριστεί εκ των προτέρων. Τέλος, όταν μηδενιστεί η ενέργεια του κόμβου, ο κόμβος δε μπορεί πλέον να δεχτεί ή να αποστείλει πακέτα δεδομένων.

Απαιτήσεις και τεχνικές για το λογισμικό προσομοίωσης

Επίσης διαθέτει γραφική απεικόνιση της ροής της προσομοίωσης. Κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης αποθηκεύονται κάποια αρχεία τα οποία χρησιμοποιούνται για τη γραφική απεικόνιση της τοπολογίας του δικτύου και τη ροή της πληροφορίας.

Εν ολίγοις ο συγκεκριμένος προσομοιωτής έχει κάποια μειονεκτήματα. Πρώτον, δεν έχει μοντέλο εντοπισμού (sensing model) και τα πρωτόκολλα MAC είναι διαφορετικά σε σχέση με τις κλασσικές πλατφόρμες WSN και τρίτον το ενεργειακό μοντέλο είναι πολύ απλό.

Στη περίπτωση του **CASTALIA**, είναι ένας προσομοιωτής βασισμένος στο OMNET++, το οποίο OMNET περιλαμβάνει κάποια στοιχεία που ονομάζονται modules τα οποία είναι ανεπτυγμένα σε C++. Αυτά επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω μηνυμάτων τα οποία στέλνονται μέσω συνδέσεων. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να οριστεί και η τοπολογία ενός δικτύου που εξετάζεται.

Ας επιστρέψουμε στο CASTALIA, που είναι ένας γενικός προσομοιωτής ο οποίος μπορεί να εκτιμήσει υψηλού επιπέδου αλγόριθμους πριν μετακινηθεί σε μια συγκεκριμένη πλατφόρμα αισθητήρα. Στο CASTALIA, οι κόμβοι- αισθητήρες μπορούν να εφαρμόζονται ως σύνθεση των modules. Για παράδειγμα σύνθεση των επιπέδων εφαρμογής και τα modules των κόμβων που συνδέονται στο ασύρματο κανάλι.

Το module του φυσικού επιπέδου μοντελοποιεί ένα γενικά χαμηλά ενεργειακό επίπεδο ράδιο- μετάδοσης. Υποστηρίζει διάφορες καταστάσεις με διαφορετικές ενεργειακές καταναλώσεις, πολλαπλά επίπεδα ενέργειας μετάδοσης ελέγχου του φέροντος και των διαμορφώσεων όπως PSK και FSK. Για αυτό το λόγο κιόλας χρησιμοποιεί 2 μοντέλα MAC αλγορίθμων.

Όσον αφορά τον **TOSSIM**, χρησιμοποιεί βιβλιοθήκες software και μέσω ενός ερμηνευτή που μπορεί να χρησιμοποιηθεί μπορούμε να αντλήσουμε αντίστοιχα από τη βιβλιοθήκη στοιχεία για να ορίσουμε τη τοπολογία του δικτύου και να τρέξουμε τη προσομοίωση. Το μεγάλο θετικό του συγκεκριμένου προσομοιωτή είναι ότι μπορούμε να εισάγουμε μοντέλα για την ανάλυση απωλειών μετάδοσης μεταξύ δύο κόμβων που επικοινωνούν και τη συμπεριφορά τους γενικότερα. Επίσης μπορούμε να παρατηρήσουμε το θόρυβο του συστήματος και να εξάγουμε ένα στατιστικό

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ WSN

μοντέλο από αυτό. Τότε θα μπορούμε να το χρησιμοποιήσουμε για προσομοίωση θορύβου του συστήματος και για τις διάφορες παρεμβολές που εμφανίζονται κατά καιρούς.

Τα αρνητικά αυτού του προσομοιωτή είναι ότι δεν παρουσιάζει κάποιο μοντέλο ενεργειακής κατανάλωσης και δεν υπάρχει αντίστοιχο manual για το χειρισμό του.

Τέλος για το **COOJA**, είναι ένας προσομοιωτής επιπέδου κώδικα για δίκτυα που αποτελούνται από κόμβους που χρησιμοποιούν OS που ονομάζεται **CONTIKI**. Κόμβοι με διαφορετικό hardware και software μπορούν να συνυπάρχουν μέσα στην ίδια προσομοίωση. Αυτό είναι και το μεγάλο θετικό του συγκεκριμένου προσομοιωτή. Αξίζει να σημειωθεί ότι χρησιμοποιεί γλώσσα JAVA και μέσω των διαφόρων interfaces –java μπορεί να γίνει compile οποιουδήποτε κώδικα.

Εν ολίγοις, ο COOJA μπορεί να προσομοιώσει κόμβους-αισθητήρες και στα τρία επίπεδα λεπτομερειών που αναφέραμε παραπάνω. Επιπλέον, κόμβοι που προσομοιώθηκαν σε διαφορετικά επίπεδα λεπτομερειών μπορούν να συνυπάρχουν και να αλληλεπιδρούν μεταξύ τους μέσα την ίδια προσομοίωση. Αυτό το πλεονέκτημα ονομάζεται **cross-level simulation** και είναι το θετικότερο χαρακτηριστικό του COOJA.

Παρακάτω βλέπουμε στο πίνακα **2.1** που συγκεντρώνει όλα τα χαρακτηριστικά που επιθυμούμε:

Απαιτήσεις και τεχνικές για το λογισμικό προσομοίωσης

| <i>Simulator</i> | | <i>ns-2</i> | <i>Castalia (based on OMNeT++)</i> | <i>TOSSIM</i> | <i>COOJA/MSPSim</i> |
|--------------------------------|------------------|--|---|----------------------------------|--|
| Level of details | | generic | generic | code level | all levels |
| Timing | | discrete event | discrete event | discrete event | discrete event |
| Software License | | GNU GPL | Academic Public License | BSD | BSD |
| Popularity | | 780000 | 11900 | 9810 | 3010 |
| Simulator platform | | FreeBSD, Linux, SunOS, Solaris, Windows (Cygwin) | Linux, Unix, Windows (Cygwin) | Linux, Windows (Cygwin) | Linux |
| WSN platforms | | n/a | n/a | MicaZ | Imote Sky, ESB/2 |
| GUI support | | monitoring of simulation flow | monitoring of simulation flow, C++ development, topology definition, result analysis and visualization | none | yes |
| Available models and protocols | wireless channel | free space, two-ray ground reflection, shadowing | lognormal shadowing, experimentally measured path loss map, packet reception rates map, temporal variation, unit disk | lognormal shadowing | multi-path ray-tracing with support for attenuating obstacles, unit disk |
| | PHY | Lucent WaveLan DSSS | CC1100, CC2420 | CC2420 | no data |
| | MAC | 802.11 (several implementations), preamble based TDMA (still at a preliminary stage) | TMAC, SMAC, Tunable MAC (can approximate BMAC, LPL, etc) | standard TinyOS 2.0 CC2420 stack | X-MAC, LPP, NULLMAC |
| | network | DSDV, DSR, TORA, AODV | Simple Tree, Multi-path Rings | no data | no data |
| | transport | UDP, TCP | none | no data | no data |
| | sensing | random process with Mannasim add-on | generic moving time-varying physical process | no data | no data |
| Energy consumption model | | yes | yes | with PowerTOSSIM z add-on | yes |

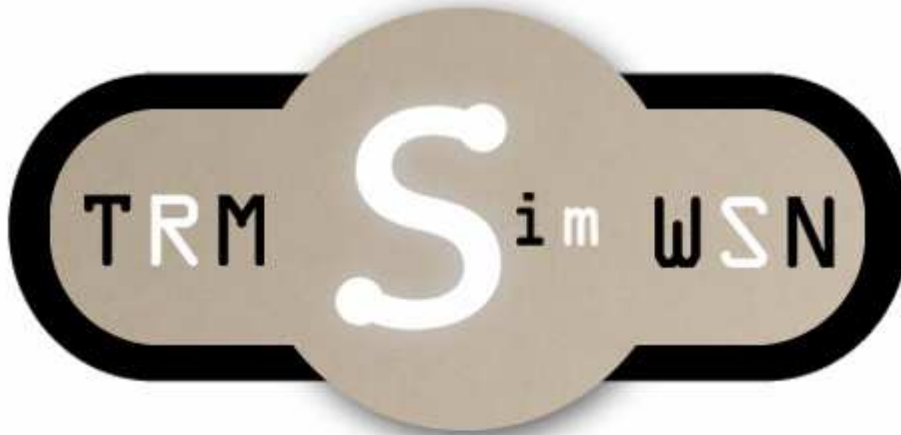
(Πίνακας 2.1)

(Παραπάνω βλέπουμε συγκεντρωμένα τα χαρακτηριστικά που διέπουν τον κάθε ένα από τους τέσσερις προσομοιωτές που αναφέραμε ώστε να κρίνουμε ποιόν θα επιλέξουμε για την εκάστοτε εφαρμογή που επιθυμούμε να προσομοιώσουμε.)

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ WSN

3.3 Περιγραφή και προσομοίωση του BTRM μοντέλου μέσω του TRM Sim

3.3.1 Παρουσίαση του προσομοιωτή BTRM Simulator



TRMSIM-WSN, TRUST AND REPUTATION MODELS SIMULATOR FOR WIRELESS SENSOR NETWORKS

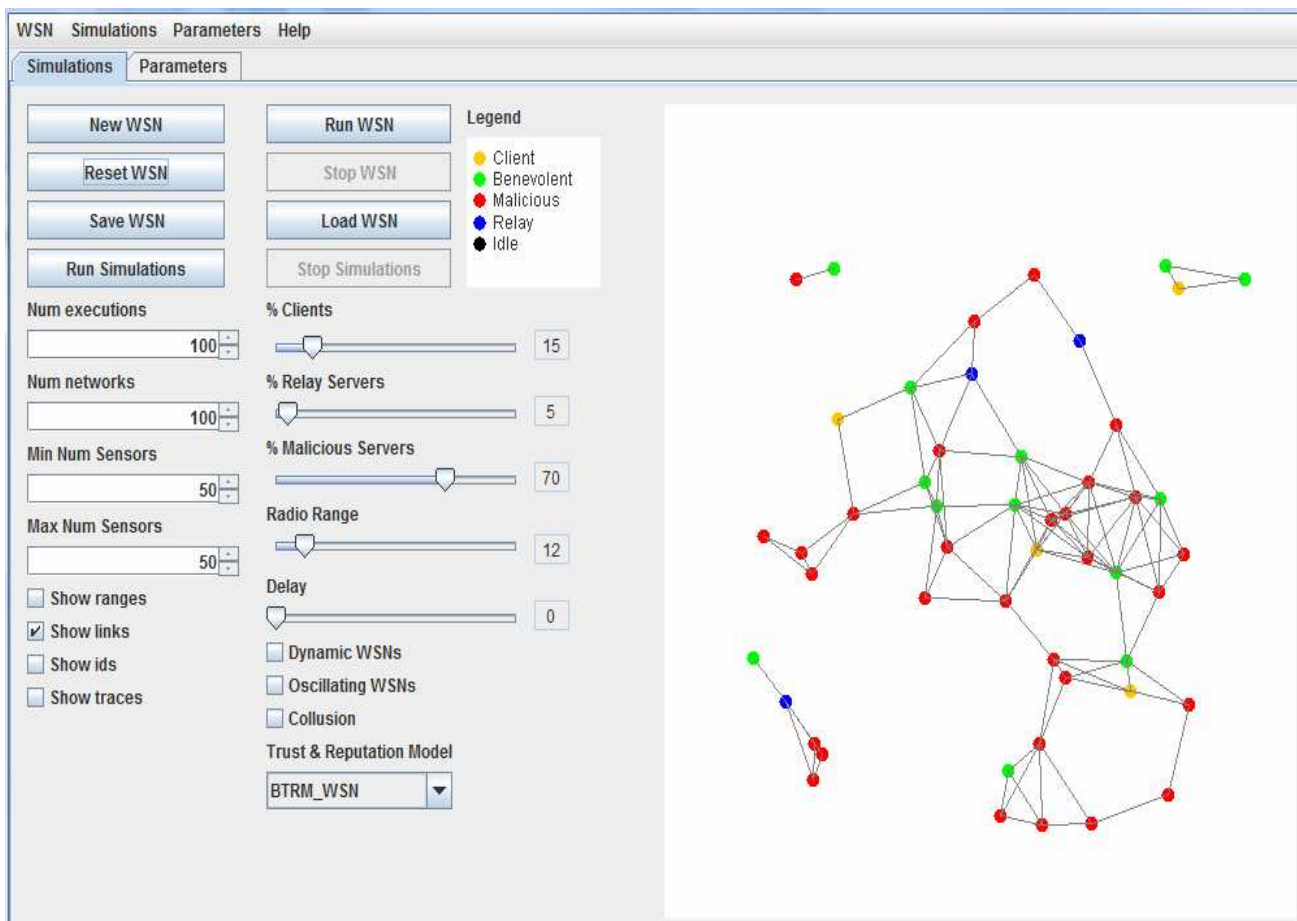
Ο TRM προσομοιωτής είναι βασισμένος σε java και στόχο έχει να τεστάρει τα λεγόμενα μοντέλα «εμπιστοσύνης και φήμης» για WSN δίκτυα. Προσφέρει αρκετά τέτοια μοντέλα ενώ νέα μπορούν να προστεθούν εύκολα.

Μας επιτρέπει να τεστάρουμε και να συγκρίνουμε αυτά τα μοντέλα ανάμεσα στη μεγάλη γκάμα των WSN δικτύων. Έτσι μπορούμε να αποφασίσουμε πότε θέλουμε στατικά ή δυναμικά δίκτυα, το ποσοστό των κόμβων, το ποσοστό των κόμβων που λειτουργούν είτε σαν εξυπηρετητές είτε σαν πελάτες.

Περιγραφή και προσομοίωση του BTRM μοντέλου μέσω του TRMSim

Περιγραφή και προσομοίωση του BTRM μοντέλου μέσω του TRMSim

Έχει σχεδιαστεί για να υιοθετεί εύκολα και να ολοκληρώνει ένα νέο μοντέλο μέσω της προσομοίωσης.(σχήμα 3.1, παρακάτω)



Σχήμα 3.1

Πολλοί προσομοιωτές δικτύων έχουν δημιουργηθεί με σκοπό να τεστάρουν νέα πρωτόκολλα επικοινωνιών και να ελέγχουν την ορθότητά τους και την ακρίβεια τους.

Ωστόσο, αν και ο αριθμός αυτών των προσομοιωτών είναι συνεχώς αυξανόμενος, υπάρχει κάποια έλλειψη σε προσομοιωτές «φήμης και εμπιστοσύνης» για κατακεμημένα δίκτυα. Ένα από τα λίγα αυτά προγράμματα είναι και το **TOSSIM**. Δημιουργήθηκε ώστε να μπορεί να διαμορφώνεται εύκολα, χωρίς να απαιτεί υπερβολικό φορτίο μνήμης και χρόνου. Με σκοπό να προσομοιωθεί η συμπεριφορά

του δικτύου σχετικά με την εμπιστοσύνη, δημιουργήθηκαν 4 μοντέλα από ανεπιθύμητους κόμβους ώστε να προκαλέσουν όχι ασφαλή αρχεία.

Τελικά, ο TRM είναι ο πιο έγκυρος προσομοιωτής σχετικά με το θέμα της ασφάλειας των κόμβων που μεταφέρουν την πληροφορία μας.

Κάθε μοντέλο «εμπιστοσύνης και φήμης» έχει το δικά του χαρακτηριστικά και τις ιδιομορφίες του. Ωστόσο τα περισσότερα από αυτά χρησιμοποιούν το ίδιο αφηρημένο σχήμα για τη λειτουργία τους.

Το παρακάτω (σχήμα 3.2) μας δείχνει το διάγραμμα που ακολουθούν οι περισσότεροι προσομοιωτές αυτού του είδους.

Ειδικότερα:

ΣΧΗΜΑ 3.2



Περιγραφή και προσομοίωση του BTRM μοντέλου μέσω του TRMSim

Η πρώτη μέθοδος, **ΣΥΛΛΟΓΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ**, είναι υπεύθυνη στο να συλλέγει και να συγκεντρώνει τις απαραίτητες πληροφορίες από άλλους κόμβους μέσα στο δίκτυο, αν έχουμε να κάνουμε με ένα γνήσιο μοντέλο φήμης είτε αν έχουμε να κάνουμε με μοντέλο εμπιστοσύνης ή ακόμα και με το συνδυασμό τους όπου είναι η πιο συνηθισμένη περίπτωση.

Η πρώτη παράμετρος του είναι ο πελάτης ο οποίος απαιτεί την επιθυμητή υπηρεσία και επομένως χρειάζεται την εφαρμογή ενός μοντέλου φήμης και εμπιστοσύνης με σκοπό να βρει το πιο αξιόπιστο εξυπηρετητή που προσφέρει την υπηρεσία η οποία είναι η δεύτερη παράμετρος.

Η δεύτερη παράμετρος **ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΚΑΤΑΤΑΞΗ** δέχεται τις συγκεντρωμένες πληροφορίες από το προηγούμενο επίπεδο και βαθμολογώντας κάθε διαδρομή προς τον εξυπηρετητή επιστρέφει είτε μια συλλογή από αυτούς τους εξυπηρετητές ή δείχνει το μονοπάτι προς τον πιο αξιόπιστο εξυπηρετητή.

Η τρίτη παράμετρος αποκαλείται **ΕΚΤΕΛΕΣΗ-ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ**, λαμβάνει σαν παράμετρο το μονοπάτι που βρήκε προηγουμένως, και έτσι μπορεί βασικά να αιτήσεται για την επιθυμητή υπηρεσία στον εξυπηρετητή που είναι επιλεγμένος ως πιο αξιόπιστος. Έπειτα, ο εξυπηρετητής ανάλογα με το πόσο καλή είναι η επιλογή, θα παράσχει ακριβώς την ίδια υπηρεσία που ζητήθηκε πριν, τη χειρότερη ή την καλύτερη σε μερικές περιπτώσεις.

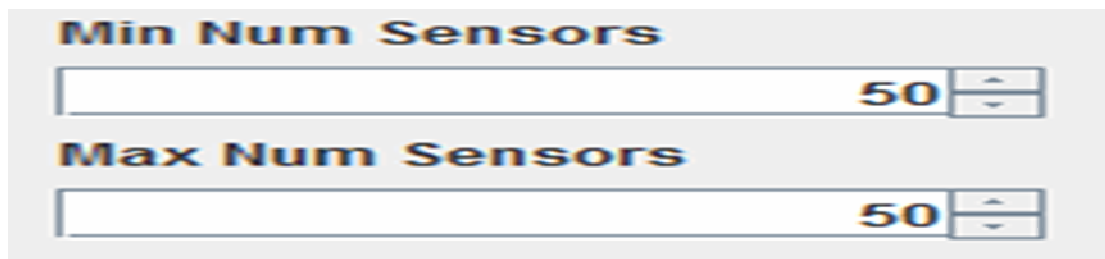
Στο τέλος, το τελευταίο επίπεδο είναι το επίπεδο **ΤΙΜΩΡΙΑ-ΑΝΤΑΜΟΙΒΗ**. Εδώ, ανάλογα με την ικανοποίηση του πελάτη θα επιλεγθεί μια από τις 2 επιλογές.

Τώρα ας παρουσιάσουμε, αναλυτικά τα στοιχεία που διέπουν αυτό το προσομοιωτή και πως μπορούμε να διεξάγουμε τις προσομοιώσεις που μας απασχολούν.

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ WSN

3.3.2 ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ ΔΙΚΤΥΟΥ

Το πρώτο βήμα που πρέπει να γίνει είναι να δημιουργήσουμε ένα νέο WSN δίκτυο. Για να το κάνουμε αυτό υπάρχουν δυο πεδία που μπορούμε να εισάγουμε το μέγιστο και το ελάχιστο αριθμό των αισθητήρων που θέλουμε να έχουν τα δίκτυα(η επιλογή φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (3.3)), όπως και η μπάρα που ρυθμίζει και την εμβέλεια του κάθε αισθητήρα(σχήμα 3.4 που ακολουθεί). Αυτοί οι τρεις παράμετροι καθορίζουν την ένταση των συνδέσεων του δικτύου.



Σχήμα 3.3

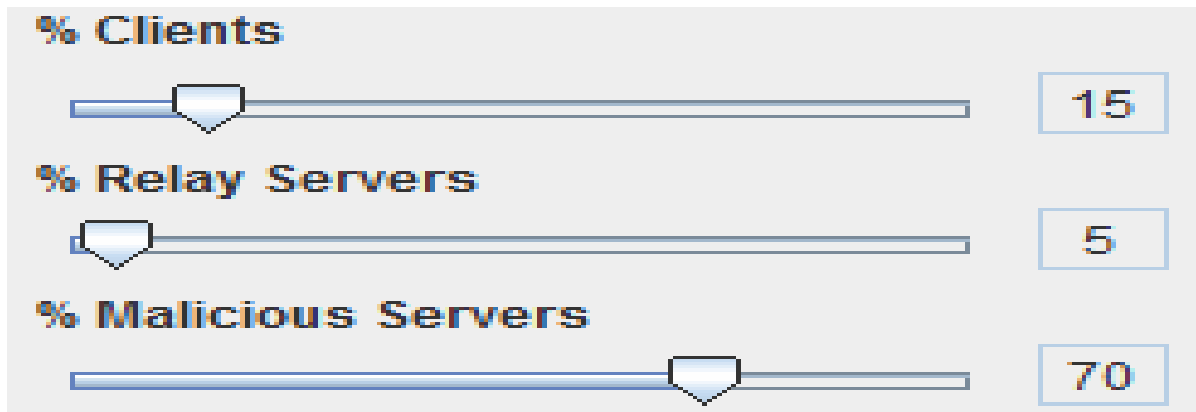


Σχήμα 3.4

Επιπροσθέτως μπορούμε να επιλέξουμε ποιο ποσοστό των κόμβων θέλουμε να λειτουργεί σαν «πελάτες» και τα υπόλοιπα σαν εξυπηρετητές. Μπορούμε να πούμε επίσης ποιο ποσοστό των εξυπηρετητών δε προσφέρουν τις επιθυμητές υπηρεσίες και ότι λειτουργούν σα κόμβοι αναμετάδοσης. Τελικά, σχετικά με τους εξυπηρετητές που βασικά προσφέρουν την επιθυμητή υπηρεσία είναι δυνατό να προσδιορίσουμε

Περιγραφή και προσομοίωση του BTRM μοντέλου μέσω του TRMSim

το ποσοστό αυτών που θα είναι οι ανεπιθύμητοι, δηλαδή, αυτοί οι οποίοι δε παρέχουν καμία επιθυμητή υπηρεσία.(παρακάτω, σχήμα 3.5)



| Parameter | Value |
|---------------------|-------|
| % Clients | 15 |
| % Relay Servers | 5 |
| % Malicious Servers | 70 |

Σχήμα 3.5

Αφού έχουμε θέσει όλες τις παραμέτρους σχετικά με τις ανάγκες μας, ένα νέο τυχαίο WSN δίκτυο μπορεί να δημιουργηθεί απλά πατώντας την επιλογή **“NEW WSN”** .



Είναι επίσης δυνατό να φορτώσουμε ένα WSN δίκτυο από ένα XML φάκελο πατώντας την επιλογή **“LOAD WSN”** .



Και να το σώσουμε με την επιλογή **“SAVE WSN”**.

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ WSN

A rectangular button with a thin black border and a light gray background, containing the text "Save WSN" in a blue, sans-serif font.

Αν θέλουμε να εκτιμήσουμε το WSN δίκτυο που ήδη έχουμε αλλά με διαφορετικές συνδέσεις μπορούμε να αλλάξουμε τις παραμέτρους με το να πατήσουμε την επιλογή "RESET WSN".

A rectangular button with a thin black border and a light gray background, containing the text "Reset WSN" in a blue, sans-serif font.

3.3.3 ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Το επόμενο πράγμα που πρέπει να διαμορφώσουμε είναι οι ρυθμίσεις προσομοίωσης.

Πρώτα θα πρέπει να προσδιορίσουμε τον **αριθμό των εκτελέσεων** που επιθυμούμε για τις προσομοιώσεις μας, **είναι ο αριθμός των προσπαθειών που κάθε πελάτης στο δίκτυο θα αιτηθεί για την υπηρεσία που επιθυμεί, κάνοντας χρήση του επιλεγμένου μοντέλου**. Μπορούμε να ορίσουμε τον αριθμό των διαφορετικών WSN'S ανάλογα με τις ρυθμίσεις που περιγράφηκαν προηγουμένως.

Περιγραφή και προσομοίωση του BTRM μοντέλου μέσω του TRMSim

Num executions

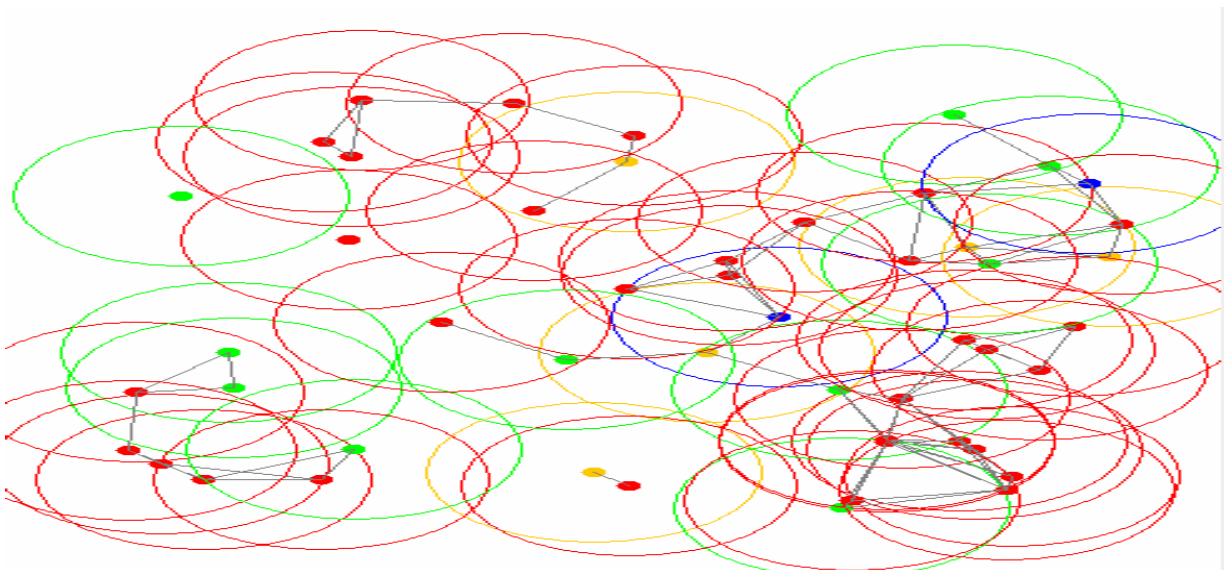
Num networks

Μπορούμε να πάρουμε κάποιες αποφάσεις σχετικά με τη γραφική παρουσίαση των δικτύων που τεστάρουμε στη προσομοιώσεις.

Για παράδειγμα, μπορούμε να αποφασίσουμε πότε θέλουμε να είναι ορατές οι εμβέλεις ή όχι. **(σχήμα 3.6, παρακάτω)**

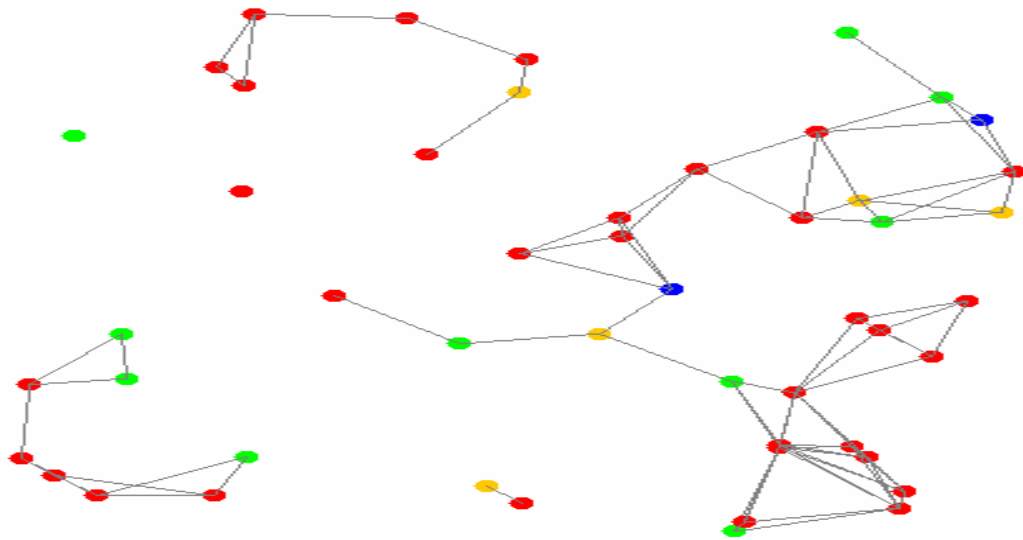
Ή μπορούμε να αποφασίσουμε εάν θέλουμε ορατές ή όχι τις συνδέσεις. **(Σχήμα 3.7,σελ.57)**

ΣΧΗΜΑ 3.6



ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ WSN

ΣΧΗΜΑ 3.7



Το TRMSim χρησιμοποιεί 2 τύπους μοντέλων φήμης και εμπιστοσύνης, το **BTRM-WSN** και **PEERTRUST**. Ακόμα, το πάνελ των παραμέτρων μας επιτρέπει να θέσουμε χειροκίνητα κάθε παράμετρο ανάλογα με τις ανάγκες μας σε σχέση με το επιλεγμένο είδος μοντέλων που θέλουμε. Από τη στιγμή που κύρια χαρακτηριστικά των WSN δικτύων είναι η μπαταρία και η κατανάλωση ενέργειας, ένα δυναμικό WSN μπορεί να προσομοιωθεί, όπου κάποιοι κόμβοι-αισθητήρες πέφτουν σε μια κατάσταση αδράνειας και δε δέχονται κανένα αίτημα για μια χρονική περίοδο. Ένας αισθητήρας όταν είναι σε αυτή τη κατάσταση δε δέχεται και δε μεταδίδει κανένα μήνυμα ή πακέτο, μετά από κάποια προθεσμία ξυπνούν πάλι.

Αφού έχουμε οριστικοποιήσει όλες τις προηγούμενες παραμέτρους, είμαστε έτοιμοι να ξεκινήσουμε την προσομοίωση. Εάν θέλουμε να τρέξουμε μια

Περιγραφή και προσομοίωση του BTRM μοντέλου μέσω του TRMSim

προσομοίωση πατάμε την επιλογή “RUN WSN”. Το “STOP WSN” αντίστοιχα μας επιτρέπει να σταματήσουμε τη προσομοίωση.

Αλλιώς εάν θέλουμε να τρέξουμε μια προσομοίωση πάνω σε ένα δοσμένο αριθμό τυχαίων WSN δικτύων, τότε πρέπει να επιλέξουμε από το πάνελ το κουμπί “RUN SIMULATIONS” ή αν επιθυμούμε να την σταματήσουμε επιλέγουμε “STOP SIMULATIONS”.

A blue button with a gradient and a drop shadow, containing the text "Run Simulations" in a bold, sans-serif font.A grey button with a gradient and a drop shadow, containing the text "Stop Simulations" in a bold, sans-serif font.

Επίσης, μπορούμε να προσθέσουμε κάποια καθυστέρηση μεταξύ κάθε δικτύου που προσομοιώνεται, εάν θέλουμε να ελέγξουμε τη τοπολογία του κάθε δικτύου. Η μέγιστη τιμή ανταποκρίνεται σε ένα δευτερόλεπτο.

A slider control with the label "Delay" in bold. It features a blue triangular slider knob on the left side of a horizontal track.

3.3.4 ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΑΛΑΝΤΩΣΗΣ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΟΥΣΕΙΣ

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ WSN

Με σκοπό να τεστάρουμε την ακρίβεια του καθενός μοντέλου που χρησιμοποιούμε έχουμε συμπεριλάβει 2 απειλές για την ασφάλεια του προσομοιωτή μας. Ο πρώτος έχει να κάνει με τη συμπεριφορά ταλάντωσης των εξυπηρετητών που προσφέρουν τις υπηρεσίες που απαιτούνται.

Οι επιλογές εμφανίζονται παρακάτω:



Εάν γίνει αυτή η επιλογή μετά από κάθε 20 εκτελέσεις, κάθε εξυπηρετητής γίνεται ανεπιθύμητος . Μετά το ίδιο ποσοστό των προηγούμενων ανεπιθύμητων εξυπηρετητών επιλέγονται τυχαία να είναι τώρα αυτοί να είναι τώρα οι ανεπιθύμητοι.

Η δεύτερη απειλή για την ασφάλεια αποτελείται από τη πιθανότητα για τους ανεπιθύμητους εξυπηρετητές να προκαλέσουν μεταξύ τους κάποια συμπαιγνία . Με αυτό εννοούμε ότι κάθε ανεπιθύμητος αισθητήρας θα δώσει το μέγιστο ρυθμό για κάθε άλλο ανεπιθύμητο αισθητήρα, και τον ελάχιστο για κάθε άλλον όχι ανεπιθύμητο αισθητήρα.

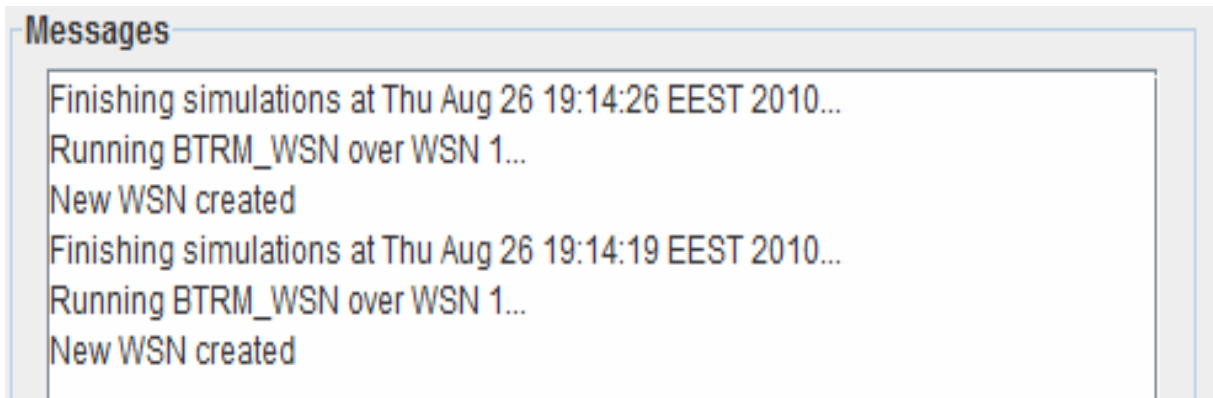
3.3.5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΗΝΥΜΑΤΑ

Τελικά, 2 πάνελ μας βοηθάνε να ξέρουμε τι γίνεται ενώ λειτουργεί η προσομοίωση, και ποια είναι τα αποτελέσματα της τελευταίας προσομοίωσης.

Στο πάνελ με τα μηνύματα για παράδειγμα, αρκετά μηνύματα εμφανίζονται που περιέχουν χρήσιμες πληροφορίες όπως το παράδειγμα της τελευταίας

Περιγραφή και προσομοίωση του BTRM μοντέλου μέσω του TRMSim

προσομοίωσης που ξεκίνησε και σταμάτησε, ή το προσωρινό WSN που τεστάρεται την τωρινή στιγμή. Επίσης, κάθε κίνηση όπως η δημιουργία ενός καινούριου WSN , η φόρτωση ή η αποθήκευση μιας από τις εμβέλεις, συνδέσεις είναι όλα διαφαινόμενα εδώ.

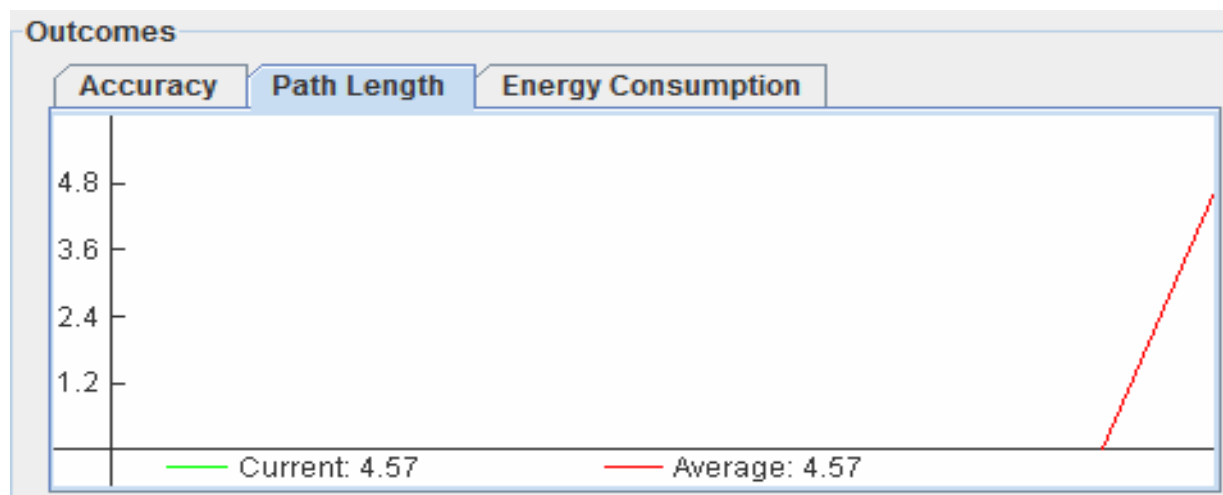
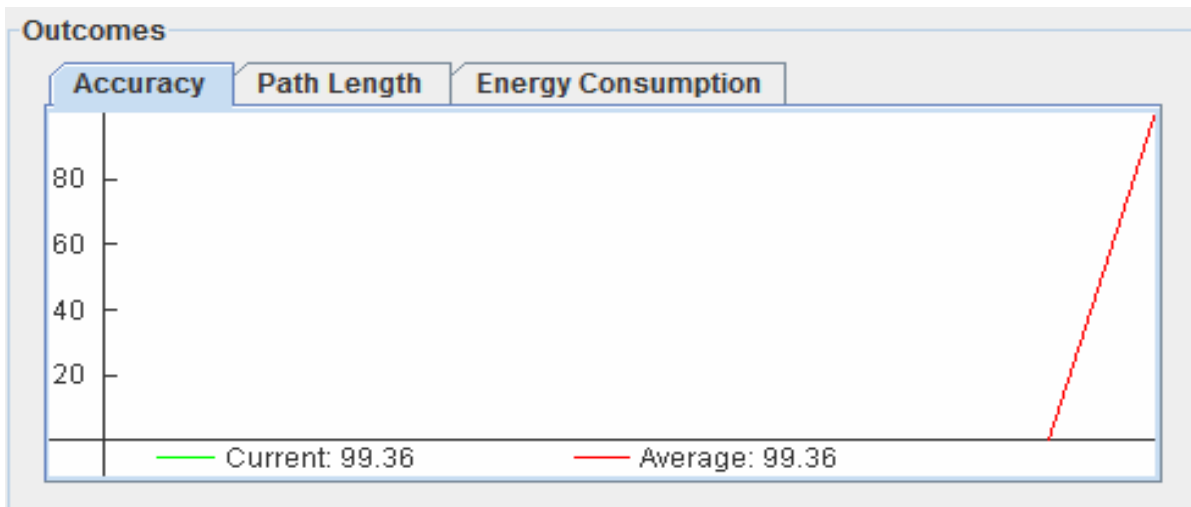


Από την άλλη μεριά το άλλο πάνελ μας δείχνει τα αποτελέσματα του τρέχοντος δικτύου που προσομοιώνεται ή ένα μέσο όρο των αποτελεσμάτων. Τρεις σημαντικές ποσότητες μπορούν να παρατηρηθούν εδώ, **η ακρίβεια του μοντέλου, το μέσο μήκος όλων των μονοπατιών που βρίσκονται από κάθε πελάτη από κάθε δίκτυο που προσομοιώνεται και η ενέργεια που καταναλώνεται** από το μοντέλο.

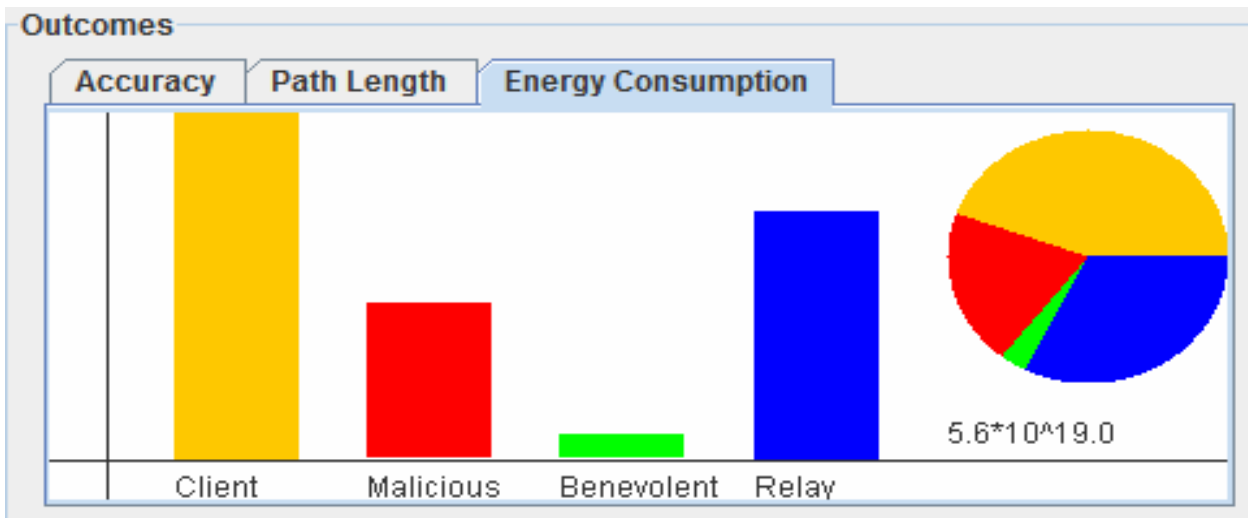
Αντίστοιχα γραφήματα που μας δείχνουν τις ποσότητες είναι αυτές που διαφαίνονται στην επόμενη σελίδα για ακρίβεια στην εύρεση του πιο αξιόπιστου εξυπηρετητή και στον αριθμό των μεταπηδήσεων που χρειάζονται για την εύρεση του(που στην ουσία μας δείχνει τη κατανάλωση ενέργειας).

Να τονίσουμε ότι σε κάθε γράφημα η ένδειξη με τη πράσινη γραμμή μας δείχνει τις επιδόσεις των «χρήσιμων» κόμβων και η ένδειξη με το κόκκινο χρώμα τις επιδόσεις των ανεπιθύμητων κόμβων, δηλαδή αυτών που δε μας παρέχουν την επιθυμητή υπηρεσία που θέλουμε για τη σωστή δρομολόγηση της πληροφορίας μας.

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ WSN



Περιγραφή και προσομοίωση του BTRM μοντέλου μέσω του TRMSim



Στο παράδειγμα που θα δώσουμε παρακάτω θα επικεντρωθούμε στο μοντέλο **BTRM (bio-inspired approach)**.

3.3.6 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΒΤRΜ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Το ΒΤRΜ είναι ένα μοντέλο που στοχεύει στο να βρει το καλύτερο μονοπάτι που οδηγεί στον πιο αξιόπιστο κόμβο που θα προσφέρει την επιθυμητή υπηρεσία.

Βασίζεται πάνω στον βίο-εμπνευσμένο αλγόριθμο ενός **συστήματος αποικίας μυρμηγκιών(ACS)**, ωστόσο, επειδή υπάρχουν κάποια όρια και περιορισμοί που θέτονται από τα WSN δίκτυα, δε μπορεί να εφαρμοστεί αυτή η θεωρία εντελώς άρα θα πρέπει να γίνουν κάποιες υποθέσεις.

Στο μοντέλο μας για παράδειγμα, κάθε κόμβος διατηρεί ένα ίχνος φερομόνης (**feromone trace**) για κάθε έναν από τους γείτονες του. Αυτά τα ίχνη που κυμαίνονται από 0 έως 1 θα καθορίσουν τη πιθανότητα του να διαλέξουν τα «μυρμηγκία» μια συγκεκριμένη διαδρομή ή κάποια εναλλακτική και μπορεί να ερμηνευτεί ως το επίπεδο εμπιστοσύνης που δείχνει ο ένας κόμβος προς τον άλλο. Η **αξία εύρεσης(heuristic values)** κυμαίνεται και αυτή από 0 έως 1 και είναι ορισμένη

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ WSN

ως η αναστροφή της καθυστέρησης εκπομπής μεταξύ δύο κόμβων(ή η αναστροφή της απόστασης μεταξύ τους). Το γεγονός ότι κάθε κόμβος ελέγχει τα δικά του ίχνη φερομόνης και τη ποσότητα εύρεσης και κανείς άλλος εκτός από αυτόν, αλλά επειδή μπορεί μόνο αυτός να τροποποιήσει τα παραπάνω, αυτό μπορεί να είναι μια απειλή για την ασφάλεια του δικτύου. Άλλο θέμα που προκαλεί την όχι απευθείας εφαρμογή του (ACS) είναι το γεγονός πώς ενώ ένα μυρμήγκι είναι σε αναζήτηση της επιθυμητής υπηρεσίας, μπορεί να συμβεί το εξής, μερικοί από τους κόμβους που σχηματίζουν το μονοπάτι που ακολουθεί το μυρμήγκι, να κάνουν το μονοπάτι απρόσιτο, είτε επειδή κάποιοι κόμβοι κλείνουν είτε επειδή ο προηγούμενος κόμβος που σχηματίζει το μονοπάτι είναι μακριά από τον επόμενο κόμβο που συνεχίζει να σχηματίζει το μονοπάτι. Σε αυτή τη περίπτωση, το μυρμήγκι θα είναι ανίκανο να γυρίσει πίσω στον client , και θα χαθεί. Με άλλα λόγια όταν ένας client στέλνει ένα σύνολο μυρμηγκιών, δεν έχει καμία εγγύηση ότι όλα θα γυρίσουν, και φυσικά δε μπορεί να περιμένει μέχρι να γυρίσουν όλα πίσω.

Παρακάτω παρουσιάζουμε και τον αντίστοιχο αλγόριθμο:

Algorithm 1 BTRM-WSN

```

1: while (condition) do
2:   for  $k = 1$  to Number_of_ants do
3:      $S_k \leftarrow$  initial sensor (client)
4:     Launch ant  $k$ 
5:
6:   do
7:     for every returned ant  $k$  do
8:       if ( $Q(S_k) > Q(Current\_Best)$ ) then
9:          $Current\_Best \leftarrow S_k$ 
10:  while (timeout does not expire) and
11:  Num_returned_ants < %Number_of_ants
12:
13:  if ( $Q(Current\_Best) > Q(Global\_Best)$ ) then
14:     $Global\_Best \leftarrow Current\_Best$ 
15:  Pheromone_global_updating
16:    ( $Global\_Best, Q(Global\_Best), \rho$ )
17:
18:  return  $Global\_Best$ 

```

Περιγραφή και προσομοίωση του BTRM μοντέλου μέσω του TRMSim

1)Κάθε μυρμήγκι προσθέτει τον πρώτο κόμβο στη λύση του που στην ουσία είναι ο client αυτός ο κόμβος. Έπειτα κάθε μυρμήγκι αποφασίζει σε ποιόν επόμενο κόμβο θα μετακινηθεί πάντα σε σχέση με τους κανόνες μετάβασης(**γραμμή 2-4**).

2)Όταν κάθε μυρμήγκι εγκαταλείπει τον client, τότε ο client περιμένει μέχρι να επιστρέψουν πίσω. Για κάθε μυρμήγκι που επιστρέφει συγκρίνει τις λύσεις που φέρει το καθένα και κρατάει τη καλύτερη.(**γραμμή 6-11**)

3)Η καλύτερη λύση που βρίσκεται, συγκρίνεται με γενικώς καλύτερη λύση(global best solution), και γίνεται δεκτή αν είναι η κατάλληλη.(**γραμμή 13-14**)

4) Μια οικουμενική ενημέρωση φερομόνης (**global feromone updating**) πραγματοποιείται πάνω από τις συνδέσεις που ανήκουν στην γενικώς καλύτερη λύση.(**γραμμή 16**)

PATH QUALITY

Κάθε φορά που ένα μυρμήγκι επιστρέφει στον client μεταφέροντας του τη λύση, ο client θα πρέπει να εκτιμήσει το πόσο καλή είναι αυτή. Συγκεκριμένα το μυρμήγκι κρατά μια λίστα με όλους τους αισθητήρες που ανήκουν στο επιλεγμένο μονοπάτι μαζί με τα ίχνη φερομόνης που φέρουν οι συνδέσεις αυτών.

Η παράμετρος που σχετίζεται με όλο αυτό ονομάζεται **PLF** και κυμαίνεται και αυτή από 0 έως 1.

Αξίζει να αναφέρουμε ότι η επιλογή του καλύτερου μονοπατιού σχετίζεται με το πόσο σύντομο είναι και το πόσες φορές έχει αυτό επιλεχθεί.

ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΤΩΝ ΜΥΡΜΗΓΚΙΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΠΑΥΣΗΣ

Όσο ένα μυρμήγκι ταξιδεύει διαμέσου του δικτύου ψάχνοντας για τη πιο αξιόπιστη διαδρομή που οδηγεί στον πιο αξιόπιστο εξυπηρετητή, θα πρέπει να αποφασίσει σε

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ WSN

ποιους από τους γειτονικούς του κόμβους θα μετακινηθεί. Κάθε μυρμήγκι επίσης θα πρέπει να ξέρει πότε να σταματήσει αμέσως μόλις βρει τον εξυπηρετητή που ψάχνει.

Όλα αυτά τα αναφέρουμε σκόπιμα για να σχετίσουμε κάποιες παραμέτρους που εισάγουμε:, όπως ο **Trath** η οποία παράμετρος μας δείχνει τη πιθανότητα να σταματήσει ο κόμβος όταν βρει τον αξιόπιστο εξυπηρετητή. Δηλαδή είναι το μέγιστο κατώφλι που δεν πρέπει να ξεπεράσει ο κόμβος για να μη κάνει περαιτέρω μεταβάσεις.

Άλλος παράγοντας είναι και ο αριθμός των μυρμηγκιών ο οποίος εξαρτάται από τον αριθμό των κόμβων.

Πρέπει να επισημάνουμε όμως ότι δεν είναι απαραίτητα καλό να υπάρχει μεγάλος αριθμός κόμβων που συνεπάγεται και μεγάλο αριθμό μυρμηγκιών γιατί μπορεί να μη είναι σε θέση το δίκτυο να ανταπεξέλθει σε τόσο μεγάλη κλιμάκωση.

PHEROMONE UPDATING

Όσο τα μυρμήγκια ταξιδεύουν στο δίκτυο ψάχνοντας τον καλύτερο εξυπηρετητή, τροποποιούν τα ίχνη φέρομόνης που βρίσκουν. Αυτή η μετατροπή βοηθάει τα επόμενα μυρμήγκια να αποφασίσουν πιο κομμάτι είναι το καταλληλότερο για να ακολουθήσουν. Συνεπώς, όσο υψηλότερο είναι το επίπεδο των ιχνών της φερομόνης, το επίπεδο της ποιότητας του μονοπατιού και η παράμετρος **p** που μας δείχνει την ενημέρωση της φερομόνης, τόσο περισσότερη είναι η επιπρόσθετη συνεισφορά φερομόνης πάνω στη βέλτιστη διαδρομή.

Εδώ συναντάμε και τη παράμετρο **IniTh**. Αν η παράμετρος αυτή είναι 0 τότε δεν υπάρχει καθόλου εμπιστοσύνη μεταξύ των κόμβων, ενώ αν συμβαίνει το αντίθετο τότε συμβαίνει το αντίστροφο, πράγμα που και στις δύο περιπτώσεις είναι ανεπιθύμητο γιατί οι κόμβοι που είναι ανεπιθύμητοι θα παρουσιάζονται σαν αξιόπιστοι εξυπηρετητές και το αντίστροφο. Τέλος εάν δε βρεθεί ο κατάλληλος εξυπηρετητής και ο client δεν είναι ικανοποιημένος, τότε τα ίχνη φερομόνης «εξατμίζονται» και το μονοπάτι διαγράφεται. Αυτή η απόφαση βρίσκεται μέσω ενός

Περιγραφή και προσομοίωση του BTRM μοντέλου μέσω του TRMSim

κατωφλίου **PunTh** και η διαδικασία αναζήτησης μονοπατιού επαναλαμβάνεται όπως φαίνεται και στο μηχανισμό **ΤΙΜΩΡΙΑΣ-ΑΝΤΑΜΟΙΒΗΣ** που αναφέραμε πολύ παραπάνω.

Παρακάτω φαίνεται ένας συγκεντρωτικός πίνακας(**πίνακας 2.1**) με όλες τις παραμέτρους που χαρακτηρίζουν τα BTRM.

Η παράμετρος **Niter** μας δείχνει τον αριθμό των μυρμηγκιών που επαναλαμβάνουν το συγκεκριμένο αλγόριθμο για την αναζήτηση του κατάλληλου εξυπηρετητή.

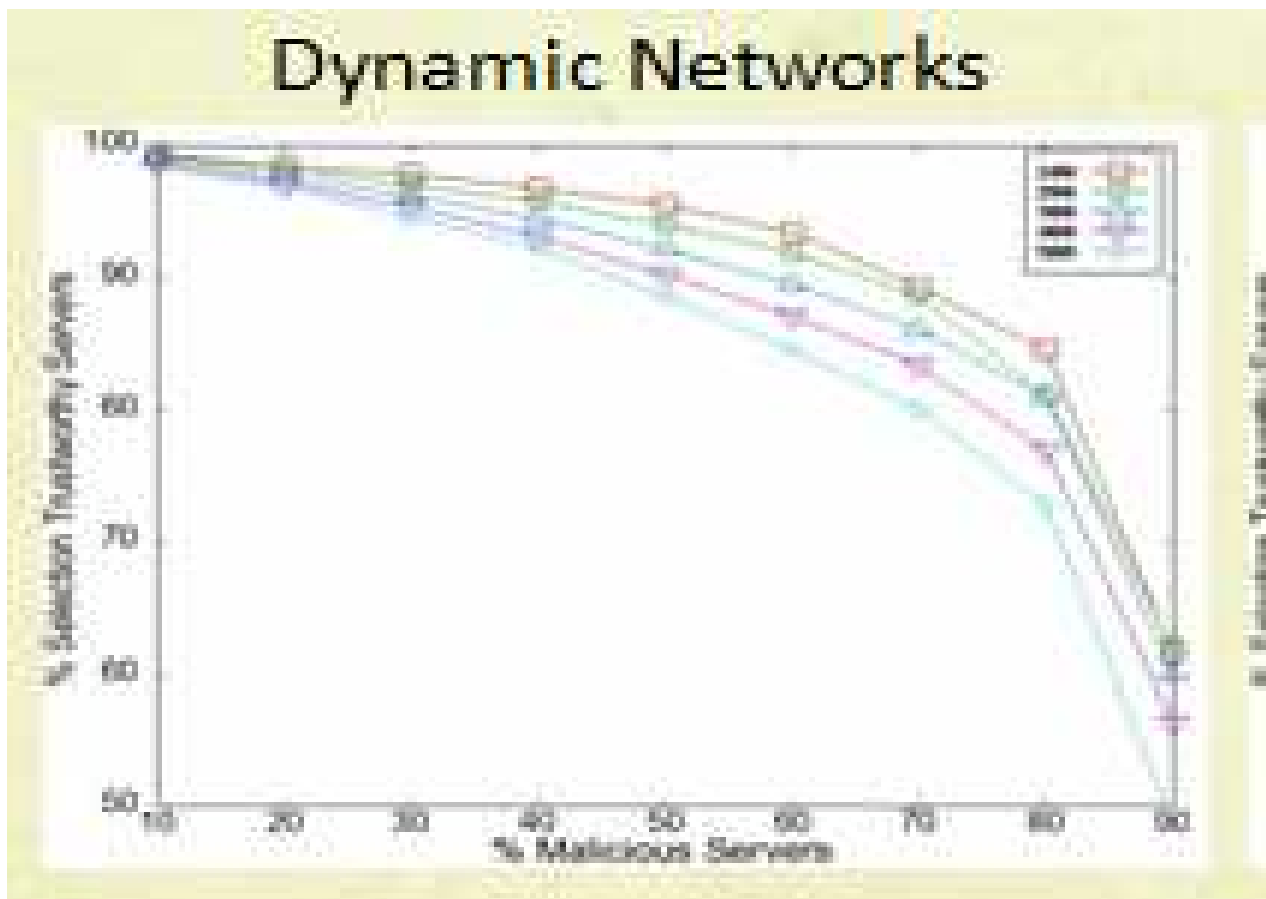
| Parameter name | Value | Range | Meaning |
|----------------|-------|-------|---|
| ϕ | 0.1 | [0,1] | Pheromone local updating and punish and reward parameter |
| ρ | 0.1 | [0,1] | Pheromone global updating parameter |
| α | 1.0 | [0,1] | Learning weight in the transition rule |
| β | 1.0 | [0,1] | Heuristic weight in the transition rule |
| N_{ants} | 0.35 | [0,1] | Exponent to determine the number of ants |
| N_{iter} | 0.35 | [0,1] | Exponent to determine the number of iterations |
| q_0 | 0.98 | [0,1] | Probability of choosing deterministically the most promising next node |
| $IniPh$ | 0.5 | [0,1] | Initial pheromone trace |
| $TraTh$ | 0.5 | [0,1] | Transition threshold, to determine if an ant must stop when it finds a node offering the requested service or not |
| $PunTh$ | 0.5 | [0,1] | Punishment threshold, to determine if an edge must be punished or not |
| PLF | 0.5 | [0,1] | Path length factor, to determine the importance of the length of a path when measuring its quality |

Πίνακας 2.1

Περιγραφή και προσομοίωση του BTRM μοντέλου μέσω του TRMSim

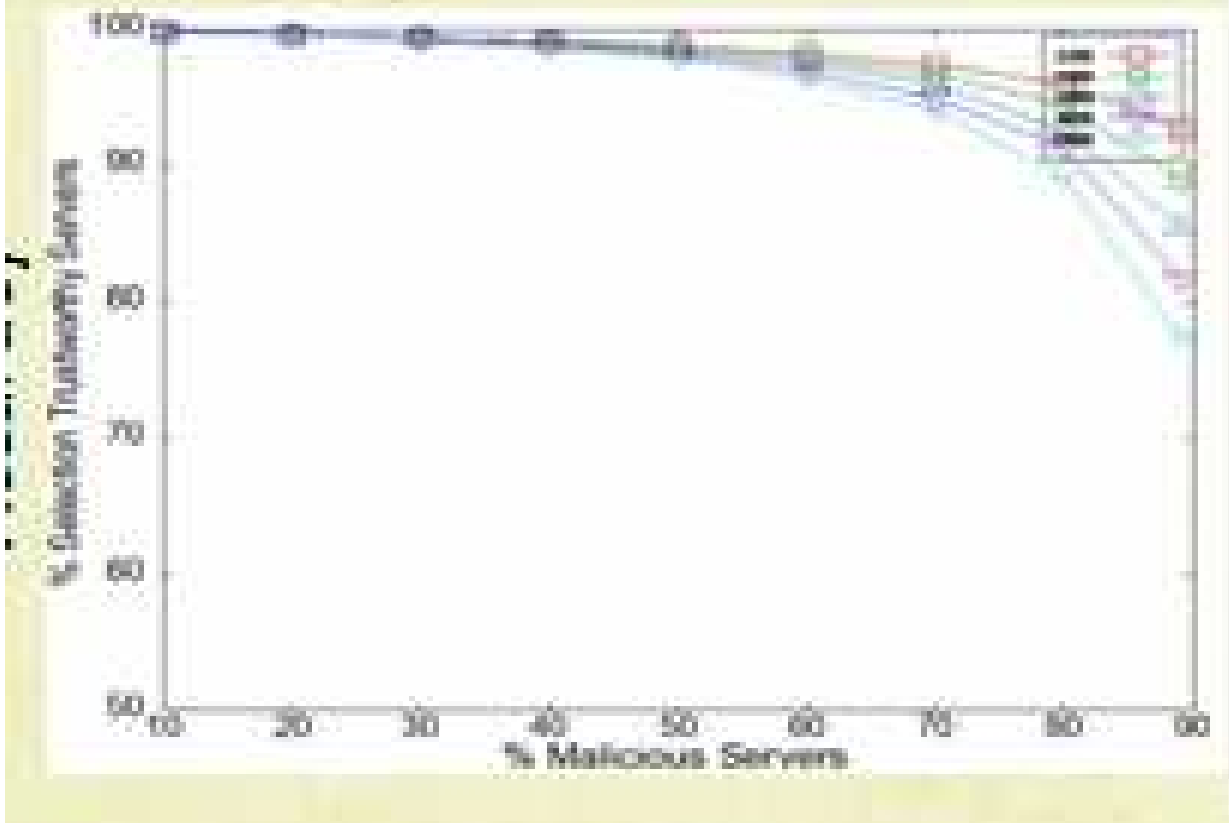
Στο παράδειγμα που θα ακολουθήσει θα επιλέξουμε να προσομοιώσουμε ένα δίκτυο WSN που θα είναι δυναμικό γιατί είναι η πιο κλασσική περίπτωση ενός WSN δικτύου όπου η τοπολογία συνεχώς αλλάζει από τη στιγμή που οι κόμβοι είναι κινητοί.

Από μελέτες που έχουν διεξαχθεί έχει παρατηρηθεί ότι όσο ανεβαίνει το ποσοστό των ανεπιθύμητων κόμβων-εξυπηρετητών πέφτει σχετικά και η ακρίβεια(**accuracy**) στο να βρεθεί ο πιο αξιόπιστος εξυπηρετητής λαμβάνοντας υπόψη και τον αριθμό των κόμβων που εμπλέκονται. Αξίζει να παρατηρήσουμε ότι αυτή η μείωση της ακρίβειας είναι υποφερτή σε σχέση με ένα στατικό δίκτυο. Όπως φαίνεται και στα παρακάτω σχήματα.



ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ WSN

Static Networks



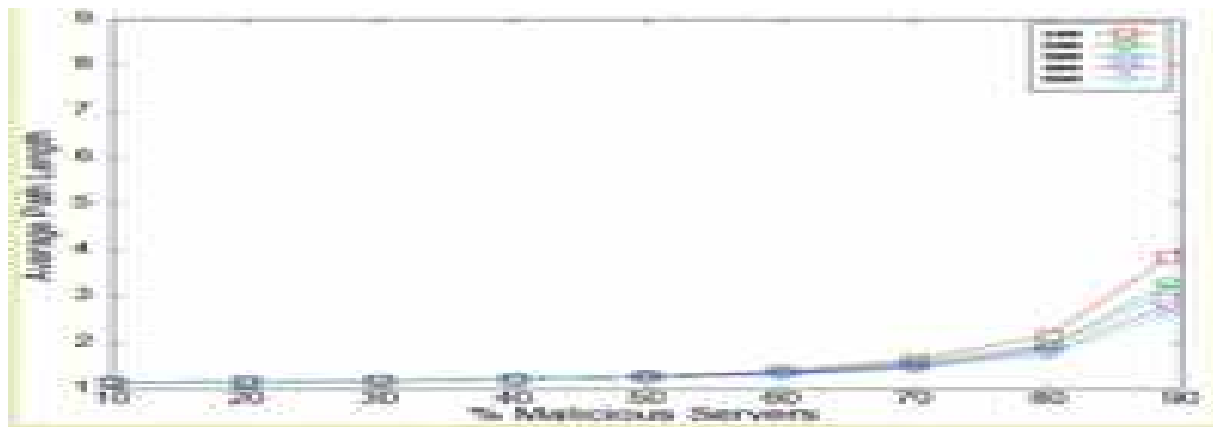
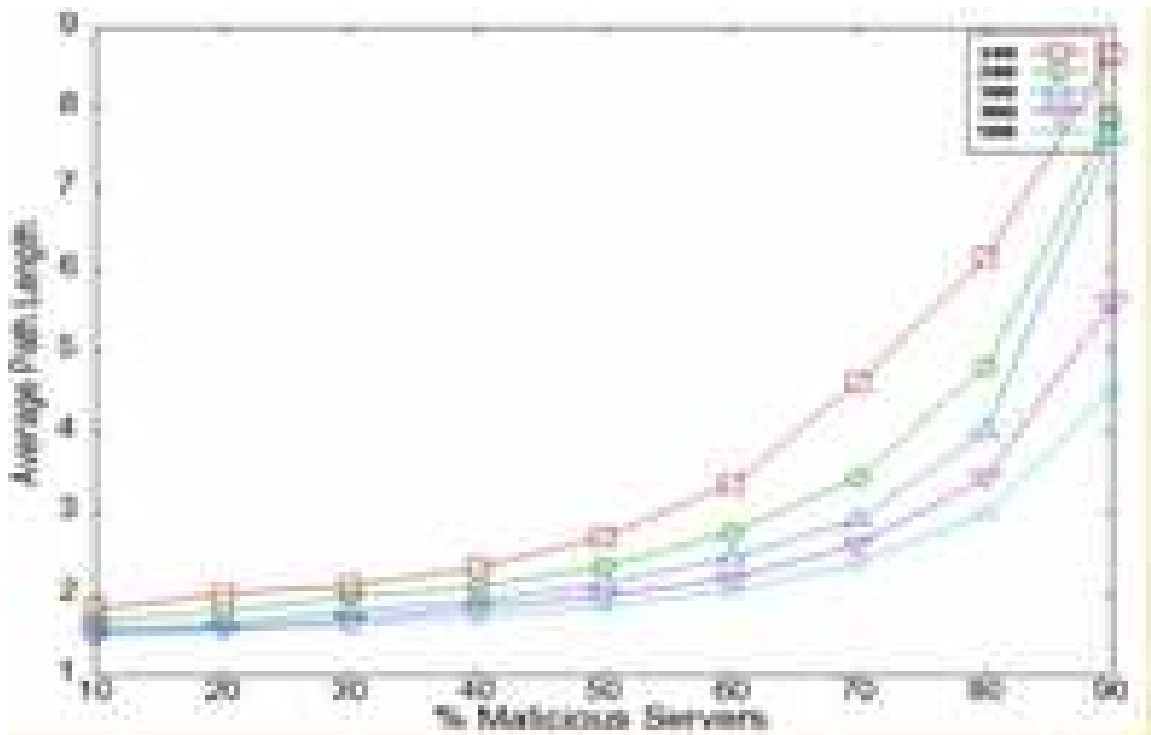
Τώρα σχετικά με το μέσο μήκος των μονοπατιών (**average path length**), συγκρίνοντας πάλι με ένα στατικό δίκτυο μπορεί να παρατηρηθεί ότι **όσο περισσότεροι κόμβοι υπάρχουν στο δίκτυο τόσο μικρότερο μήκος της διαδρομής χρειάζεται για να φτάσουμε στον επιθυμητό εξυπηρετητή μιλώντας πάντα για δυναμικά δίκτυα, ενώ στα στατικά δεν υπάρχει μεγάλη διαφορά του μήκους του μονοπατιού σε σχέση με τον αριθμό των κόμβων του δικτύου.**

Αυτό μας κάνει να καταλάβουμε πως σε ένα δυναμικό δίκτυο μπορούμε να επιτύχουμε μεγάλη κλιμάκωση.

Αυτή τη διαπίστωση μπορούμε να την εξάγουμε από τα παρακάτω γραφήματα

Περιγραφή και προσομοίωση του BTRM μοντέλου μέσω του TRMSim

που δανειστήκαμε από την βιβλιογραφία Felix Gomez Marmol (8).



ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ WSN

3.3.7 ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΝΩ ΣΕ ΣΤΑΤΙΚΑ WSNs

Το πρώτο σενάριο που θα τεστάρουμε βασίζεται σε ένα δίκτυο όπου οι κόμβοι είναι ακίνητοι, δε «κλείνουν» και διατηρούν προφανώς την ίδια τοπολογία.

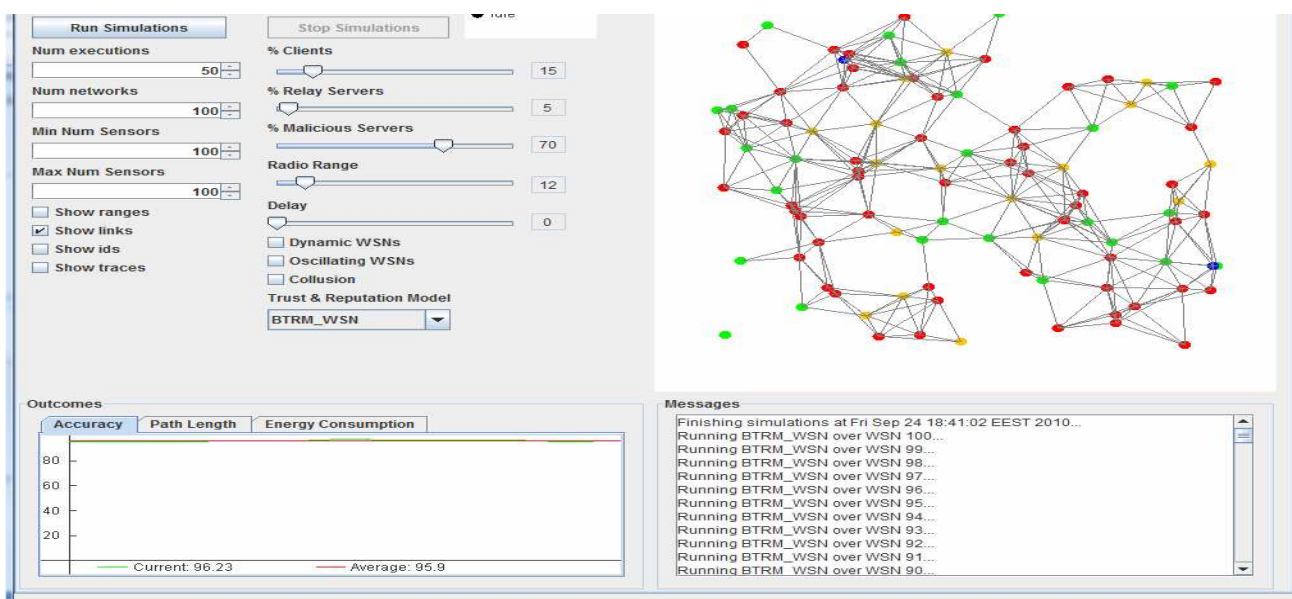
Έτσι ο πρώτος και κύριος στόχος μας είναι να εκτιμήσουμε το ποσοστό των αξιόπιστων εξυπηρετητών που επιτυγχάνεται με αυτό το μοντέλο.

Η πρώτη εκτίμηση που μπορεί να γίνει είναι η ομοιότητα αυτών των ποσοστών άσχετα με το μέγεθος του δικτύου, το οποίο ουσιαστικά μας δείχνει και την κλιμάκωση που προσφέρει το μοντέλο μας.

Άλλη εκτίμηση που μπορούμε να εξάγουμε είναι ότι το ποσοστό επιλογής των αξιόπιστων εξυπηρετητών είναι πολύ υψηλό(πάνω από 90%) όταν το ποσοστό των ανεπιθύμητων κόμβων είναι λιγότερο από 80%.

Τα παρακάτω συμπεράσματα τα εξάγαμε από τη παρακάτω προσομοίωση για μέγεθος δικτύου 100 κόμβων. **σχήμα 3.1** παρακάτω

Σχήμα 3.1

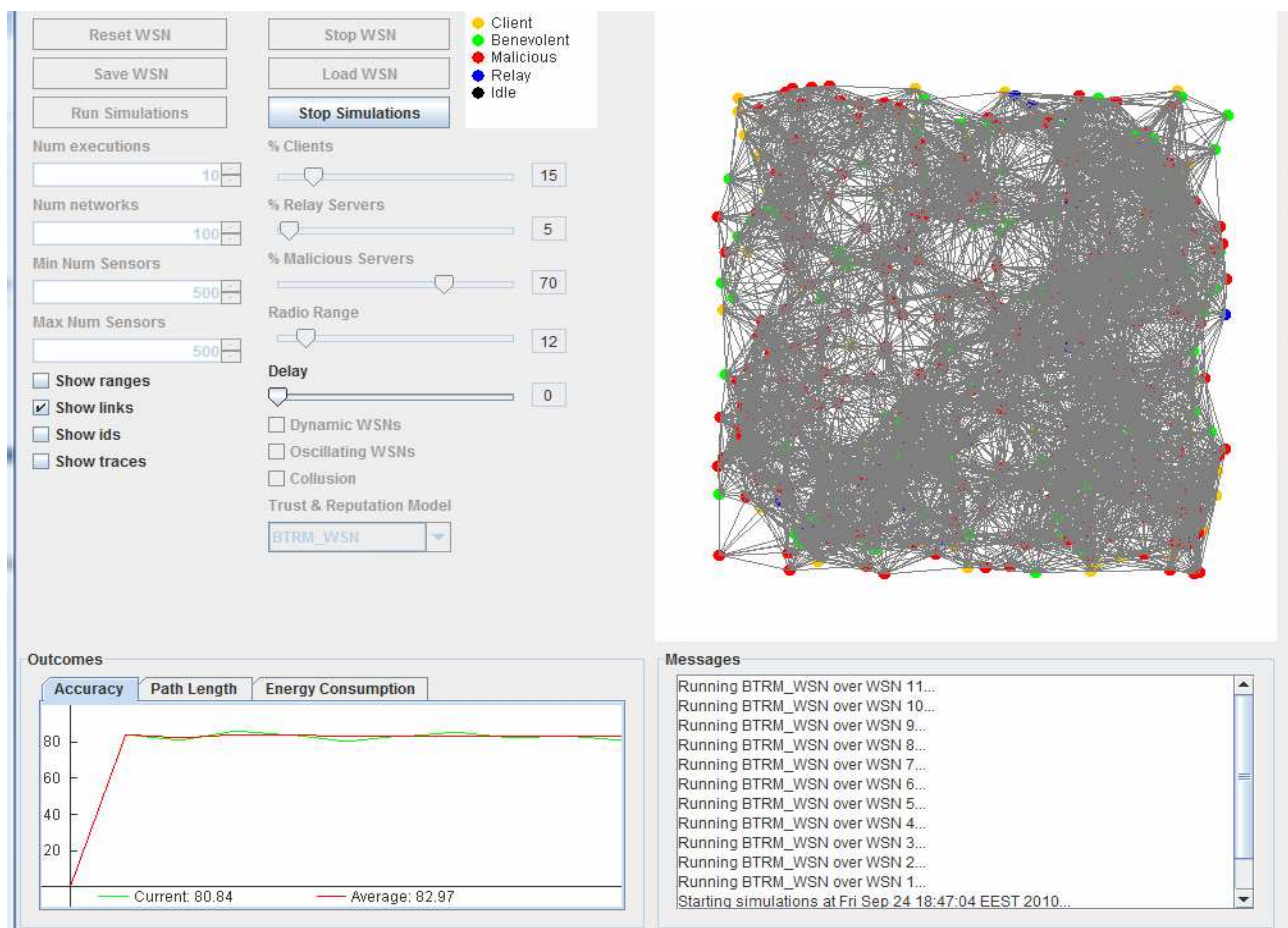


Accuracy=96.23

Περιγραφή και προσομοίωση του BTRM μοντέλου μέσω του TRMSim

Και αντίστοιχα για μέγεθος 500 έχουμε, (σχήμα 3.2 παρακάτω)

Σχήμα 3.2



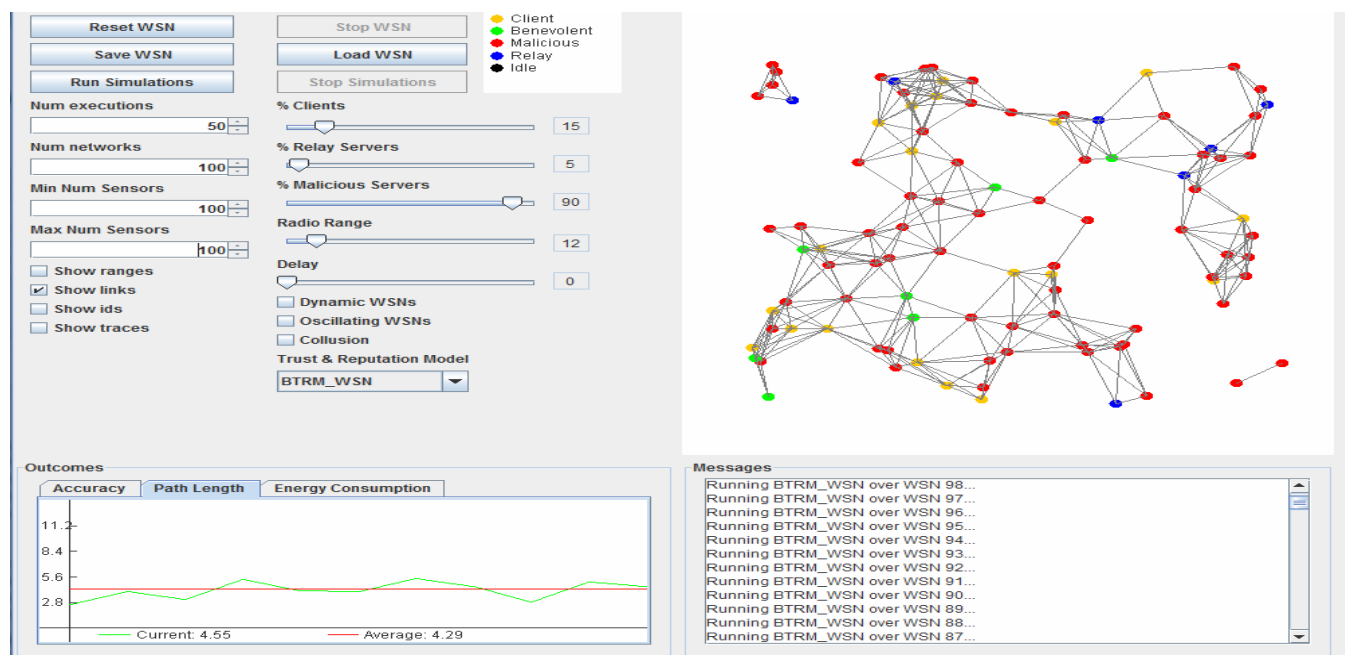
Accuracy=80,84%

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ WSN

Τα πειράματα μας πάνω σε στατικά δίκτυα μας δίνουν να καταλάβουμε ότι το μοντέλο BTRM παραμένει «ελαστικό» σε ένα υψηλό ποσοστό ανεπιθύμητων κόμβων της τάξεως του 90 τοις εκατό και η απόδοση του πέφτει αν ανέβει

παραπάνω αυτό το ποσοστό και το πρόβλημα εντείνεται όσο το μέγεθος του δικτύου μεγαλώνει ταυτόχρονα. Ένα άλλο μέγεθος που μας ενδιαφέρει να αναλύσουμε σε δίκτυα στατικά είναι το μέσο μήκος των μονοπατιών προς τους αξιόπιστους εξυπηρετητές(**number of hops**) . Με λίγα λόγια όταν το μοντέλο αποτυγχάνει και επιλέγεται ακατάλληλος εξυπηρετητής, το μονοπάτι αυτό ακυρώνεται και δεν υπολογίζεται. **Το μοντέλο μας έχει στόχο να βρει τους πλησιέστερους εξυπηρετητές το οποίο σημαίνει και ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας. Αυτό σημαίνει πολλά γιατί εκτός από εξοικονόμηση ενέργειας σημαίνει και εξοικονόμηση πόρων του συστήματος όπως τον αριθμό των κόμβων αλλά και το bandwidth που δεσμεύουμε.** Ας δώσουμε και εδώ ένα παράδειγμα προσομοίωσης για τον έλεγχο του μέσου μήκους των μονοπατιών που χρησιμοποιεί κάθε «μυρμήγκι». **Σχήμα 3.3.** Στη χειρότερη περίπτωση όπου εμείς θεωρούμε ότι το ποσοστό των ανεπιθύμητων κόμβων είναι 90 τοις εκατό παρατηρούμε ότι ο αριθμός των μεταπηδήσεων είναι **4.99**

Σχήμα 3.3

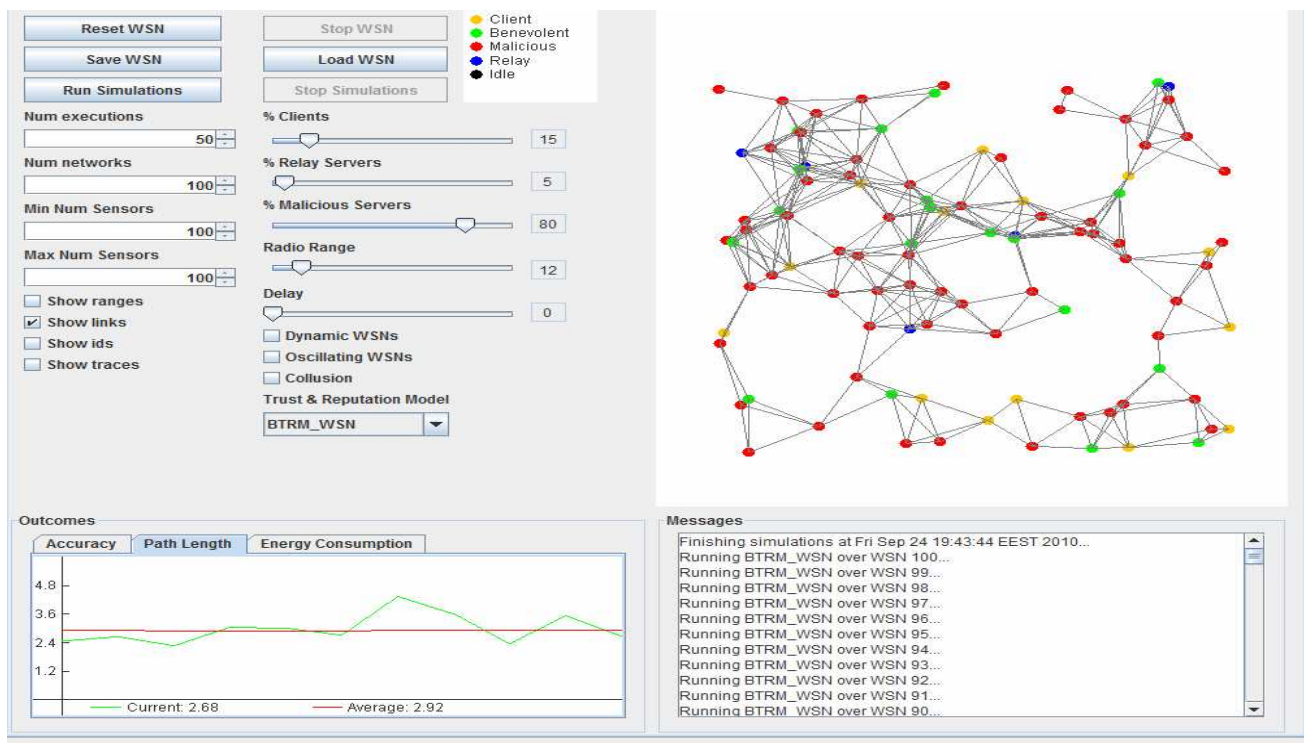


Περιγραφή και προσομοίωση του BTRM μοντέλου μέσω του TRMSim

Number of hops=4.55

Ενώ για ποσοστό των ανεπιθύμητων κόμβων κάτω από 90% έχουμε, **Σχήμα 3.4**

Σχήμα 3.4



Number of hops=2.68

Παρατηρούμε πως για άλλη μια φορά οι διαφορές μεταξύ των διαφόρων μεγεθών των δικτύων γίνονται πιο ευδιάκριτες όταν το ποσοστό των ανεπιθύμητων κόμβων ξεπερνάει το 90%, και κάτω από αυτό το ποσοστό το ποσοστό των μεταπηδήσεων είναι αρκετά χαμηλό. Επομένως το μοντέλο μας είναι ικανό να πλησιάζει τους αξιόπιστους εξυπηρετητές άσχετα με το μέγεθος του δικτύου και το ποσοστό των ανεπιθύμητων κόμβων.

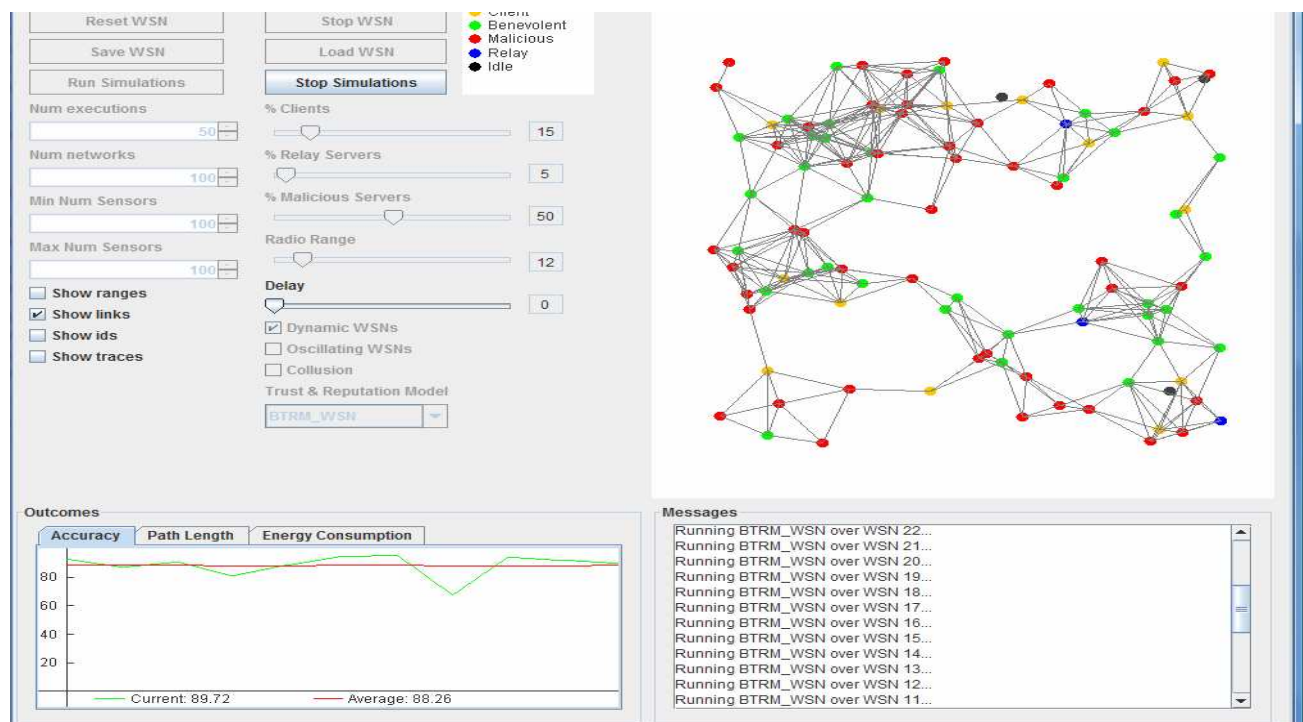
3.3.8 ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΝΩ ΣΕ ΔΥΝΑΜΙΚΑ WSNs

αντιθέτως με τα στατικά δίκτυα, υπάρχουν κόμβοι που είναι «κλειστοί» και έτσι εξοικονομούμε ενέργεια. Όπως αναφέραμε παραπάνω, αυτό το μοντέλο στοχεύει στο να συνθέσουμε ένα δίκτυο WSN με αυστηρές προϋποθέσεις σε κατανάλωση ενέργειας και bandwidth. Η απόφαση για το πότε ένας κόμβος «κλείνει» και

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ WSN

«ανοίγει» έχει ως εξής: όταν ο εξυπηρετητής δέχεται 20 αιτήσεις, αυτομάτως σβήνει κατά τη διάρκεια μιας προθεσμίας. Από την άλλη, εάν ένας εξυπηρετητής δε λάβει 20 αιτήσεις μέσα σε ένα χρονικό περιθώριο και τότε σβήνει για κάποια διαφορετική προθεσμία. Με αυτό το σενάριο θα κάνουμε πάλι προσομοίωση για να ελέγξουμε τα μεγέθη της ακρίβειας και του αριθμού των μεταπηδήσεων όπως και στη περίπτωση των στατικών δικτύων. **Σχήμα 3.5**

Σχήμα 3.5



Accuracy=89,72%

Μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι το ποσοστό της ακρίβειας πλησιάζει το 90%, όταν το ποσοστό των ανεπιθύμητων κόμβων είναι το πολύ 50%, άσχετα με το μέγεθος του δικτύου και παραμένει σημαντικά υψηλό ακόμα και όταν το ποσοστό των ανεπιθύμητων κόμβων είναι γύρω στο 80%.

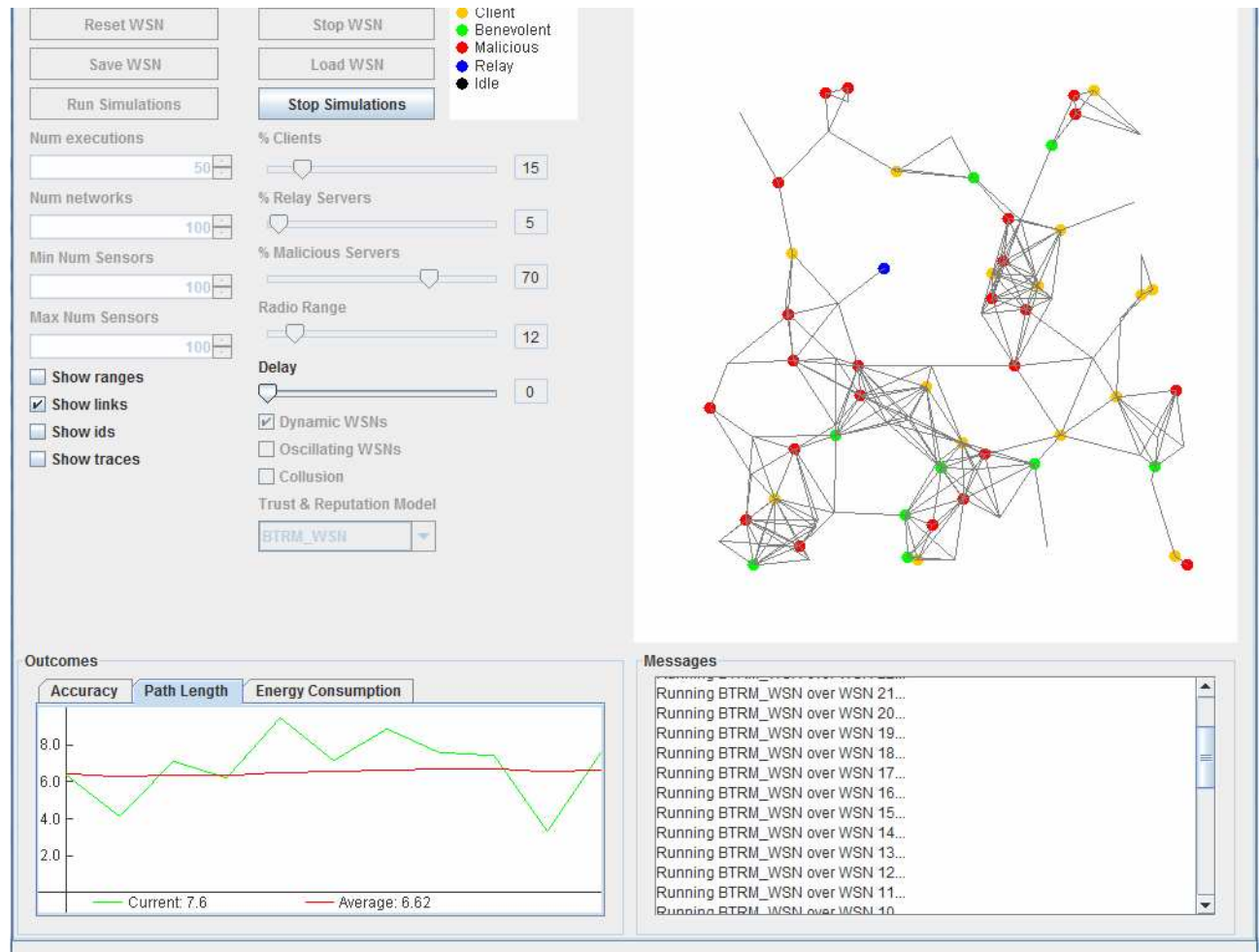
Η ακρίβεια της επιλογής χειροτερεύει όταν το ποσοστό των ανεπιθύμητων κόμβων αυξάνει και ακόμα χειρότερα όταν το μέγεθος γίνεται μεγαλύτερο.

Περιγραφή και προσομοίωση του BTRM μοντέλου μέσω του TRMSim

Ωστόσο, μπορούμε να πούμε ότι το μοντέλο BTRM είναι ελαστικό για δυναμική συμπεριφορά των κόμβων που απαρτίζουν το δίκτυο αν το ποσοστό των ανεπιθύμητων κόμβων είναι μικρότερο από 80% και η χειροτέρευση δεν είναι τόσο μεγάλη όσο ο αριθμός των κόμβων αυξάνεται. Πάμε τώρα να εκτελέσουμε προσομοίωση για την εύρεση του αριθμού των μεταπηδήσεων, **σχήμα 3.6**

Σχήμα

3.6

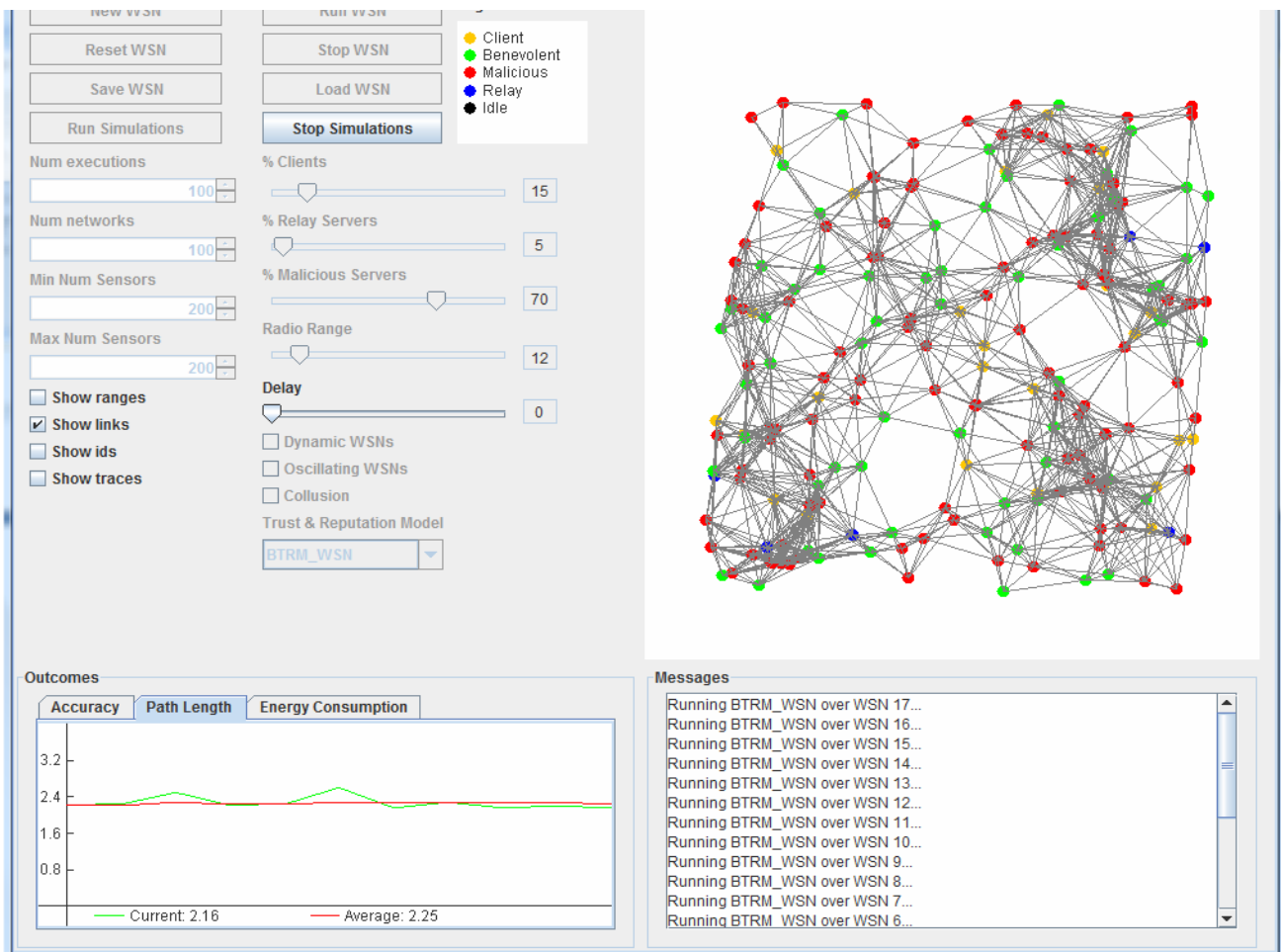


Number of hops=7,6 για 100 κόμβους

Και αντίστοιχα για 200 κόμβους(σχήμα 3.7) μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ WSN

Σχήμα 3.7



Number of hops=2.16

Από τις παραπάνω τιμές συμπεραίνουμε ότι σε δυναμικά δίκτυα μεγαλύτερου μεγέθους, **το μοντέλο μας ανταποκρίνεται πολύ ικανοποιητικά αφού σε μεγαλύτερης κλίμακας δίκτυα ο αριθμός των μεταπηδήσεων είναι μικρότερος άρα η απόδοση μεγαλώνει.** Άρα το μοντέλο μας προσφέρει κλιμάκωση(**scalability**).

ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Περιγραφή και προσομοίωση του BTRM μοντέλου μέσω του TRMSim

Σχετικά με την κατανάλωση ενέργειας, είναι ένας σημαντικό ζήτημα σε ένα WSN δίκτυο, από τη στιγμή που αυτή σχετίζεται με την ικανότητα επεξεργασίας του κάθε κόμβου, της μνήμης και της ικανότητας επικοινωνίας μεταξύ τους.

Έτσι διεξάγουμε ένα τελευταίο πείραμα για να μετρήσουμε τη μέση κατανάλωση ενέργειας.

Όπως καταλαβαίνουμε η ενέργεια που απαιτείται από κάθε κόμβο σχετίζεται με την απόσταση. Διαφορετικά μοντέλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μέτρηση αυτής.

Υποθέτουμε στα δίκτυα που προσομοιώσαμε προηγουμένως βάσει του μοντέλου BTRM πως οι κόμβοι εκτείνονται σε μια περιοχή 10000 τετραγωνικών μέτρων και κάθε κόμβος έχει εμβέλεια 10 μέτρα.

Αφού μαζέψαμε όλες τις μετρήσεις της ενέργειας από τα πειράματα που σχετίζονται με τα στατικά WSN που αποτελούν το χειρότερο σενάριο κατανάλωσης από τη στιγμή που όλοι οι κόμβοι βρίσκονται σε λειτουργία, και τα βάλαμε σε ένα πίνακα.

Table 2 Static WSNs. Average energy consumption per sensor

| | Number of sensors | | | | |
|-----|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 |
| 10% | 1.2×10^{14} | 1.1×10^{16} | 1.0×10^{16} | 6.8×10^{17} | 3.6×10^{18} |
| 20% | 1.3×10^{14} | 1.0×10^{16} | 1.1×10^{16} | 7.0×10^{17} | 3.7×10^{18} |
| 30% | 1.6×10^{14} | 1.2×10^{16} | 1.1×10^{16} | 7.5×10^{17} | 3.8×10^{18} |
| 40% | 2.0×10^{14} | 1.3×10^{16} | 1.2×10^{16} | 7.8×10^{17} | 4.0×10^{18} |
| 50% | 1.9×10^{14} | 1.4×10^{16} | 1.4×10^{16} | 8.5×10^{17} | 4.4×10^{18} |
| 60% | 2.8×10^{14} | 1.4×10^{16} | 1.5×10^{16} | 1.0×10^{18} | 5.0×10^{18} |
| 70% | 2.7×10^{14} | 2.2×10^{16} | 1.9×10^{16} | 1.2×10^{18} | 6.2×10^{18} |
| 80% | 5.0×10^{14} | 3.0×10^{16} | 3.1×10^{16} | 1.8×10^{18} | 8.6×10^{18} |
| 90% | 9.3×10^{14} | 0.9×10^{17} | 0.7×10^{18} | 6.8×10^{18} | 2.6×10^{19} |

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ WSN

Δυο παρατηρήσεις μπορούμε να κάνουμε στο παραπάνω πίνακα. **Η μια είναι ότι όσο μεγαλώνει ο αριθμός των κόμβων τόσο αυξάνεται και η κατανάλωση.**

Η δεύτερη είναι ότι όσο μεγαλώνει το ποσοστό των ανεπιθύμητων κόμβων τόσο πάλι μεγαλώνει και η κατανάλωση.

Σχετικά με το ποσοστό των ανεπιθύμητων κόμβων, σε ένα δίκτυο όπου αυτοί είναι η πλειοψηφία είναι πιο δύσκολο να βρεθεί ο επιθυμητός εξυπηρετητής γιατί προφανώς πιο πολλά μηνύματα πρέπει να σταλούν. **(υψηλή κατανάλωση ενέργειας).**

Αυτά τα πειράματα μας κάνουν να συμπεράνουμε πως το BTRM μοντέλο διατηρεί μια σχετικά καλή ακρίβεια πάνω σε δυναμικά δίκτυα WSN με πολύ μικρή επιρροή από το μέγεθος του δικτύου και των ποσοστών των ανεπιθύμητων κόμβων.

Δηλαδή μπορούμε να πούμε ότι το BTRM μοντέλο παρουσιάζει μια τεχνική εντοπισμού των εξυπηρετητών που επιθυμούμε και είναι το πιο κατάλληλο για δυναμικά δίκτυα WSN.

Επίσης αποδείξαμε ότι το μοντέλο BTRM προσφέρει υψηλή κλιμάκωση και ακρίβεια και την επιθυμητή **απόδοση** που πρέπει να μας παρέχει το συγκεκριμένο μοντέλο.

3.4 Σύγκριση BTRM μοντέλου με άλλα μοντέλα προσομοίωσης

3.4.1 Πληροφορίες σχετικά με το PEERTRUST μοντέλο

Στο **Peertrust** μοντέλο, η εμπιστοσύνη του κόμβου, ορίζεται από μια εκτίμηση που κάνουμε σχετικά με τις υπηρεσίες που είχε παράσχει στους άλλους κόμβους, αλλά στο παρελθόν. Αυτή η αξιοπιστία καθορίζεται από την εμπιστοσύνη που δείχνουν οι

Σύγκριση BTRM μοντέλου με άλλα μοντέλα προσομοίωσης

κόμβοι που δέχτηκαν τις υπηρεσίες βάσει των εμπειριών τους. Θα επισημάνουμε 4 σημαντικούς παράγοντες:

- 1) Η ανάδραση από το ποσό της ικανοποίησης του κάθε κόμβου εξάγεται μέσω των αλληλεπιδράσεων μεταξύ και των άλλων κόμβων.
- 2) Ο αριθμός των αλληλεπιδράσεων του κόμβου που πραγματοποιείται μεταξύ αυτού και των άλλων κόμβων, είναι ο παράγοντας σύγκρισης της ανάδρασης μεταξύ των διαφορετικών κόμβων.
- 3) Η αξιοπιστία των κόμβων που δέχονται την ανάδραση, δρομολογεί το ρίσκο του να χρησιμοποιούμε αυθαίρετα λάθος ανάδραση ώστε να αυξάνουμε την αξιοπιστία του εκάστοτε κόμβου.
- 4) Ο παράγοντας της αλληλεπίδρασης, μας δείχνει το αντίκτυπο αυτής, πάνω στη αξιοπιστία του κόμβου.

Συνοπτικά, το Peertrust μοντέλο, λειτουργεί πολύ καλύτερα όταν το ποσοστό των ανεπιθύμητων κόμβων αυξάνει.

Επίσης πετυχαίνει την επιθυμητή προσαρμοστικότητα βάσει των προηγούμενων αλληλεπιδράσεων που συνέβησαν στο παρελθόν.

3.4.2 Πληροφορίες σχετικά με το PowerTrust μοντέλο

Τα συστήματα **Reputation (peer to peer)** είναι σημαντικά στο να εκτιμούν την αξιοπιστία των εμπλεκόμενων κόμβων και καταπολεμούν την αναξιοπιστία και τις ανεπιθύμητες συμπεριφορές των κόμβων. Το σύστημα συλλέγει τις τοπικά-παραγόμενες αναδράσεις των κόμβων και προκαλεί αυτές να δημιουργούν κάποια σκόρ αξιοπιστίας. Εν ολίγοις το POWERTRUST μοντέλο διαλέγει δυναμικά, ένα μικρό αριθμό «κόμβων ισχύος» που είναι οι πιο αξιόπιστοι, χρησιμοποιώντας ένα

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ WSN

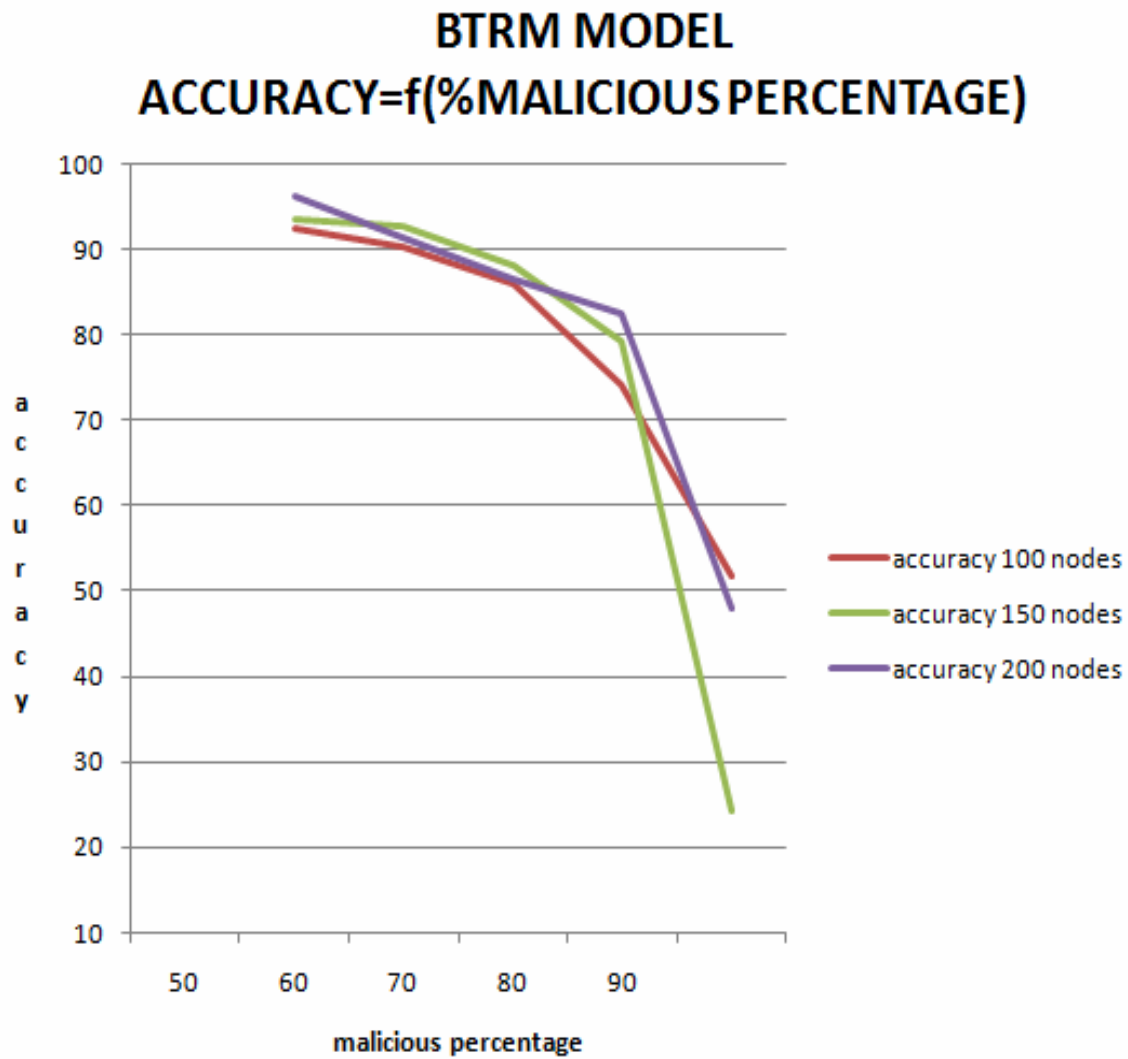
κατανεμημένο μηχανισμό κατάταξης, χρησιμοποιώντας μια στρατηγική του να βρίσκει τρόπο να επηρεάσει τους άλλους κόμβους ισχύος.

Το μοντέλο POWERTRUST βελτιώνει την ακρίβεια και τη συνολική ταχύτητα του συστήματος και μειώνει την ενόχληση που οφείλεται στους ανεπιθύμητους κόμβους. Τέλος αυτό το μοντέλο μειώνει αισθητά και το ρυθμό σφαλμάτων.

3.4.3 Προσομοιώσεις Α.Δ.Α για διάφορα μοντέλα Trust and Reputation

Πραγματοποιήσαμε προσομοιώσεις σχετικά με την ακρίβεια στο να βρεθεί ο κατάλληλος εξυπηρετητής που αναζητά ο client(συναρτήσεως των ανεπιθύμητων κόμβων).Χρησιμοποιήσαμε 3 διαφορετικά δίκτυα ανάλογα με τον αριθμό των κόμβων, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.**(3.8)**

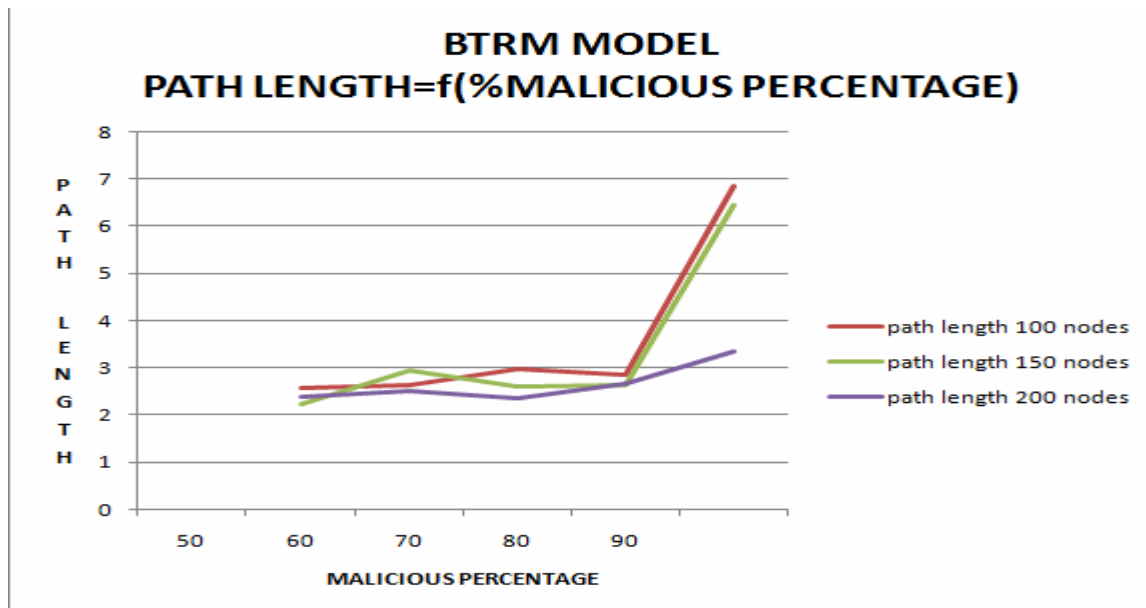
Σύγκριση BTRM μοντέλου με άλλα μοντέλα προσομοίωσης



Σχήμα 3.8

Πραγματοποιήσαμε προσομοιώσεις σχετικά με τον αριθμό των μεταπηδήσεων στο να βρεθεί ο κατάλληλος εξυπηρετητής που αναζητά ο client(συναρτήσεως των ανεπιθύμητων κόμβων).

Χρησιμοποιήσαμε 3 διαφορετικά δίκτυα ανάλογα με τον αριθμό των κόμβων, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.(3.9)



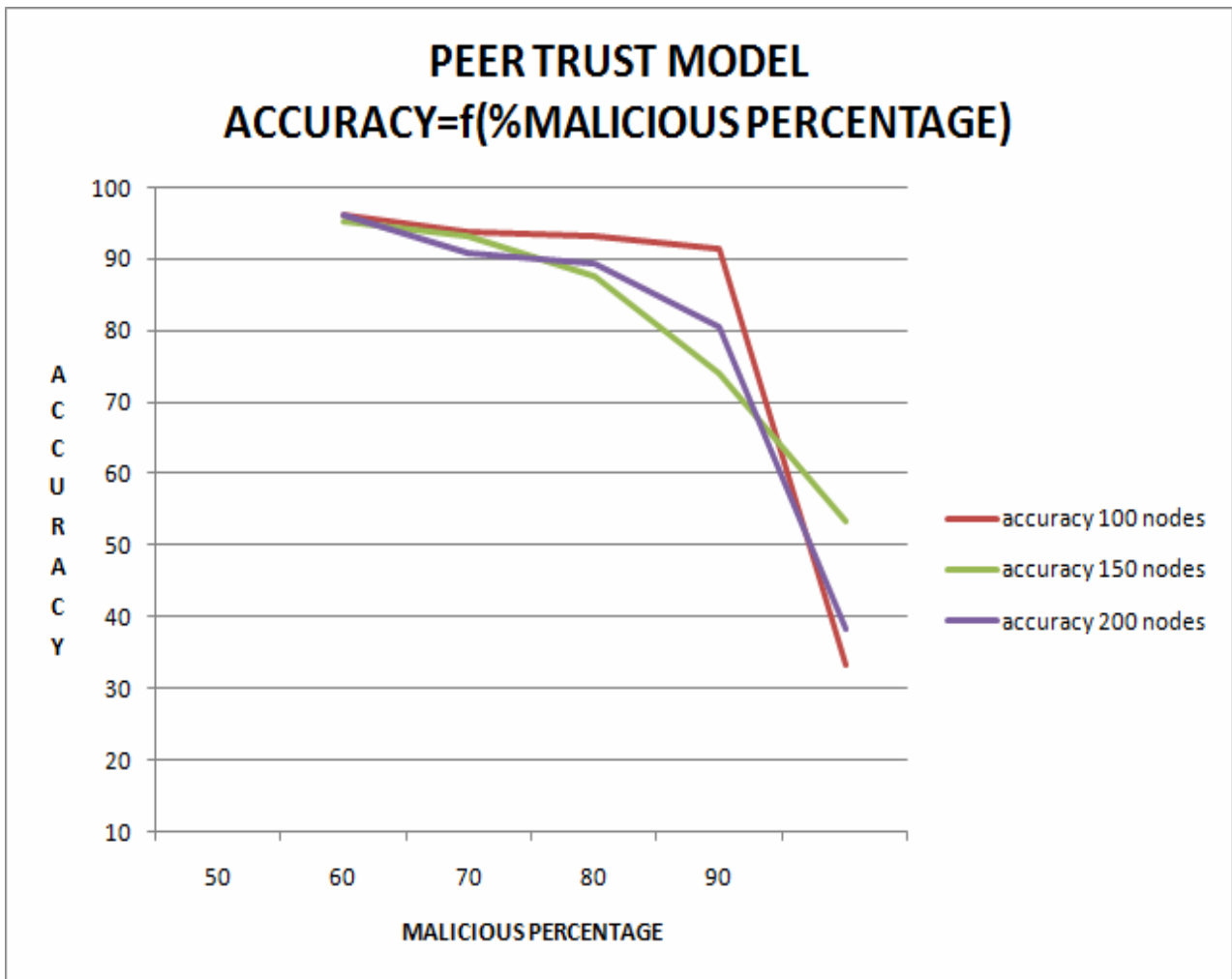
Σχήμα 3.9

ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΕΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ PEER TRUST

Πραγματοποιήσαμε προσομοιώσεις σχετικά με την ακρίβεια στο να βρεθεί ο κατάλληλος εξυπηρετητής που αναζητά ο client(συναρτήσεως των ανεπιθύμητων κόμβων).

Χρησιμοποιήσαμε 3 διαφορετικά δίκτυα ανάλογα με τον αριθμό των κόμβων, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.(3.10)

Σύγκριση BTRM μοντέλου με άλλα μοντέλα προσομοίωσης

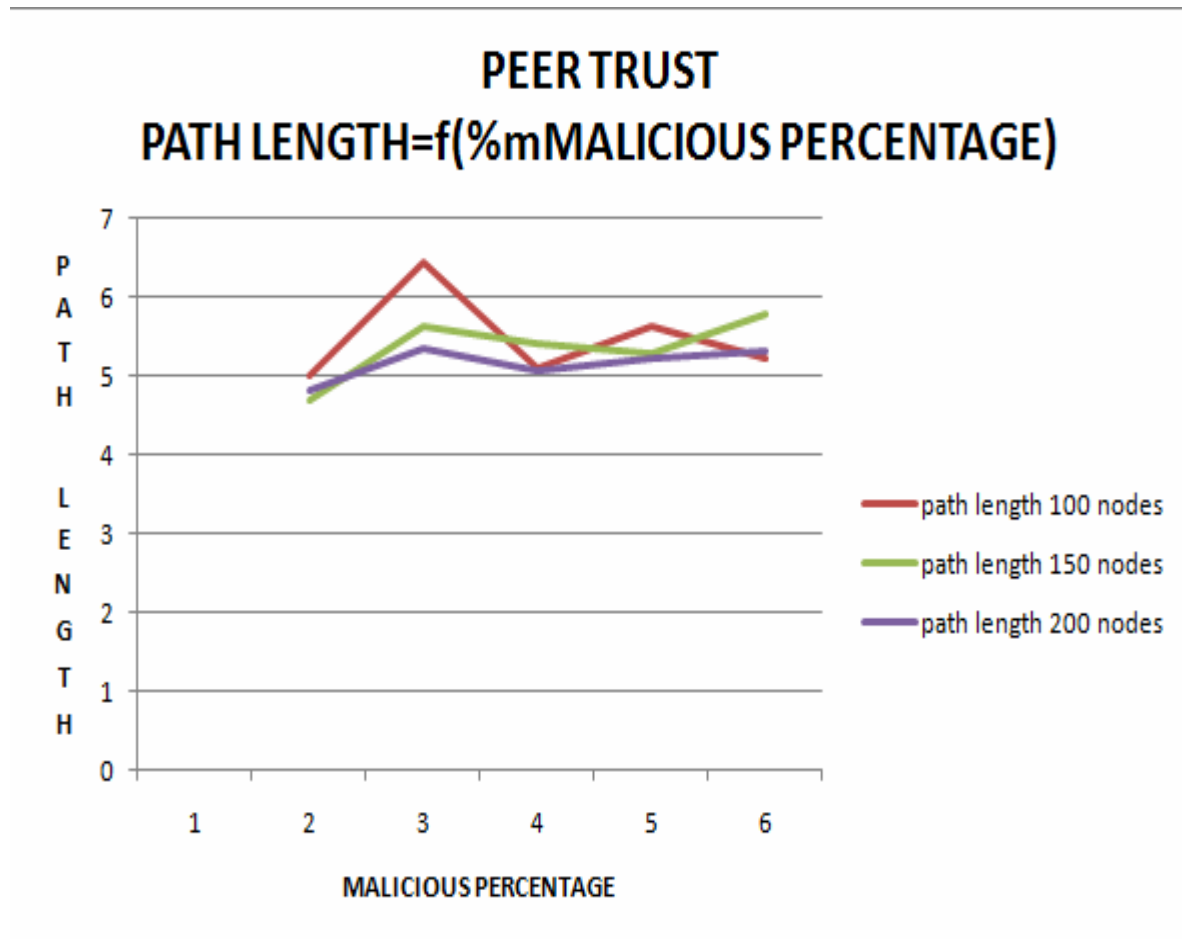


Σχήμα 3.10

Πραγματοποιήσαμε προσομοιώσεις σχετικά με τον αριθμό των μεταπηδήσεων στο να βρεθεί ο κατάλληλος εξυπηρετητής που αναζητά ο client(συναρτήρει των ανεπιθύμητων κόμβων).

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ WSN

Χρησιμοποιήσαμε 3 διαφορετικά δίκτυα ανάλογα με τον αριθμό των κόμβων, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. (3.11)



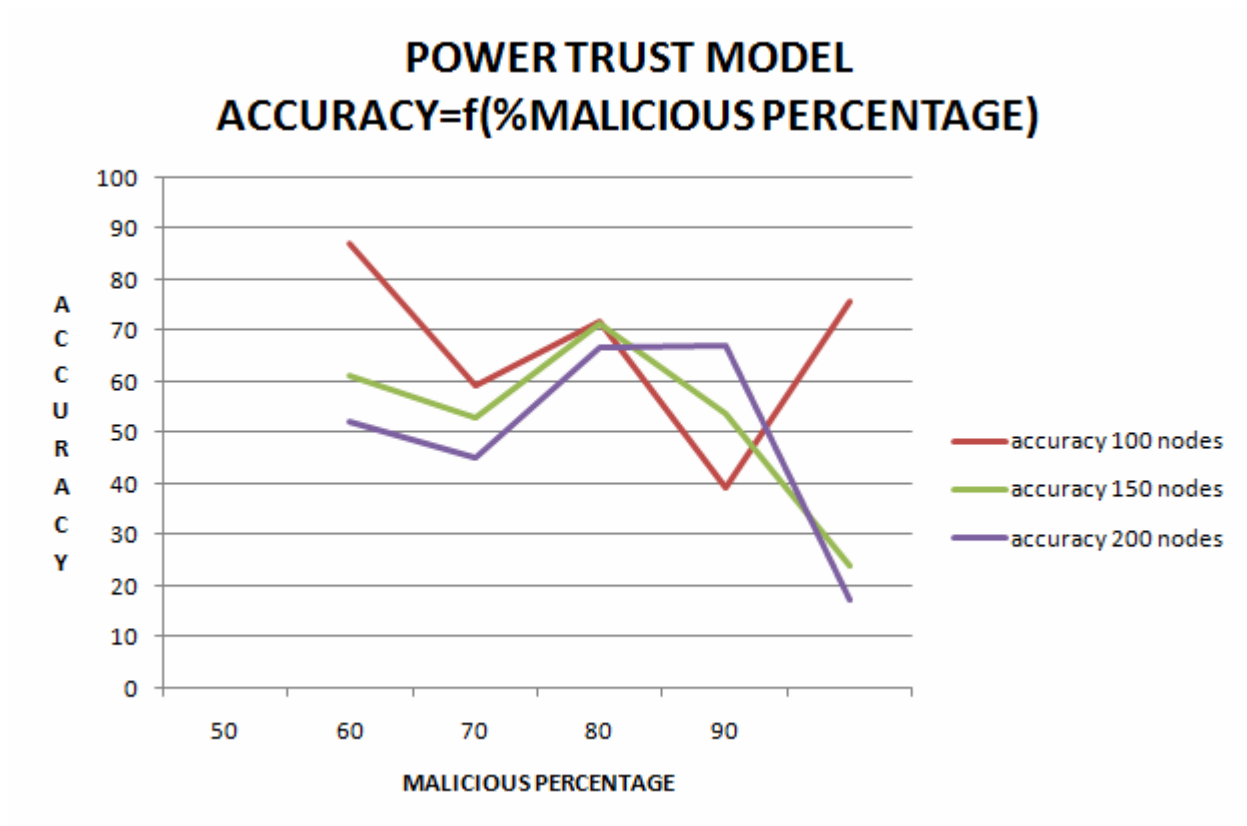
Σχήμα 3.11

Σύγκριση BTRM μοντέλου με άλλα μοντέλα προσομοίωσης

ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΕΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ POWER TRUST

Πραγματοποιήσαμε προσομοιώσεις σχετικά με την ακρίβεια στο να βρεθεί ο κατάλληλος εξυπηρετητής που αναζητά ο client(συναρτήσεΙ των ανεπιθύμητων κόμβων).

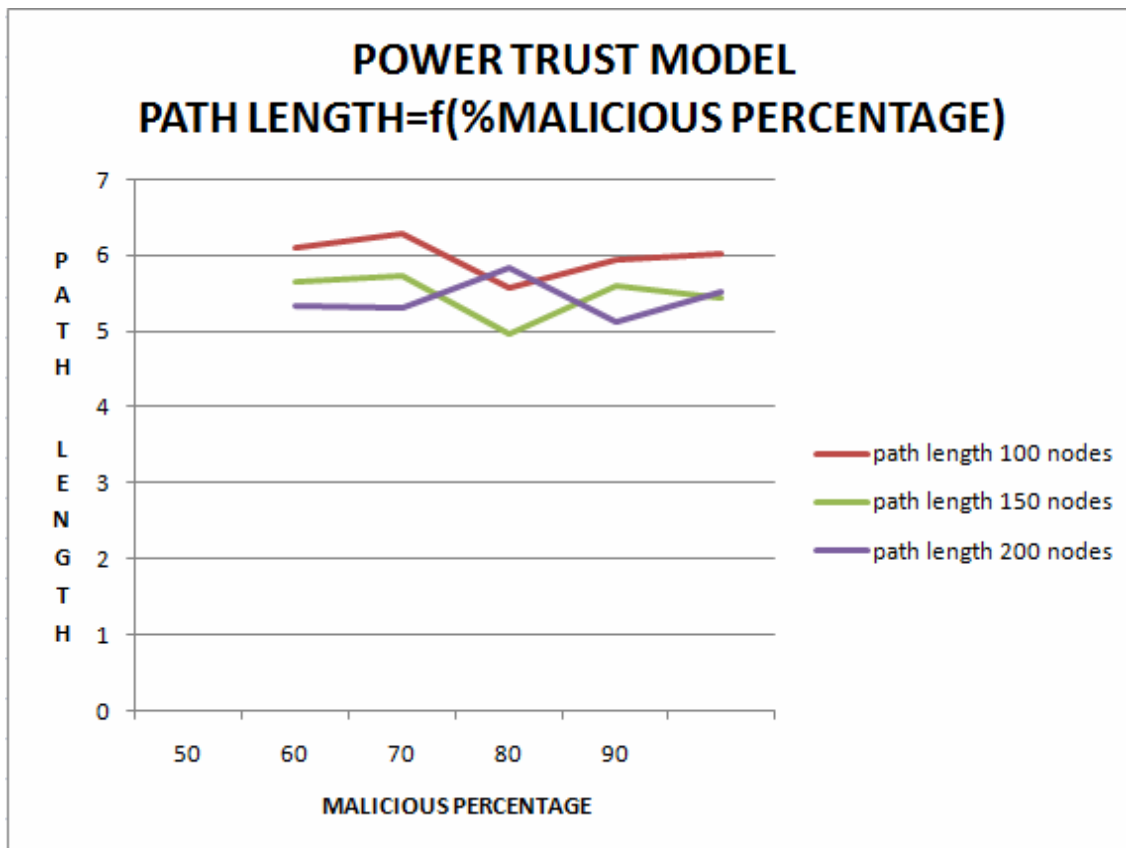
Χρησιμοποιήσαμε 3 διαφορετικά δίκτυα ανάλογα με τον αριθμό των κόμβων, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.(3.12)



Σχήμα 3.12

Πραγματοποιήσαμε προσομοιώσεις σχετικά με τον αριθμό των μεταπηδήσεων στο να βρεθεί ο κατάλληλος εξυπηρετητής που αναζητά ο client(συναρτήσε των ανεπιθύμητων κόμβων).

Χρησιμοποιήσαμε 3 διαφορετικά δίκτυα ανάλογα με τον αριθμό των κόμβων, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.(3.13)



Σχήμα 3.13

Σύγκριση BTRM μοντέλου με άλλα μοντέλα προσομοίωσης

Όλες οι προσομοιώσεις πραγματοποιήθηκαν με τις ίδιες ρυθμίσεις δικτύου, number of executions=20, number of networks=20, clients percentage=15, relay percentage=5, delay=0 και radio range=12.

3.4.4 Παρατηρήσεις-συμπεράσματα

Στο σχήμα **3.8** μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι όταν το ποσοστό των ανεπιθύμητων κόμβων είναι ίσο με 50% η ακρίβεια φθάνει υψηλά επίπεδα, της τάξης του 90% **άσχετα με το μέγεθος του δικτύου** και η τιμή αυτή παραμένει ικανοποιητική για ποσοστό ανεπιθύμητων κόμβων **το πολύ 80%**.

Στο σχήμα **3.9** μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι όσο αυξάνεται το μέγεθος του δικτύου τόσο μειώνεται και ο αριθμός των μεταπηδήσεων. **Αξίζει να σημειώσουμε πως αυτό είναι ιδιαίτερα θετικό χαρακτηριστικό γιατί σημαίνει εξοικονόμηση ενέργειας αφού χρησιμοποιούνται λιγότεροι πόροι του συστήματος(κόμβοι).**

Στο σχήμα **3.10** μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι στα δύο μεγέθη (100,200) υπάρχει μια μεγάλη ομοιότητα τόσο στην ακρίβεια όσο και στο μήκος του μονοπατιού. Αυτό οφείλεται στο μηχανισμό του μοντέλου PEERTRUST που αναφέρουμε παραπάνω. Όσον αφορά το μήκος των μονοπατιών **3.11** αξίζει να παρατηρήσουμε ότι σε όλα τα μεγέθη των δικτύων που προσομοιώσαμε ο αριθμός των μεταπηδήσεων παραμένει σε επίπεδα όχι τόσο ικανοποιητικά σε σχέση με το BTRM μοντέλο αλλά σχεδόν σταθερά για όλα τα μεγέθη δικτύων(**εν ολίγοις παρουσιάζει αναισθησία σε όλα τα μεγέθη**).

Σύγκριση BTRM μοντέλου με άλλα μοντέλα προσομοίωσης

Στο σχήμα **3.12** παρατηρούμε μια συμμετρία γύρω από το ποσοστό 80%, από αυτό εξάγουμε ότι για τιμές χαμηλότερες έως και 80% η ακρίβεια κρίνεται μάλλον ικανοποιητική, ενώ για υψηλότερες κακή στα δίκτυα μεγαλύτερης κλίμακας, και ακόμη χειρότερη αν αυξηθεί το μέγεθος του δικτύου. Όσον αφορά το σχήμα **3.13** ο αριθμός των μεταπηδήσεων είναι σχεδόν σταθερός για όλα τα μεγέθη των δικτύων, αν και ο αριθμός των μεταπηδήσεων είναι ελαφρώς καλύτερος στα μεγάλα μεγέθη δικτύων, από τα συμπεράσματα που εξαγάγαμε από το **3.12**, **μάλλον το συγκεκριμένο μοντέλο δε συνίσταται για μεγάλα μεγέθη δικτύων.**

Συνοψίζοντας, το **BTRM** μοντέλο προσφέρει υψηλή **κλιμάκωση** σε WSN εφαρμογές, αφού έχουμε ικανοποιητικά αποτελέσματα για όλα τα μεγέθη δικτύων, αφού πραγματοποιείται σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας.

Το **Peer to trust** μοντέλο παρουσιάζει μεγάλες ομοιότητες με το BTRM με τη μόνη διαφορά ότι μας δίνει ένα κάπως χειρότερο αριθμό μεταπηδήσεων, αριθμό όμως σταθερό για τα μεγάλα μεγέθη δικτύων(ικανοποιητική εξοικονόμηση ενέργειας ασχέτως μεγέθους δικτύου).

Το **Powertrust** μοντέλο, αν και προσφέρει κάπως υψηλά επίπεδα ακρίβειας για μικρά ποσοστά ανεπιθύμητων κόμβων, αντιθέτως για υψηλά μας δίνει πολύ μικρή ακρίβεια(συναρτήσε και του αυξανόμενου μεγέθους του δικτύου). Όπως καταλαβαίνουμε δε μας προσφέρει υψηλή κλιμάκωση σε σχέση με τα δύο προηγούμενα μοντέλα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ-ΠΗΓΕΣ

(1)“ TRMsim-WSN, a trust and reputation models simulator for wireless sensor networks”, Gomez, M.F, University of Murcia, Spain(2007)

(2)“Wireless Sensor Networks”, John A.Stankovic, University of Virginia(2006)

(3)“Emulating small scale MANET topologies”, Guillaume Valadon, Hiroshi Esaki, Tokyo University(2007)

(4)“An overview of MANETs Simulation”, Luc Hogue University of Luxembourg, Pascal Bouvry University of Luxembourg, Frederic Guinand University of Havre(2008)

(5)“Freemote: A WIRELESS SENSOR NETWORKS EMULATION SYSTEM”, Raphael Kummer, Timothee Maret, Peter Kropf and Jean-Frederic Wagen, TIC institute, University of applied Science of Fribourg(2009)

(6)“Using BIP for Modeling and Verification of Networked Systems-A Case Study on TinyOS-based Networks”, Ananda Basu , Laurent Mounier, Marc Poulhies.(2003)

(7)Wikipedia, “WSN”

(8)“Providing trust in wireless sensor networks using a bio-inspired technique”, Felix Gomez Marmol & Gregorio Martinez Perez, University of Murcia (2010)

