

Τμήμα
Μηχανικών
Πληροφορικής τ.ε.

Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα
Δυτικής Ελλάδας

Μελέτη και Αξιολόγηση
των μοντέλων MAC
πρωτοκόλλων στο
περιβάλλον
Omnet++/Castalia
ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΧΑΤΖΗΓΕΩΡΓΙΟΥ
Α.Μ. 1296
Επιβλέπων Κ. Χρήστος Π. Αντωνόπουλος
Καθηγητής ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας

Ευχαριστίες

Πρώτα απο όλους θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου Κ. Χρήστο Π. Αντωνόπουλο , Καθηγητή ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας , για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε και την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που μου παρείχε κατά την εκπόνηση της πτυχιακής μου εργασίας.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τη συντροφό μου Γεωργία Πέρναρου η οποία με παρότρυνε, κάθε στιγμή, να συνεχίσω και να ολοκληρώσω την παρούσα εργασία και μου παρείχε την ανιδιοτελή και ανυπολόγιστη υποστήριξη της κατα την διάρκεια δύσκολων στιγμών.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<u>Ευχαριστίες</u>	2
<u>Κεφάλαιο 1^ο</u>	
1. Εισαγωγή	5
<u>Κεφάλαιο 2ο</u>	
2.1 Ασύρματα Δίκτυα	6
2.2 Ιστορικά Στοιχεία	10
2.3 Αρχιτεκτονική Ασύρματων Δικτύων	11
2.4 Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων	12
2.5 Τοπικά ασύρματα δίκτυα	14
2.6 Μητροπολιτικά Ασύρματα Δίκτυα	15
2.7 Εφαρμογές Ασυρμάτων Δικτύων	17
2.7.1 WAP	18
2.7.2 Constant Bit Rate (CBR)	18
2.7.3 Variable Bit Rate (VBR)	19
<u>Κεφάλαιο 3ο</u>	
3.1 Mac Protocols	20
3.1.1 Πρότυπο 802.11	20
3.1.2 Πρότυπο 802.11e	23
3.1.3 Πρότυπο 802.15.4	23
3.1.4 ZigBee	24
3.1.5 Bluetooth	26
3.1.6 Bluetooth Low Energy (BLE)	28
3.1.7 Z-Wave	28
3.2 Δρομολόγηση (Routing)	29
3.3 Κατανάλωση Ενέργειας	31
3.4 Προσομίωση	32
3.4.1 NS2	33
3.4.2 NS3	33
3.4.3 OPNET	34
3.4.4 OMNet++	36
3.4.4.1 INET	37
3.4.4.2 MiXiM	37
3.4.4.3 Castalia	38

Κεφάλαιο 4ο

4.1 Design Space Exploration	40
4.2 Μεθοδολογίες	43

Κεφάλαιο 5ο

5.1 Παρουσίαση Παραμέτρων	46
5.2 Παρουσίαση Μετρήσεων	46

<u>Βιβλιογραφία</u>	72
----------------------------	----

Κεφάλαιο 1^ο

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη και αξιολόγηση των πρωτοκόλλων MAC στο περιβάλλον OMNet++. Μελετήθηκε διεξοδικά ο προσομοιωτής OMNet++ και το framework για δικτυακές προσομοιώσεις Castalia με στόχο την πλήρη κατανόηση και δημιουργία μοντέλων δικτύων. Διενεργήθηκαν εκτενείς προσομοιώσεις με αποτελέσματα των οποίων περιγράφονται στην εργασία.

Κεφάλαιο 2^ο

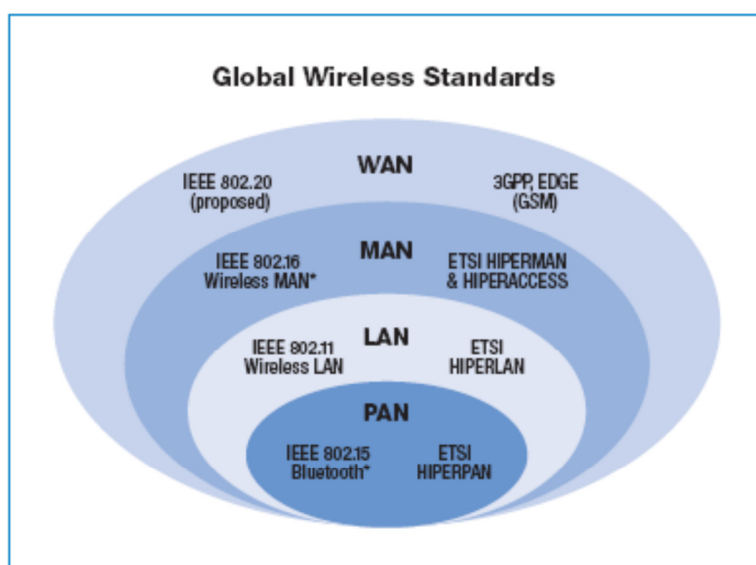
2.1 Ασύρματα δίκτυα :

Ασύρματα δίκτυα (wireless networks) θεωρούνται τα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα όπως τηλεφωνικά ή δίκτυα υπολογιστών όπου η πληροφορία δεν μεταφέρετε μεσω καλωδίων όπως στα ενσύρματα δίκτυα αλλά μέσω ραδιοκύμάτων . Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα μεταφέρουν τα δεδομένα με συχνότητα φέροντος που διαμορφώνεται ανάλογα με τον ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων που απαιτείται από το δίκτυο.

Στην εποχή μας όπου η τεχνολογία ακμάζει ραγδαία τα τηλεφωνικά δίκτυα βασίζονται σε ψηφιακή τεχνολογία ουσιαστικά είναι δίκτυα υπολογιστών αντίθετα με παλιότερες εποχές όπου ήταν αναλογικά.

Είδη ασύρματων δικτύων είναι τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, οι δορυφορικές επικοινωνίες, τα ασύρματα δίκτυα ευρείας περιοχής (WWAN), τα ασύρματα μητροπολιτικά δίκτυα (WMAN), τα ασύρματα τοπικά δίκτυα (WLAN) και τα ασύρματα προσωπικά δίκτυα (WPAN).

Ως εκ φύσεως τα τηλεπικοινωνιακά μέσα, η τηλεόραση και το ραδιόφωνο , είναι ασύρματα τις περισσότερες περιπτώσεις, όμως δεν συμπεριλαμβάνονται στην ομάδα των ασύρματων δικτύων διότι η μετάδοση γίνεται προς πάσα κατεύθυνση χωρίς να υπάρχει κάποιο δομημένο «δίκτυο» τηλεπικοινωνιών κόμβων (συσκευών) με τη συνηθή έννοια. Επίσης δεν μπορούν να θεωρηθούν δίκτυα υπολογιστών τα μεταφερόμενα δεδομένα διότι συνηθώς είναι αναλογικά.



Πλεονεκτήματα ασύρματων δικτύων:

Τα βασικότερα πλεονεκτήματα των ασύρματων δικτύων είναι:

- **Ευκολία χρήσης:** Στις μέρες μας η χρήση φορητών υπολογιστών και των περισσότερων κινητών τηλεφώνων καταργούν την καλωδίωση αφού είναι εξοπλισμένα με τεχνολογία WiFi όπου συνδέονται απευθείας σε ένα ασύρματος δίκτυο LAN. Είναι εφικτή πλέον η δικτύωση σε τοποθεσίες όπου η καλωδίωση θα ήταν αδύνατη όπως για παράδειγμα η δικτύωση γραφείων τα οποία είναι σε απόσταση μεταξύ τους.
- **Φορητότητα:** Η μετακίνηση εντός της εμβέλειας του ασύρματου δικτύου χωρίς να χαθεί η συνδεσιμότητα, δηλαδή με επαρκές σήμα, προσφέρει στους χρήστες μεγαλύτερη παραγωγικότητα και αποτελεσματικότητα στο χώρο εργασίας τους.
- **Εύκολη ρύθμιση:** Η μη αναγκαία χρήση και τοποθέτηση των καλωδίων σε ένα χώρο καταστά την εγκατάσταση πιο γρήγορη και οικονομική αφού ακόμη και σε δύσβατα μέρη τα ασύρματα δίκτυα διευκολύνουν την συνδεσιμότητα.
- **Δυνατότητα κλιμάκωσης:** Με τον κατάλληλο εξοπλισμό τα ασύρματα δίκτυα σε αντίθεση με τα ενσύρματα δίκτυα που απαιτούν επιπρόσθετη καλωδίωση, μπορούν να διαρθρωθούν σε πλήθος από τοπολογίες αλλά και να επεκταθούν από απλό δίκτυο με μικρό αριθμό χρηστών σε μεγάλες δομές δικτύων με εκατοντάδες χρήστες και δυνατότητα περιαγωγής (roaming).
- **Ασφάλεια:** Η επιτυχία του ασύρματου δικτύου οφείλεται και στην διαχείριση και τον έλεγχο της πρόσβασης σε αυτό, αφού σύμφωνα με τις εξελιγμένες δυνατότητες της τεχνολογίας του WiFi, τα δεδομένα είναι προσβάσιμα μόνο στους εξουσιοδοτημένους χρήστες.
- **Κόστος:** Ιδιαίτερα σε ένα περιβάλλον που απαιτεί συχνές αλλαγές το ασύρματο δίκτυο αποτελεί οικονομικότερη λύση, μειώνοντας σημαντικά το κόστος της καλωδίωσης σε περίπτωση μετακόμισης, αναδιάταξης ακόμη και επέκτασης. Αν και το αρχικό κόστος της εγκατάστασης μπορεί να είναι μεγαλύτερο από άλλες λύσεις ενσύρματης δικτύωσης, μακροπρόθεσμα αποσβένεται αν υπολογίσουμε τα κόστη για όλη την διάρκεια ζωής της επένδυσης και τις αλλαγές που μπορεί να συμβούν.
- **Εμβέλεια:** Τόσο σε κλειστούς τόσο και σε ανοιχτούς χώρους οι αποστάσεις μπορούν να καλυφθούν μέσω των ραδιοκυμάτων διαπερνώντας τοίχους και οροφές ακόμα και μεγαλύτερης εμβέλειας δίκτυα εφόσον υπάρχει οπτική επαφή ανάμεσα σε ασύρματες συσκευές.
- **Ταχύτητα Μετάδοσης:** Με την ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας ο όγκος και η ροή των δεδομένων αυξάνεται μέρα με την μέρα, έτσι πιο συγκεκριμένα με την χρήση ασύρματων δικτύων από τα 2Mbps η οποία ήταν η αρχική μέγιστη τιμή μετάδοσης δεδομένων σήμερα φτάνει πάνω από 100Mbps.
- **Αξιοπιστία:** Το ασύρματο δίκτυο είναι σχεδιασμένο ώστε να παρέχει αξιοπιστία στους χρήστες όπως για παράδειγμα να μπορεί να εξακολουθεί να δουλεύει ακόμη και με διακοπή ρεύματος ακολουθώντας εναλλακτικές διαδρομές.
- **Συμβατότητα με υπάρχον δίκτυο:** Έχοντας ένα προτυποποιημένο τρόπο σύνδεσης με τις υπάρχοντες δομές ενσύρματης δικτύωσης επιτρέπουν επιτρέπουν την συμβατότητα μεταξύ τους. Όπου τις περισσότερες φορές αποτελούν απλά επέκταση των ενσύρματων δικτύων.

Μειονεκτήματα Ασύρματων Δικτύων:

Έχοντας αναλύσει τα πλεονεκτήματα, μια εκτενή αναφορά και στα μειονεκτήματα θα ολοκλήρωνε την εικόνα για τα ασύρματα δίκτυα. Γνωρίζοντας πως για την μεταφορά των πληροφοριών χρειάζονται τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα (ραδιοκύματα και υπέρυθρης ακτινοβολίας), η επικοινωνία των χρηστών αλλοιώνεται λόγω των παρεμβολών που προκαλούνται από τα ευπρόσβλητα ασύρματα δίκτυα.

Τα ζητήματα που προκύπτουν είναι τα εξής:

- **Παρεμβολή λόγω πολλαπλών διαδρομών:** Υπάρχουν περιπτώσεις όπου τα σήματα που μεταδίδονται να μπερδευτούν με ανακλώμενα σήματα από διάφορες επιφάνειες ή εμπόδια στην κατεύθυνση του σήματος με αποτέλεσμα να προκαλέσουν ετεροχρονισμένες λήψεις του ιδίου σήματος λόγω των σημάτων που κάνουν μεγαλύτερη διαδρομή με τις αντανακλάσεις. Λύση στο πρόβλημα αυτό είναι η μεγαλύτερη επεξεργαστική ισχύ από τον δέκτη έτσι ώστε να τακτοποιεί και να ξεχωρίζει τα σήματα και τα δεδομένα.
- **Απώλεια Διαδρομής (Path Loss):** Η ύπαρξη ή μη της οπτικής επαφής (LoS:Line of Sight) ευθύνεται για τις απώλειες που μπορεί να υπάρξουν σε μια ασύρματη επικοινωνία από το “path loss”. Παρεμβολές μπορεί να μην αφήσουν ένα μέρος ή ολόκληρο το σήμα να διαπεράσει με αποτέλεσμα να έχουμε μειωμένη απόδοση.
- **Παρεμβολές Ραδιοσημάτων (Interference Ratio):**

Οι παρεμβολές αυτές χωρίζονται σε δύο κατηγορίες

- 1) Εξωγενές (Inward): Προκαλούνται από άλλες συσκευές που εκπέμπουν οποιοδήποτε σήμα (Wifi, Bluetooth ή και φούρνοι μικροκυμάτων) και έχει ως αποτέλεσμα ο δέκτης να δέχεται αλλοιωμένο σήμα.
- 2) Ενδογενές (Outward): Τις προκαλεί ο ίδιος ο πομπός σε άλλα συστήματα ασύρματης επικοινωνίας. Όσο πιο χαμηλή είναι η ένταση του σήματος τόσο λιγότερες παρεμβολές έχει στα γειτονικά του συστήματα.

- **Ασυμβατότητα Συστημάτων:** Πρέπει το WLAN ,για να έχει σωστή υποδομή, να λάβουμε υπόψη την ασυμβατότητα των διάφορων κατασκευαστών.
- **Προστασία της υγείας των Χρηστών:** Για την υγεία των χρηστών έχουν υποβληθεί περιορισμοί σε σχέση με την ένταση του σήματος.
- **Πρόβλημα Κρυμμένου Κόμβου:** Αυτό το πρόβλημα υπάρχει όταν ένας σταθμός δεν μπορεί να ανιχνεύσει την δραστηριότητα ενός άλλου σταθμού έτσι ώστε να αναγνωριστεί η χρήση του. Αυτή η διαδικασία μπορεί να προκαλέσει συγκρούσεις (collisions). Υπάρχουν μέθοδοι για να αποφευχθούν τέτοιου είδους προβλήματα αλλά δεν είναι πλήρως αποτελεσματικά (π.χ. CSMA/CA).
- **Ασφάλεια Δικτύου:** Η συνολική λειτουργία ενός ασύρματου δικτύου εμπεριέχεται στα χαμηλότερα επίπεδα της αρχιτεκτονικής ενός δικτύου και δεν ενυπάρχει με άλλες λειτουργίες όπως εγκατάσταση σύνδεσης ή άλλες υπηρεσίες (π.χ. login) που προσφέρουν τα ανώτερα στρώματα. Έτσι το μόνο θέμα που σχετίζεται με την ασφάλεια στα ασύρματα δίκτυα είναι τα θέματα ασφαλείας των χαμηλότερων στρωμάτων, π.χ. κρυπτογράφηση (encryption) δεδομένων. Για αυτό το λόγο, έχουν δημιουργηθεί διάφορες τεχνικές κωδικοποίησης οι οποίες καθιστούν δύσκολη την υποκλοπή της πληροφορίας που μεταδίδεται.

Ένα ασύρματο δίκτυο είναι προστατευμένο σε δύο επίπεδα.

- Authentication – χρησιμοποιείται για την επιβεβαίωση ότι η συσκευή που ζητάει προσπέλαση στο δίκτυο έχει εγκριθεί.
- Encryption – αφού έχει εγκριθεί η συσκευή οι πληροφορίες που μεταδίδονται στο δίκτυο κρυπτογραφούνται για να την αποφυγή υποκλοπής.



2.2 Ιστορικά Στοιχεία:

Κάνοντας μια ιστορική αναδρομή ανακαλύπτουμε πως η πρώτη μορφή ασύρματης επικοινωνίας οφείλεται στον ασύρματο τηλεγράφο του Μαρκόνι το 1901. Χρησιμοποιώντας ως κώδικα επικοινωνίας ανάμεσα σε στεριά και πλοία τον κώδικα Μορς (το γνωστό δυαδικό σύστημα με τελειες και παύλες) που σαν ιδέα εξελίχθηκε και στα σύγχρονα ασύρματα δίκτυα.

Η ανάγκη σταδιακά για συρμάτινους αγωγούς, με τους γρήγορους ρυθμούς που κινείται η τεχνολογία των τηλεπικοινωνιών σε συνδιασμό με την χρήση των δορυφόρων, καταργείται, διευκολύνοντας έτσι την διασύνδεση των απομακρισμένων περιοχών του χάρτη. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα την δημιουργία και εκτόξευση του πρώτου τηλεπικοινωνιακού δορυφόρου μέσω της NASA το 1960.

Στη συνέχεια συναντάμε τα πρώτα ασύρματα δίκτυα που εμφανίστηκαν, τα ραδιοδίκτυα δεδομένων (Data) τεχνολογίας TCP/IP. Το 1964 αναπτύχθηκαν οι πρώτες τεχνικές μεταγωγής πακέτων (packet), όρος ο οποίος προτάθηκε απο τον D.W Davies του πανεπιστημίου National Physical Laboratory της Μ.Βρετανίας . Παράλληλα ο οργανισμός ARPA (Advance Research Projects Agency) των Η.Π.Α χρηματοδοτώντας προγράμματα έφτασε το 1969 στην δημιουργία του ARPAnet, πυρήνα του σημερινού Internet.

Την δεκαετία του 1970-1980 αρχίζει η ανάπτυξη της τεχνολογίας των ασύρματων δικτύων μετάδοσης πακέτων ενώ γνωρίζει μεγάλη ανάπτυξη στο διάστημα αυτό σε συνδιασμό με την διάδοση των μικροπολογιστών. Άξιο αναφοράς είναι και το πρώτο ολοκληρωμένο ασύρματο LAN χρησιμοποιώντας χαμηλού κόστους ερασιτεχνικά (ham-like) ραδιόφωνα, αποτέλεσμα ενός project ονομαζόμενο ALOHANET του πανεπιστημίου της Χαβάης. Το σύστημα περιλάμβανε επτά υπολογιστές διασκορπισμένους σε τέσσερα νησιά που επικοινωνούσαν με τον κεντρικό υπολογιστή στα νησιά Oahu χωρίς τη χρήση τηλεφωνικών γραμμών.

Η χρήση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων τα οποία μεταδίδονται στη γήινη ατμόσφαιρα ή στο διάστημα είναι απαραίτητη στην ασύρματη επικοινωνία. Όπως για παράδειγμα τα ραδιοκύματα χρησιμοποιούνται στα ασύρματα τηλέφωνα, στην κινητή τηλεφωνία, στη ραδιοεπικοινωνία και τα μικροκύματα που χρησιμοποιούνται στην ραδιοφωνική και τηλεοπτική μετάδοση.

Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του μέσου μεταδόσεως των ασύρματων δικτύων, ήταν ο λόγος της χρήσης των εξειδικευμένων πρωτοκόλλων για το υποεπίπεδο πρόσβασης μέσω (Medium Access Control) και του επιπέδου σύνδεσης δεδομένων (Data Link Layer) και συχνά και για ανώτερα επίπεδα (π.χ δρομολόγησης πακέτων).

Τα σημερινά τοπικά δίκτυα υπολογιστών υλοποιούνται με βάση την οικογένεια πρωτοκόλλων του 802.11, δηλαδή το πρότυπο Ethernet και το CSMA/CA, πρωτόκολλο πολλαπλής πρόσβασης με ανίχνευση φέροντος και αποφυγή συγκρούσεων.

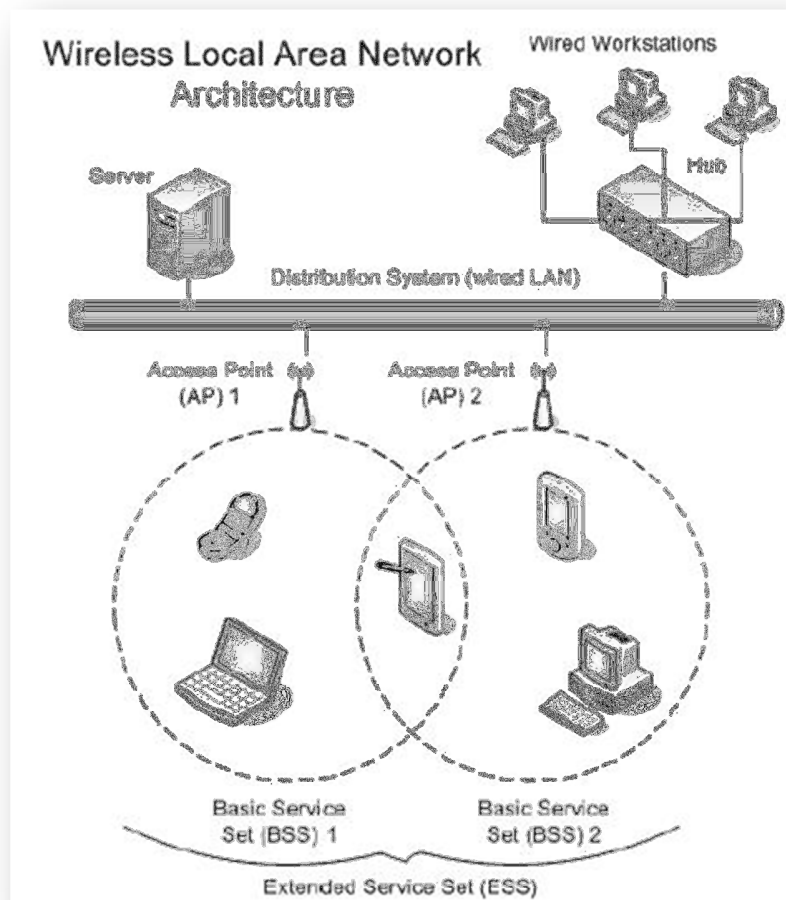
2.3 Αρχιτεκτονική Ασύρματων Δικτύων:

Η έννοια των ασύρματων δικτύων είναι η επικοινωνία και η ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ ηλεκτρονικών συσκευών χωρίς καλώδια και χωρίς να απαιτείται οπτική επαφή, ειδικά σε όλα τα νέα πρότυπα.

Τα μέρη ενός ασύρματου δικτύου χωρίζονται στην ασύρματη κάρτα δικτύου (wireless LAN adapter), η οποία επικοινωνεί με άλλες συσκευές που έχουν ασύρματη κάρτα δικτύου και στον πομποδέκτη-κόμβο (Access Point) που λειτουργεί και ως γέφυρα με το ενσύρματο δίκτυο.

Τα χαρακτηριστικά τους είναι : κάρτα δικτύου θυμίζει μια τυπική κάρτα δικτύου με μία μικρή κεραία ενώ ο πομποδέκτης έχει τις διαστάσεις ενός βιβλίου και εκτός από την κεραία έχει και τα κατάλληλα βύσματα για σύνδεση με σταθερό δίκτυο.

Τα περισσότερα ασύρματα δίκτυα, σε θέμα ασφάλειας χρησιμοποιούν μεθόδους εξουσιοδότησης των συνδεόμενων και κρυπτογράφησης των δεδομένων. Η τεχνική εναλλαγής συχνότητας (frequency hopping) χρησιμοποιείται από αρκετά πρότυπα όπου κάθε πομποδέκτης αλλάζει συχνότητα μετά την αποστολή/λήψη ενός πακέτου δεδομένων για την αποφυγή παρασίτων.



2.4 Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων

Με τον όρο ασύρματο δίκτυο αισθητήρων (ΑΔΑ / Wireless Sensor Network -WSN) εννοούμε ένα σύνολο από διασκορπισμένους αυτόνομους αισθητήρες που έχουν ως κύριο στόχο την παρακολούθηση φυσικών ή περιβαλλοντολογικών συνθηκών. Ένα δίκτυο αισθητήρων αποτελείται από εκατοντάδες ή χιλιάδες κόμβους, καθένας από τους οποίους συνδέεται με έναν ή και περισσότερους αισθητήρες.

Η δομή κάθε τέτοιου κόμβου είναι του δικτύου αισθητήρων είναι η εξής:

- ένας ραδιοπομποδέκτης με μια εσωτερική κεραία ή μια σύνδεση με μια εξωτερική κεραία
- ένας μικροελεγκτής
- ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα για την διασύνδεση με τους αισθητήρες
- μια πηγή ενέργειας, συνήθως μια μπαταρία ή μια ενσωματωμένη μορφή συγκομιδής ενέργειας

Υπάρχουν διάφορα είδη σε μέγεθος και κόστος κάθε κόμβου με αποτέλεσμα να υπάρχουν όρια στους πόρους όπως η ενέργεια, η μνήμη, υπολογιστική ταχύτητα και σε εύρος ζώνης τηλεπικοινωνιών. Με τη συνεργασία των κόμβων μπορεί να επιτευχθεί η μεταφορά δεδομένων μέσω του δικτύου σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία. Τα πιο μοντέρνα δίκτυα είναι ικανά και να δίνουν αλλά και να δέχονται πληροφορίες πράγμα που τους επιτρέπει να ελέγχουν την δραστηριότητα των αισθητήρων.

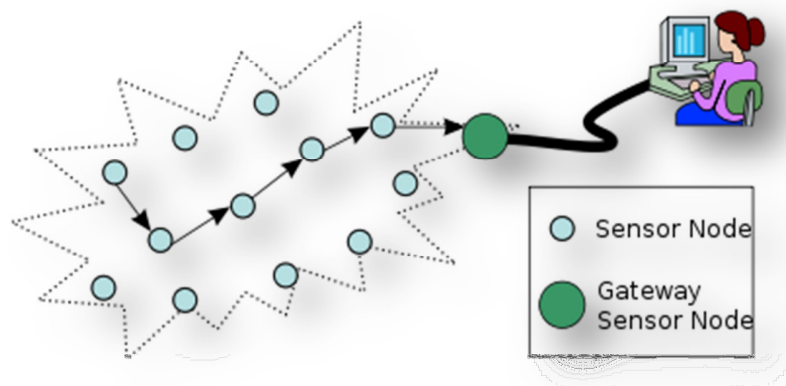
Ο αρχικός σκοπός της δημιουργίας των δικτύων αισθητήρων ήταν η εξυπηρέτηση στρατιωτικών ζητημάτων , όπως για παράδειγμα η παρακολούθηση πεδίων μάχης. Στις μέρες μας όμως τέτοια δίκτυα χρησιμοποιούνται σε διάφορες καταναλωτικές και βιομηχανικές εφαρμογές όπως η παρακολούθηση και ο έλεγχος της παραγωγής και η παρακολούθηση των μηχανημάτων υγείας. Σε αντίθεση με τα ασύρματα δίκτυα, τα δίκτυα αισθητήρων είναι σχεδιασμένα να λειτουργούν χωρίς επιτήρηση για μεγάλα χρονικά διαστήματα θέτοντας έτσι όμως το σοβαρό ζήτημα της ελαχιστοποίησης της καταναλισκόμενης ενέργειας τους αφού η αντικατάσταση ή η επαναφόρτωση της πηγής ενέργειας τους είναι αδύνατη.

Ένα δίκτυο αισθητήρων χαρακτηρίζεται από τα παρακάτω :

- ✓ το χρόνο ζωής: Ο αναμενόμενος χρόνος ζωής του δικτύου είναι από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά και κυριότερος περιοριστικός παράγοντας στην διάρκεια ζωής του είναι η χωρητικότητα του συσσωρευτή ενέργειας του συστήματος.
- ✓ την επεκτασιμότητα: Είναι σημαντικό για τον τελικό χρήστη να μπορεί να αναπτύξει δίκτυα τα οποία καλύπτουν μια ευρεία περιοχή παρατήρησης.
- ✓ την κάλυψη που παρέχει : Με την χρήση multi-hop τεχνικών είναι εφικτή η επέκταση της κάλυψης αρκετά πιο μακριά από την ακτίνα που επιτρέπει ο χρησιμοποιούμενος πομπός. Αν και η επέκταση της ακτίνας κάλυψης του δικτύου τείνει στο άπειρο μετά από ένα συγκεκριμένο αριθμό hop και μια συγκεκριμένη ακτίνα εκπομπής το συνολικό ισοζύγιο

κατανάλωσης ισχύος του δικτύου αυξάνεται, ενώ ταυτόχρονα μειώνεται ο χρόνος αντίδρασής το.

- ✓ το κόστος παραγωγής: Στόχος είναι το κόστος του κάθε κόμβου να είναι χαμηλό, ώστε το συνολικό κόστος του δικτύου να είναι χαμηλότερο από το κόστος ενός αντιστοίχων δυνατοτήτων συμβατικού.
- ✓ την ευκολία ανάπτυξης: Απαραίτητη προϋπόθεση για την ανάπτυξη ενός δικτύου αισθητήρων είναι, να γίνεται και από μη εξειδικευμένο προσωπικό.
- ✓ την ανίχνευση και διόρθωση σφαλμάτων
- ✓ το χρόνο απόκρισης: Η αντοχή σε σφάλματα είναι η δυνατότητα του δικτύου αισθητήρων να διατηρεί τη λειτουργικότητά του χωρίς διακοπές που να οφείλονται στις αποτυχίες των κόμβων του.
- ✓ τον τρόπο συγχρονισμού: Για να επιτευχθεί ο συγχρονισμός του δικτύου απαιτείται η κατασκευή και η διατήρηση μιας καθολικής ώρα συστήματος, η οποία θα χρησιμοποιείται για την χρονική ταξινόμηση των δεδομένων που καταγράφονται σε κάθε κόμβο του δικτύου.
- ✓ και την ασφάλεια που μπορεί να παρέχει.

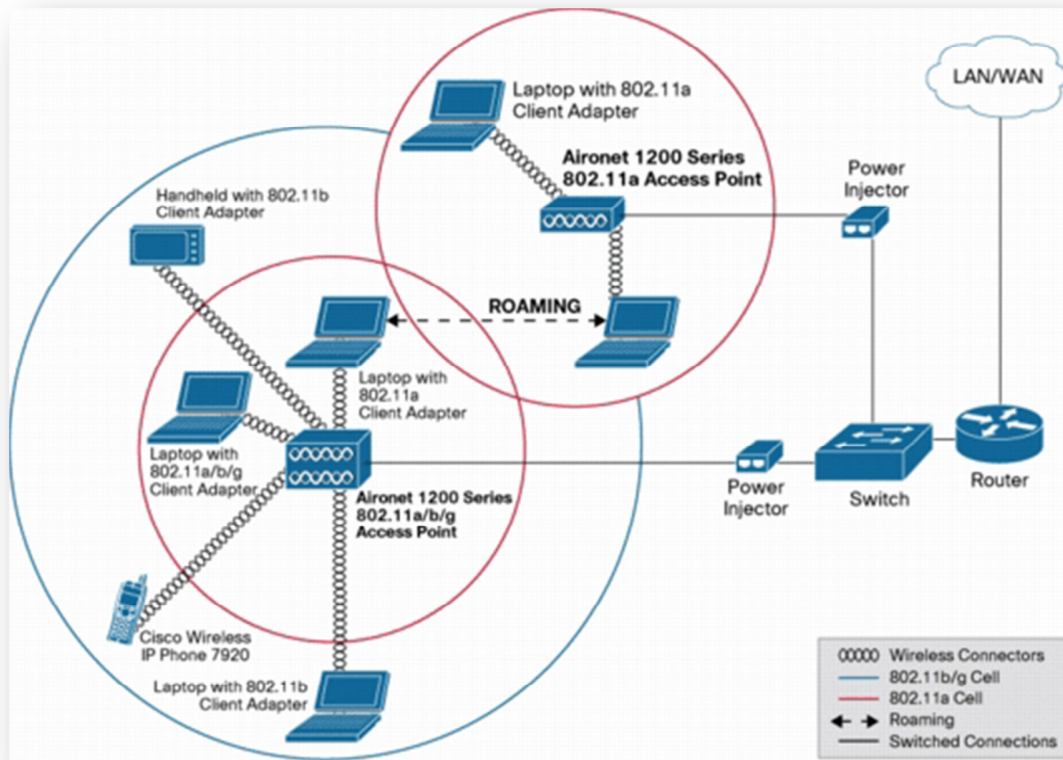


2.5 Τοπικά Ασύρματα Δίκτυα

Τα ασύρματα δίκτυα άλλαξαν την επικοινωνία των υπολογιστών αλλά και των χρηστών μιας και με τον αυξανόμενο ρυθμό των συσκευών που αλληλεπιδρούν με αυτούς, τα ασύρματα δίκτυα δίνουν λύσεις οι οποίες βοηθούν στην αποδοτικότητα. Για παράδειγμα σε ένα εργασιακό χώρο όπως μια εταιρεία, μια τράπεζα αλλά και μια σχολική μονάδα ή σε ένα νοσοκομείο.

Μερικά από τα πλεονεκτήματα τους είναι:

- **Δυνατότητα κίνησης :** Τα ασύρματα δίκτυα παρέχουν στους χρήστες πρόσβαση στα δεδομένα σε οποιοδήποτε σημείο του χώρου όπου καλύπτεται από αυτό, με συμπέρασμα να αυξάνεται η παραγωγικότητα και η αποδοτικότητα τους.
- **Παραγωγικότητα:** Η σταθερότητα που προσφέρεται από τα ασύρματα δίκτυα στους χρήστες συνεπάγεται στην παραγωγικότητα τους αφού η εργασία τους μπορεί να ολοκληρωθεί σε οποιαδήποτε θέση εντός του δικτύου.
- **Απλή και γρήγορη εγκατάσταση:** Η εγκατάσταση ενός WLAN μπορεί να γίνει εύκολα και γρήγορα χωρίς τα προβλήματα της καλωδίωσης που συνοδεύουν τα ενσύρματα δίκτυα.
- **Μειωμένο κόστος χρήσης:** Αντίθετα με το αρχικό κόστος του hardware υποστήριξης του τοπικού δικτύου το οποίο είναι μεγαλύτερο από το ενσύρματο, τα έξοδα εγκατάστασης και χρήσης είναι πολύ μικρότερα.
- **Εύκολη προσαρμογή:** Η ασύρματη τεχνολογία επιτρέπει τη χρήση του δικτύου σε χώρους που δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν καλώδια (π.χ. διατηρητέα κτίρια).
- **Δυνατότητα επέκτασης:** Με τα ασύρματα δίκτυα επιτυγχάνουμε την υποστήριξη ποικίλων περιοχών και εύρων, ξεκινώντας από απλά ισότιμα δίκτυα για μικρό αριθμό χρηστών μέχρι και εκτεταμένα δίκτυα με δυνατότητες περιαγωγής για χιλιάδες χρήστες σε μεγάλες αποστάσεις, για την κάλυψη των αναγκών των εφαρμογών.
- **Συμβατότητα :** Είναι εφικτή η σύνδεση των ασύρματων δικτύων με των ενσύρματων μέσω συγκεκριμένου εξοπλισμού έχοντας μεγαλύτερες δυνατότητες χρησιμοποιώντας τις εφαρμογές.
- **Λειτουργικότητα:** Η ασύρματη δικτύωση αποτελεί μια λειτουργική λύση για τους επιχειρησιακούς χώρους όπου η επικοινωνία επέβαλε καλωδίωση.
- **Ακίνδυνα για τον ανθρώπινο οργανισμό:** Για την εγκατάσταση χρησιμοποιείται ένας εντελώς ακίνδυνος εξοπλισμός για τον ανθρώπινο οργανισμό λόγω του ότι η ακτινοβολία είναι μη ιονίζουσα και τα επίπεδα πολύ χαμηλότερα από τα επιτρεπτά. Αρκεί να αναφέρουμε ότι μια ασύρματη κάρτα δικτύου (802.11b) ακτινοβολεί ισχύ 50 - 100 mWatt, ενώ ένα κινητό τηλέφωνο φτάνει και τα 2000 mWatt.



2.6 Μητροπολιτικά Ασύρματα Δίκτυα

Ως μητροπολιτικό δίκτυο (metropolitan area network ή MAN) θεωρούμε το δίκτυο υπολογιστών το οποίο καλύπτει μια πόλη ή πανεπιστημιούπολη. Συνήθως η λειτουργία του MAN αποσκοπεί στη σύνδεση τοπικών δικτύων υπολογιστών (LAN's) με τη χρήση ενός δικτύου κορμού (backbone technology) υψηλού εύρους ζώνης όπως για παράδειγμα οπτικές ίνες, παρέχοντας διασυνδέσεις προς δίκτυα ευρείας περιοχής ή στο Διαδίκτυο.

Όσον αφορά την εμβέλεια, γεωγραφικά ένα MAN βρίσκεται μεταξύ ενός WAN και ενός LAN, αφού προορίζεται για μεγαλύτερες περιοχές, από πολλά τετράγωνα με κτίρια μέχρι ολόκληρες πόλεις. Ένα MAN εξαρτάται από κανάλια επικοινωνίας με μεσαίο προς ψηλό ρυθμό διαμεταγωγής ενώ μπορεί να ανήκει και να ελέγχεται από ένα αλλά και από πολλούς οργανισμούς ταυτόχρονα. Επίσης μπορούν να έχουν καθεστώς ιδιοκτησίας και λειτουργίας δημόσιου πόρου.

Σε σύγκριση με τα μητροπολιτικά δίκτυα (MAN) τα οποία χρησιμοποιώντας καλώδια και τεχνολογίες όπως το Frame Relay, HDSL και το xDSL για να συνδέσουν απομακρυσμένα σημεία, τα ασύρματα μητροπολιτικά δίκτυα (WMAN) λειτουργούν με ασύρματη διασύνδεση σημείων τα οποία τυπικά απέχουν πολύ μεταξύ τους. Για παράδειγμα η σύνδεση δύο κτιρίων μιας εταιρείας στην ίδια πόλη, η διασύνδεση δύο σημείων σε διαφορετικές πόλεις κ.λπ. Μια βασική διαφορά επίσης με των ασύρματων δικτύων είναι το υλικό που χρησιμοποιείται στη διασύνδεση δύο σημείων (point-to-point) με

μεγάλη απόσταση, όπου στην περίπτωση αυτή απαιτείται μια κατευθυντική κεραία υψηλής ισχύος ώστε να μην εξασθενεί και να χάνεται το σήμα, εστιάζοντας στην απέναντι κεραία.

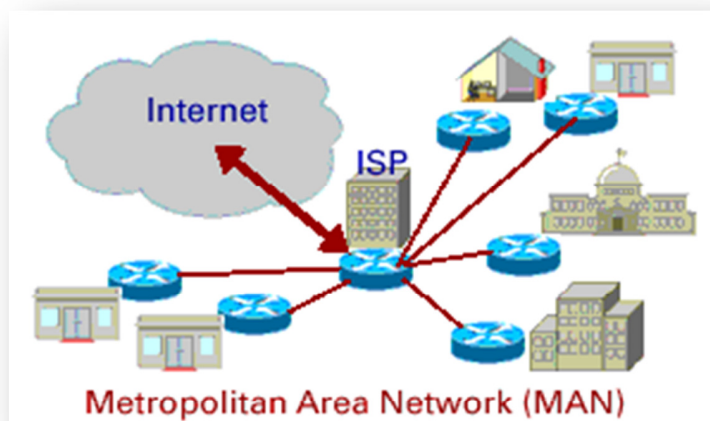
Μερικές τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στα μητροπολιτικά ασύρματα δίκτυα είναι:

- Ασυγχρόνιστος Τρόπος Μεταφοράς (Asynchronous Transfer Mode ή ATM)
- Κατανεμημένη Οπτική Διεπαφή Δεδομένων (FDDI)
- Επιλεγόμενη Υπηρεσία Δεδομένων πολλών Megabit (SMDS)

Οι τεχνολογίες αυτές σταδιακά αντικαθιστούνται από συνδέσεις η οποίες είναι βασισμένες στο Ethernet (όπως το Metro Ethernet). Οι συνδέσεις των MAN ανάμεσα στα τοπικά δίκτυα μπορούν να υλοποιηθούν χωρίς καλώδια, με τη χρήση μικροκυμάτων, ραδιομετάδοσης ή υπέρυθρου λέιζερ. Οι περισσότερες εταιρείες νοικιάζουν κυκλώματα από τηλεπικοινωνιακούς φορείς, λόγω του σημαντικού κόστους της τοποθέτησης καλωδίωσης μεγάλου μήκους.

Η Διπλή Αρτηρία Κατανεμημένης Ουράς (Distributed Queue Dual Bus ή DQDB), είναι το πρότυπο μητροπολιτικού δικτύου για επικοινωνίες δεδομένων. Χρησιμοποιώντας το DQDB, τα δίκτυα μπορούν να φτάσουν τα 30 χιλιόμετρα σε μήκος και να λειτουργούν σε ταχύτητες μεταξύ 34 και 155 Mbit/s.

Πολλά σημαντικά δίκτυα άρχισαν σαν MAN, όπως τα Internet peering points MAE-West και MAE-East, και το δίκτυο πολυμέσων Sohonet.

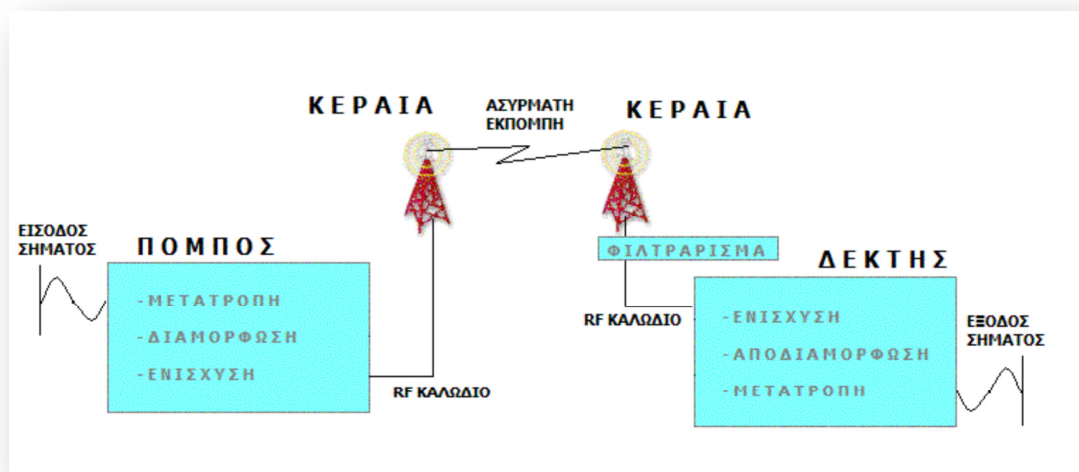


2.7 Εφαρμογές Ασύρματων Δικτύων

Ως αρχική ιδέα τα ασύρματα δίκτυα δημιουργήθηκαν για να αντικαταστήσουν τα ενσύρματα. Σήμερα η διάθεση αυτή έχει αλλάξει μιας και η ενσύρματη δικτύωση δεν μπορεί να παραγκωνιστεί τελείως λόγω της ασφάλειας και της αυξημένης και ταχύτερης μετάδοσης της, αλλά και της εύκολης εγκατάστασης της.

Οι βασικότερες εφαρμογές των ασύρματων δικτύων είναι:

- **Επέκταση των ενσύρματων LAN:** Τα ασύρματα δίκτυα χρησιμοποιούν το βασικό κορμό του ενσύρματου δικτύου (backbone) για τη διασύνδεση των χρηστών με αποτέλεσμα να μην είναι αναγκαία η καλωδίωση μέχρι τον τελευταίο χρήστη.
- **Διασύνδεση μεταξύ κτιρίων:** Χρησιμοποιώντας συσκευές όπως δρομολογητές ή γέφυρες, τα ασύρματα δίκτυα επιτυγχάνουν κατασκευές ένωσης μεταξύ κτιρίων και σύνδεσης μεταξύ τους.
- **Σποραδική πρόσβαση στο δίκτυο:** Μπορούν να χρησιμοποιηθούν ασύρματα δίκτυα σε χώρους όπως, βιβλιοθήκες ή εκαπιδευτικά ιδρύματα όπου οι χρήστες κινούνται ελεύθερα, έχοντας έτσι πρόσβαση στο ενσύρματο δίκτυο του κάθε οργανισμού.
- **Δημιουργία Ad-Hoc δικτύων:** Τα δίκτυα Ad-Hoc είναι αποκεντρωμένα peer to peer δίκτυα που δημιουργούνται για να ικανοποιήσουν άμεσα κάποιες ανάγκες. Όπως για παράδειγμα σε συνεδριακούς χώρους, αίθουσες διδασκαλίας όπου οι χρήστες μπορούν να ανταλλάξουν δεδομένα μέσω ενός προσωρινού δικτύου χωρίς να υπάρξει κάποια διαμόρφωση χώρου εκ των προτέρων.



2.7.1 WAP (Wireless Application Protocol)

Το WAP πρωτόκολλο ασύρματων εφαρμογών αναπτύχθηκε από τον οργανισμό WAP Forum που απαρτίζεται από τους ισχυρότερους τηλεπικοινωνιακούς οργανισμούς. Ήταν μία εκδοχή του HTTP (το HTTP είναι το βασικό πρωτόκολλο του Internet) με λιγότερες δυνατότητες. Είναι μια τεχνολογία που καθιστά τις ασύρματες συσκευές σε χρήσιμα προσωπικά "εργαλεία", μέσω των οποίων μπορεί να εξασφαλιστεί η πρόσβαση των χρηστών σε διάφορες ηλεκτρονικές πηγές πληροφοριών και υπηρεσίες, ενώ αυτοί βρίσκονται εν κινήσει.

Αντίθετα από τα παραδοσιακά προγράμματα περιήγησης στο web, τα προγράμματα περιήγησης WAP σχεδιάστηκαν έτσι, ώστε να εκτελούνται μέσα στους περιορισμούς μνήμης, στη μικρή επεξεργαστική ισχύ, το μικρό εύρος ζώνης και τη χαμηλή ανάλυση.

Μερικές από τις πιο δημοφιλείς εφαρμογές WAP που εμφανίστηκαν στην αγορά εκείνη την εποχή ήταν με ταπετσαρίες και ήχους κλήσης, με τους οποίους οι χρήστες μπορούσαν να εξατομικεύσουν τα τηλέφωνα τους για πρώτη φορά.

2.7.2 Constant Bit Rate (CBR)

Η CBR είναι ένας όρος που χρησιμοποιείται στις τηλεπικοινωνίες, σχετικά με την ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών (QoS). Συγκρίνετε με την μεταβλητή bitrate.

Όταν αναφερόμαστε σε codecs, CBR κωδικοποίηση σημαίνει ότι ο ρυθμός με τον οποίο μεταδίδονται τα δεδομένα ενός κωδικοποιητή είναι σταθερός. Η CBR είναι χρήσιμη για την συνεχή ροή των πολυμέσων σε περιορισμένα κανάλια, δεδομένου ότι υποστηρίζει τον μέγιστο ρυθμό bit που θέλουμε, έτσι η CBR μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να επωφεληθούν από όλο σύνολο. Ωστόσο δεν είναι η βέλτιστη επιλογή για αποθήκευση δεδομένων καθώς δεν εντοπίζει αρκετά από αυτά για σύνθετα τμήματα και χάνονται δεδομένα σε σχετικά απλά τμήματα.

Το πρόβλημα για την μη εύρεσης επαρκή δεδομένων για τα σύνθετα τμήματα θα μπορούσε να λυθεί με την επιλογή ενός πιο μεγάλου bitrate για να εξασφαλιστεί ότι θα υπάρχουν αρκετά bits για το όλο σύνολο της διαδικασίας κωδικοποίησης, αν και το μέγεθος του αρχείου στο τέλος θα είναι αναλογικά μεγαλύτερο.

2.7.3 Variable Bit Rate (VBR):

Η VBR είναι ένας όρος που χρησιμοποιείται στις τηλεπικοινωνίες και την πληροφορική, που σχετίζεται με το bitrate χρησιμοποιώντας ήχο ή βίντεο κωδικοποίηση. Σε αντίθεση με την CBR, τα VBR αρχεία μεταβάλλουν τον όγκο των δεδομένων εξόδου ανά τμήμα του χρόνου.

Επίσης η VBR επιτρέπει το υψηλότερο bitrate που θα διατεθεί για τα πιο πολύπλοκα τμήματα των πολυμέσων αρχείων, ενώ διατίθεται λιγότερος χώρος για τα απλά τμήματα. Ο μέσος όρος των ποσοστών αυτών μπορεί να υπολογιστεί για να παράγει ένα μέσο bitrate για το αρχείο.

Πλεονεκτήματα:

Τα πλεονεκτήματα της VBR είναι ότι παράγει ένα καλύτερο quality-to-space ratio σε σύγκριση με ένα αρχείο CBR που περιέχουν τα ίδια δεδομένα. Τα διαθέσιμα bits χρησιμοποιούνται με μεγαλύτερη ευελιξία για την κωδικοποίηση των δεδομένων ήχου ή βίντεο με μεγαλύτερη ακρίβεια, με λιγότερα bits που χρησιμοποιούνται σε λιγότερο απαιτητικά περάσματα και περισσότερα bits χρησιμοποιούνται σε difficult-to-encode περάσματα.

Κεφάλαιο 3^ο

3.1 ΜΑC Πρωτόκολλα

Ο όρος πρωτόκολλο χρησιμοποιείται ιδιαίτερα από τον διπλωματικό κόσμο για να καθορίσει τον τρόπο (κώδικα) συμπεριφοράς δύο συμβαλλόμενων επικοινωνούντων μερών. Ο ίδιος όρος με παρόμοιο νόημα χρησιμοποιείται και στο πεδίο των υπολογιστών.

Πιο συγκεκριμένα τα πρωτόκολλα δικτύων είναι πρότυπα που επιτρέπουν στους υπολογιστές να επικοινωνούν ο ένας με τον άλλον. Καθορίζουν πως οι υπολογιστές πρέπει να προσδιορίσουν ο ένας τον άλλον στο δίκτυο, τη μορφή που πρέπει να λάβουν τα στοιχεία κατά τη διέλευσή τους και πώς πρέπει οι πληροφορίες να αναδημιουργηθούν μόλις φτάσουν στον τελικό προορισμό τους.

Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να αναφερθούμε στο εξής:
Συχνά ακούμε για δίκτυο TCP/IP ή δίκτυο Ethernet κτλ. Στην πραγματικότητα, δεν υπάρχει δίκτυο TCP/IP ή δίκτυο Ethernet αλλά δίκτυο που χρησιμοποιεί / συμμορφώνεται με το πρωτόκολλο TCP/IP ή αντίστοιχα το πρωτόκολλο Ethernet. Υπό αυτή την έννοια το πρωτόκολλο είναι το αντίστοιχο ενός σχεδίου κατασκευής συγκεκριμένου έργου, που καθοδηγεί αυτή την κατασκευή αλλά δεν αποτελεί τμήμα αυτής.

Όταν ασχολούμαστε με πρωτόκολλα σε δικτυακό περιβάλλον θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τρία πράγματα:

1. Υπάρχουν πολλά πρωτόκολλα. Ενώ όλα επιτρέπουν βασικές λειτουργίες επικοινωνίας, ωστόσο εξυπηρετούν διαφορετικούς σκοπούς και υπηρετούν διαφορετικές λειτουργίες.
2. Μερικά πρωτόκολλα «δουλεύουν» σε διάφορα επίπεδα του OSI. Το επίπεδο που δουλεύει κάθε πρωτόκολλο περιγράφει και τις λειτουργίες του.
3. Πολλά πρωτόκολλα συνεργάζονται και αποτελούν ένα σύνολο πρωτοκόλλων που ονομάζεται Protocol Stack ή Suite.

3.1.1 Πρότυπο 802.11

Το πρότυπο 802.11 είναι το βασικό πρότυπο για τα ασύρματα LAN. Κάθε υπολογιστής συνδέεται στο LAN μέσω ενός σημείου πρόσβασης το οποίο λέγεται Access Point. Υπάρχει και η περίπτωση δικτύων ad hoc στα οποία οι υπολογιστές συνδέονται μεταξύ τους χωρίς τη διαμεσολάβηση AP.

Τα πρότυπα 802.11 είναι ευρύτερα γνωστά ως «WiFi» επειδή η WiFi Alliance παρέχει την πιστοποίηση για τα προϊόντα που εμπίπτουν στις προδιαγραφές του 802.11. Αυτή η οικογένεια πρωτοκόλλων αποτελεί το καθιερωμένο πρότυπο της βιομηχανίας στο χώρο των ασύρματων τοπικών δικτύων. Η ονομασία WiFi χρησιμοποιείται για να προσδιορίσει τις συσκευές WLAN που βασίζονται στην προδιαγραφή IEEE 802.11 b/g/n και εκπέμπουν σε συχνότητες 2.4GHz. Ωστόσο το WiFi έχει επικρατήσει και ως όρος αναφερόμενος συνολικά στα ασύρματα τοπικά δίκτυα.

Συνήθεις εφαρμογές του είναι η παροχή ασύρματων δυνατοτήτων πρόσβασης στο Internet, τηλεφωνίας μέσω διαδικτύου (VoIP) και διασύνδεσης μεταξύ ηλεκτρονικών συσκευών όπως τηλεοράσεις, ψηφιακές κάμερες, DVD Player και ηλεκτρονικοί υπολογιστές. Σε φορητές ηλεκτρονικές συσκευές το 802.11 βρίσκει εφαρμογές ασύρματης μετάδοσης, όπως π.χ. στη μεταφορά φωτογραφιών από ψηφιακές κάμερες σε υπολογιστές για περαιτέρω επεξεργασία και εκτύπωση, αν και σε αυτόν τον τομέα έχει υποσκελιστεί από το πρωτόκολλο Bluetooth για τα πολύ μικρότερης εμβέλειας ασύρματα προσωπικά δίκτυα.

Ο μηχανισμός πρόσβασης που χρησιμοποιείται από το MAC επίπεδο είναι ο CSMA / CA. Χρησιμοποιούνται δύο αλγόριθμοι για τη λειτουργία του πρωτοκόλλου, ο DCF (Distributed Coordination Function) και ο PCF (Point Coordination Function). Αναλυτικότερα θα εξεταστούν ο DCF και η μετεξέλιξή του, ο EDCA (Enhanced Distributed Coordination Function), ο οποίος χρησιμοποιείται από το 802.11e για την παροχή ποιότητας υπηρεσιών.

Ο Distributed Coordination Function (DCF) δε χρειάζεται υποχρεωτικά κάποιο σημείο πρόσβασης, για να λειτουργήσει. Έτσι, καθίσταται διαθέσιμος για λειτουργία σε Infrastructure αλλά και Ad-hoc δίκτυα.

Κάθε σταθμός ανταγωνίζεται για την πρόσβαση στο μέσο ξεχωριστά, ακολουθώντας τα βήματα που περιγράφονται παρακάτω:

- Κάθε σταθμός, πριν επιχειρήσει να εκπέμψει, ελέγχει αν το μέσο μετάδοσης είναι διαθέσιμο. Ο έλεγχος γίνεται και σε φυσικό επίπεδο και μέσω εικονικής ανίχνευσης φέροντος.
- Αν το μέσο είναι δεσμευμένο, ο σταθμός συνεχίζει να ελέγχει το ασύρματο μέσο περιοδικά, μέχρι αυτό να ελευθερωθεί. Αν αυτό είναι διαθέσιμο, ο σταθμός περιμένει κατά μία συγκεκριμένη χρονική περίοδο (βλ. Χρόνοι Αναμονής) και ελέγχει ξανά το μέσο.
- Αν το μέσο ανιχνευθεί δεσμευμένο, ξεκινάει ο αλγόριθμος της δυαδικής εκθετικής υποχώρησης (Binary exponential back-off), για να καθοριστεί πόσο θα είναι το επιπλέον διάστημα αναμονής.

Αυτό γίνεται εφικτό επιλέγοντας μία τυχαία τιμή ανάμεσα στους χρόνους CW_{min} και CW_{max}. Μόλις περατωθεί και αυτός ο χρόνος, ο σταθμός στέλνει το πλαίσιο. Αν παρατηρηθεί σύγκρουση, ο σταθμός ξεκινάει πάλι με τη διαδικασία της δυαδικής εκθετικής υποχώρησης, επιλέγοντας αυτή τη φορά χρόνο μεγαλύτερο από τον προηγούμενο. Η διαδικασία αυτή γίνεται ανελλιπώς, μέχρι την πετυχημένη προώθηση του πλαισίου από τον σταθμό ή μέχρι οι επαναλήψεις να περάσουν ένα προκαθορισμένο κατώφλι επαναλήψεων απορρίπτοντας έτσι το πλαίσιο.

Αν το μέσο ανιχνευθεί διαθέσιμο, προφανώς, το πλαίσιο προωθείται στον παραλήπτη. Αυτός είναι ο βασικός μηχανισμός λειτουργίας ενός σταθμού για την απόκτηση ελέγχου στο μέσο μέσου του

αλγορίθμου DCF. Βέβαια υπάρχουν πάρα πολλές προϋποθέσεις για τη μετάδοση στο μέσο αλλά και έλεγχοι που πρέπει να γίνουν. Υπάρχουν κανόνες, στους οποίους η συμπεριφορά του σταθμού είναι εξαρτώμενη από την κατάληξη της προηγούμενης μετάδοσης ή γενικά με μία συγκεκριμένη κατάσταση.

Τέτοιοι κανόνες παρουσιάζονται παρακάτω:

- Επιτυχημένη θεωρείται κάθε μετάδοση του πλαισίου, μόνο αν ληφθεί σωστά και το αντίστοιχο πλαίσιο Ack. Όλα τα πλαίσια μονοεκπομπής (unicast) πρέπει να επιβεβαιώνονται από τον παραλήπτη. Στην αντίθετη περίπτωση, δηλαδή στην πολυεκπομπή (multicast) ή στην ευρυεκπομπή (broadcast) δεν απαιτείται επιβεβαίωση. Είναι ευθύνη του αποστολέα να ξαναστείλει το πλαίσιο, αν δεν ληφθεί η ανάλογη επιβεβαίωση. Κάθε αποτυχία αποστολής που οφείλεται είτε σε αδυναμία ελέγχου του μέσου είτε σε μη λήψη Ack αυξάνει έναν μετρητή που χρησιμεύει για τον προσδιορισμό του χρόνου μέχρι την επόμενη προσπάθεια αποστολής του πλαισίου.
- Κάθε σταθμός που συμμετέχει στην ανταλλαγή πολλαπλών πλαισίων μπορεί να ανανεώνει το NAV (μία τιμή που ενημερώνει τους γύρω σταθμούς για τον χρόνο που χρειάζεται ένας σταθμός να κρατήσει κατειλημένο το μέσο) μετά από κάθε λήψη πλαισίου. Έτσι, ο έλεγχος του μέσου διατηρείται, μέχρι να ολοκληρωθεί η ανταλλαγή. Η διατήρηση του ελέγχου μπορεί να εξασφαλιστεί επιπλέον με τη χρήση του SIFS στις περιπτώσεις που έχουν ήδη αναφερθεί.
- Υπάρχουν συγκεκριμένα κατώφλια μεγέθους για τα πλαίσια. Κάθε πλαίσιο μεγαλύτερο από το κατώφλι RTS πρέπει να σταλεί χρησιμοποιώντας τον μηχανισμό RTS/CTS. Κάθε πλαίσιο μεγαλύτερο από το κατώφλι κατακερματισμού διασπάται σε μικρότερα πλαίσια, πριν σταλεί.
- Όπως έχει ήδη αναφερθεί, ο εντοπισμός και η διόρθωση κάποιου λάθους κατά τη μετάδοση είναι ευθύνη του αποστολέα. Σε περίπτωση που η αποστολή ενός πλαισίου δεν ολοκληρωθεί κανονικά, ο αποστολέας πρέπει να το ξαναστείλει. Για τον έλεγχο της διαδικασίας αυτής κάθε πλαίσιο έχει έναν μετρητή (retry counter) συσχετισμένο με αυτό. Κάθε φορά που το πλαίσιο αυτό επανεκπέμπεται ο retry counter που του αντιστοιχεί αυξάνεται κατά 1. Αν ο μετρητής ξεπεράσει κάποιο προκαθορισμένο όριο, το πλαίσιο απορρίπτεται και η απώλειά του αναφέρεται στα υψηλότερα στρώματα.

Χρόνοι Αναμονής

Ο παραπάνω αλγόριθμος (DCF) χρησιμοποιεί διάφορες χρονικές παραμέτρους για τον έλεγχο της πρόσβασης στο μέσο. Γενικά, κάθε σταθμός τη στιγμή που θέλει να μεταδώσει, πρέπει πρώτα να περιμένει ένα από τα παρακάτω χρονικά διαστήματα (Interframe Space) και αν δεν ανιχνευτεί άλλη μετάδοση σε αυτό, τότε να αποκτήσει πρόσβαση στο μέσο. Τα χρονικά διαστήματα που χρησιμοποιεί είναι τα ακόλουθα:

- Short Interframe Space (SIFS): Ο μικρότερος χρόνος αναμονής, χρησιμοποιείται για μεταδόσεις μεγίστης προτεραιότητας, όπως είναι τα RTS / CTS πλαίσια και οι επιβεβαιώσεις (ACK).
- DCF Interframe Space (DIFS): Ο χρόνος αναμονής για μετάδοση πακέτου μετά από προηγούμενη επιτυχημένη μετάδοση στο μέσο. Αναφέρεται σε λειτουργία με βάση τον DCF αλγόριθμο και είναι μεγαλύτερος από τον SIFS.

- Extended Interframe Space (EIFS): Ο μέγιστος χρόνος αναμονής, δεν έχει κάποια ορισμένη τιμή και χρησιμοποιείται όταν συμβεί κάποιο σφάλμα κατά τη μετάδοση του πλαισίου. Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό, κάθε σταθμός θα πρέπει να έχει τη δυνατότητα να ανιχνεύει όποια άλλη μετάδοση βρίσκεται σε εξέλιξη, πριν αυτός ξεκινήσει την όποια μετάδοση. Τη μετεξέλιξη του DCF, τον EDCA, θα δούμε παρακάτω στην ανάλυση του 802.11e.

3.1.2 Πρότυπο 802.11e

Στα MAC πρωτόκολλα του IEEE 802.11 δεν παρέχεται καμία προτεραιότητα στους σταθμούς που μεταδίδουν. Όλοι οι σταθμοί έχουν την ίδια προτεραιότητα, με αποτέλεσμα να μην μπορούν να υποστηριχθούν εφαρμογές που απαιτούν ποιότητα υπηρεσίας.

Ο σκοπός του 802.11e είναι να παρέχει μηχανισμούς που θα προσδίδουν ποιότητα υπηρεσιών ή όπως έχει εδραιωθεί «QoS» (Quality of Service). Το παραπάνω πρωτόκολλο εμφανίστηκε για πρώτη φορά το 2005 και προτείνει κάποιες προσθήκες στο επίπεδο MAC του 802.11. Οι σταθμοί που λειτουργούν πάνω στο συγκεκριμένο πρωτόκολλο είναι αναβαθμισμένοι και ένας τέτοιος σταθμός θα μπορούσε προαιρετικά να δουλεύει και σαν κεντρικός ελεγκτής για όλους τους άλλους σταθμούς στην ίδια BSS δομή.

Η αρχιτεκτονική του πρωτοκόλλου στηρίζεται στην παροχή των PCF και HCF ως υπηρεσιών του DCF. Η παροχή ποιότητας υπηρεσιών περιλαμβάνει ένα επιπλέον συντονιστικό μηχανισμό που ονομάζεται HCF, ο οποίος χρησιμοποιείται μόνο σε δίκτυα παροχής ποιότητας υπηρεσιών από όλους τους σταθμούς υποχρεωτικά. Ο HCF συνδυάζει μηχανισμούς από τον DCF, τον PCF και κάποιους ενισχυμένους μηχανισμούς παροχής υπηρεσιών. Όλοι μαζί επιτρέπουν την ομοιόμορφη ανταλλαγή από αλυσίδες πλαισίων, οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν για μεταφορά δεδομένων, ώστε να παρέχεται ποιότητα υπηρεσιών. Χρησιμοποιεί επίσης τόσο μία μέθοδο πρόσβασης στο κανάλι μέσω ανταγωνισμού που ονομάζεται EDCA (Enhanced Distributed Channel Access), όσο και μία μέθοδο ελεγχόμενης πρόσβασης στο μέσο που ονομάζεται HCCA (HCF Controlled Channel Access) για πρόσβαση άνευ ανταγωνισμού.

3.1.3 Πρότυπο 802.15.4

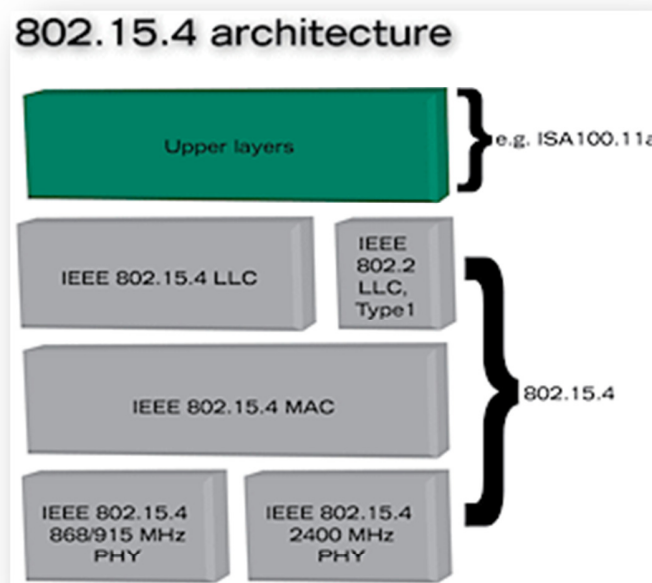
Το πρωτόκολλο IEEE 802.15.4 προσδιορίζει τα χαρακτηριστικά του φυσικού επιπέδου (PHY) και του υπό-επιπέδου Ελέγχου Προσπέλασης στο Μέσο Μετάδοσης MAC (Media Access Control) για ασύρματη, χαμηλής ροής και περιορισμένης εμβέλειας επικοινωνία μεταξύ σχετικά απλών συσκευών, που καταναλώνουν ελάχιστη ενέργεια και τυπικά λειτουργούν σε ένα προσωπικό χώρο λειτουργίας (Personal Operating Space, POS). Είναι σχεδιασμένο συνεπώς για Low Rate Wireless Personal Area

Networks (LRWPAN) πλεονέκτημα των οποίων συνιστά η ευκολία στην εγκατάσταση, η αξιόπιστη μετάδοση δεδομένων, η λειτουργία περιορισμένης έκτασης, το χαμηλό κόστος και η λογική διάρκεια ζωής της μπαταρίας, ενώ διατηρούν παράλληλα μια απλή και ευέλικτη στοίβα πρωτοκόλλων.

Είναι η βάση για τις προδιαγραφές γνωστών ασύρματων τεχνολογιών δικτύων, όπως το ZigBee, WirelessHART, ISA100.11a, MiWi, Thread και 6LoWPAN. Τα πρότυπα αυτά έχουν κοινό χαρακτηριστικό την ασύρματη δικτύωση συσκευών με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, το οποίο είναι και το ζητούμενο, ώστε να λειτουργεί αποδοτικά ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων σε χώρους όπου δεν υπάρχει η δυνατότητα εύκολης πρόσβασης στους κόμβους.

Οι ασύρματες ζεύξεις υπό το πρότυπο 802.15.4 μπορούν να λειτουργήσουν σε τρεις ISM (Industrial Scientific Medical) ζώνες συχνοτήτων, με ρυθμούς δεδομένων 250kbps στη ζώνη των 2.4 GHz, 40kbps στη ζώνη των 915 MHz και 20 kbps στη ζώνη των 868 MHz.

Στο πρωτόκολλο 802.15.4 εκχωρούνται συνολικά 27 κανάλια, με 16 κανάλια στη ζώνη των 2.4 GHz, 10 κανάλια στη ζώνη των 915 MHz και 1 κανάλι στη ζώνη των 868 MHz.



3.1.4 ZigBee

Το ZigBee είναι μία από τις πιο νέες τεχνολογίες στο χώρο των ασύρματων δικτύων προσωπικού χώρου (WPANs). Αυτή η τεχνολογία προήλθε από τη συνεργασία της εταιρίας ZigBee Alliance με την επιτροπή IEEE 802.15.4.

Το ZigBee αναπτύσσεται για να καλύψει τις μοναδικές ανάγκες των χαμηλού κόστους, χαμηλής ισχύος, ασύρματων δικτύων αισθητήρων. Συγκεκριμένα το ZigBee είναι το όνομα μιας προδιαγραφής για μια ακολουθία υψηλού επιπέδου πρωτοκόλλων επικοινωνίας που χρησιμοποιούν οι μικροί, χαμηλής ισχύος ψηφιακοί δεκτές βασισμένοι στο 802.15.4 πρότυπο της IEEE για τα ασύρματα προσωπικά τοπικά δίκτυα(WPAN), όπως για παράδειγμα τα ασύρματα ακουστικά που συνδέονται με τα κινητά τηλέφωνα. Η τεχνολογία προορίζεται να είναι απλούστερη και φθηνότερη από άλλα ασύρματα προσωπικά, τοπικά δίκτυα (WPAN), όπως το Bluetooth. Το ZigBee στοχεύει στις εφαρμογές ραδιοσυχνότητας (RF) που απαιτούν ένα χαμηλό ρυθμό μεταφοράς δεδομένων, μεγάλη ζωή μπαταριών, και εξασφαλισμένη δικτύωση.



Τα πρότυπα εκμεταλλεύονται πλήρως το 802.15.4 πρότυπο της IEEE και λειτουργούν στις χωρίς άδεια ζώνες παγκοσμίως στις συχνότητες:

- 2.400-2.484 GHz
- 902-928 MHz
- 868.0-868.6 MHz

Το ZigBee είναι χαμηλού κόστους, χαμηλής ισχύος, ασύρματα πρότυπα δικτύωσης πλέγματος. Το χαμηλότερο κόστος επιτρέπει στην τεχνολογία για να επεκταθεί ευρέως στις ασύρματες εφαρμογές

ελέγχου και παρακολούθησης, η χαμηλή κατανάλωση ισχύος επιτρέπει τη μακρύτερη ζωή με μικρότερες μπαταρίες, και η δικτύωση πλέγματος παρέχει υψηλή αξιοπιστία και μεγαλύτερη ακτίνα λειτουργίας.

Χαρακτηριστικά του πρωτοκόλλου ZigBee:

- Χαμηλός κύκλος καθήκοντων - παρέχει μακριά ζωή μπαταριών
- Χαμηλή λανθάνουσα κατάσταση
- Υποστηρίζει πολλές τοπολογίες δικτύων: Στατικός, δυναμικός, αστέρι και πλέγμα (Static, dynamic, star and mesh)
- Άμεσο απλωμένο φάσμα ακολουθίας (DSSS) Direct Sequence Spread Spectrum
- Μέχρι 65.000 κόμβοι σε ένα δίκτυο
- 128-bit AES encryption κρυπτογράφηση - παρέχει ασφαλείς συνδέσεις μεταξύ των συσκευών
- Αποφυγή σύγκρουσεων
- Ποιοτική ένδειξη συνδέσεων
- Σαφής αξιολόγηση των καναλιών

3.1.5 Bluetooth

Μέχρι τα τέλη του '90, δεν είχε δημιουργηθεί κάποιο ευρέως αποδεκτό πρότυπο WPAN, όπως ούτε και αντίστοιχες εμπορικές εφαρμογές. Η Ericsson τότε πρωτοπόρησε και έθεσε τα θεμέλια για την ανάπτυξη μιας καινούργιας τεχνολογίας που θα αποσκοπούσε στην δημιουργία τοπικών δικτύων πολύ μικρής εμβέλειας με την ασύρματη και ad hoc δικτύωση ετερογενών φορητών συσκευών. Το πρότυπο αυτό που προέκυψε υιοθετήθηκε από την IEEE ως πρότυπο 802.15 για WPAN. Έτσι οι σχεδιαστές έπρεπε στη συνέχεια να επιλέξουν ένα όνομα που θα έκανε την τεχνολογία αυτή γνωστή σε όλο το κόσμο, αφού οι Σουηδοί εμπνευστές του ήταν βέβαιοι πως θα έφερνε πιο κοντά τους ανθρώπους και τις συσκευές.

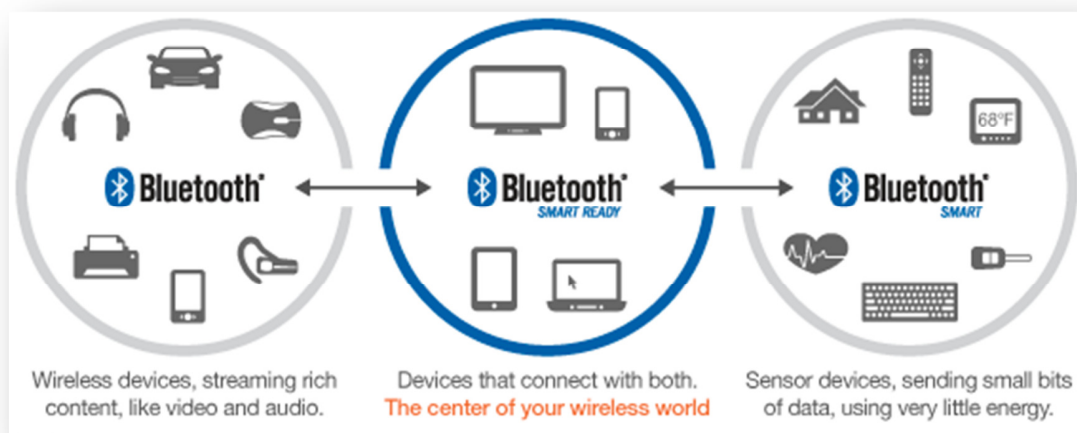
Γενικά το Bluetooth είναι ένα βιομηχανικό πρότυπο για ασύρματα προσωπικά δίκτυα υπολογιστών (Wireless Personal Area Networks, WPAN). Τα οποία WPAN κατατάσσονται στην μικρότερη βαθμίδα μεγέθους ασύρματων δικτύων, αφού θεωρούνται τοπικά δίκτυα μικρής εμβέλειας με σκοπό την ασύρματη και ad hoc δικτύωση ετερογενών φορητών συσκευών. Θεωρείται λοιπόν ως μια ασύρματη τηλεπικοινωνιακή τεχνολογία μικρών αποστάσεων, η οποία μεταδίδει σήματα μέσω μικροκυμάτων σε ψηφιακές συσκευές. Συνεπώς, το Bluetooth πρόκειται για ένα πρωτόκολλο που παρέχει προτυποποιημένη ασύρματη επικοινωνία ανάμεσα σε PDA, κινητά τηλέφωνα, φορητούς υπολογιστές, προσωπικούς υπολογιστές, εκτυπωτές καθώς και ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές ή κάμερες, μέσω μιας ασφαλούς, φθηνής και παγκοσμίως διαθέσιμης χωρίς ειδική άδεια ραδιοσυχνότητας μικρής εμβέλειας. Ο τεχνικός ορισμός για το Bluetooth είναι ένα πρωτόκολλο ασύρματης δικτύωσης σε φυσικό επίπεδο, υποεπίπεδο MAC και προεραϊτικά, υποεπίπεδο LLC.

Εφαρμογές

Το Bluetooth βοήθησε στην κατάργηση των καλωδίων, όπου παλιά ήταν απαραίτητη για την σύνδεση μεταξύ υπολογιστών, φορητών υπολογιστών χειρός, κινητών τηλεφώνων και άλλων ψηφιακών συσκευών. Επίσης επιτρέπει την σύνδεση του κινητού με τον υπολογιστή, τη μεταφορά δεδομένων όπως εικόνες, επαφές και σημειώσεις από κινητό προς κινητό και τη σύνδεση στο Internet, χωρίς να χρησιμοποιηθούν καθόλου καλώδια και πολύπλοκες ρυθμίσεις.

Οι εφαρμογές του λοιπόν είναι πολλαπλές:

- Ασύρματη δικτύωση μεταξύ επιτραπέζιου και φορητού υπολογιστή, σε έναν περιορισμένο χώρο με ελάχιστο διαθέσιμο εύρος ζώνης.
- Ασύρματα περιφερειακά, όπως εκτυπωτές, ποντίκια και πληκτρολόγια, τα οποία επικοινωνούν με κάποιον επιτραπέζιο ή φορητό υπολογιστή.
- Ασύρματη μεταφορά ψηφιακών αρχείων (εικόνες, mp3 κλπ) ανάμεσα σε κινητά τηλέφωνα και PDA.
- Ασύρματα ακουστικά για κινητά τηλέφωνα και Smartphone.
- Ιατρικές εφαρμογές – δοκιμάζονται συσκευές από εταιρίες που παρέχουν ηλεκτρονικές συσκευές προχωρημένης ιατρικής.
- Ορισμένοι δέκτες GPS μεταφέρουν πληροφορίες NMEA μέσω Bluetooth.



3.1.6 Bluetooth Low Energy (BLE)

Το Bluetooth Low Energy (BLE) είναι η εξέλιξη της τεχνολογίας Bluetooth. Λέγεται επίσης και Bluetooth 4.0 ή Bluetooth Smart. Το 2006 η τεχνολογία αυτή εισήχθη υπό την ονομασία Wibree αλλά εν τέλει ενσωματώθηκε στην οικογένεια του Bluetooth το 2010.

Το κύριο πλεονέκτημα του είναι μειωμένη κατανάλωση ισχύος σε σύγκριση με τους προκατόχους του ενώ παράλληλα μπορεί να εκπέμψει στην ίδια απόσταση με αυτούς διατηρώντας το μειωμένο κόστος παραγωγής. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί από φορητές κυρίως συσκευές προσπερνώντας σχεδόν όλες τις άλλες τεχνολογίες της οικογένειας των WPANs.

Το BLE χρησιμοποιήτε σε κινητά τηλέφωνα τελευταίας γενιάς (smartphones), ταμπλέτες, hands free, αισθητήρες κίνησης (τύπου wearable), έξυπνα ρολόγια (smart-watches) για σύνδεση με περιφερειακές συσκευές. Έχει αναπτυχθεί έχοντας ως κύρια ιδέα, εκτός από την άμεση επικοινωνία δύο τερματικών, την σύσταση ενός δικτύου-διασποράς (scatter net). Το δίκτυο-διασποράς χωρίζεται σε piconets και καθένα από αυτά έχει μία κεντρική συσκευή (master) όπως PC, smartphones κ.α, το οποίο θα χειρίζεται έως οκτώ περιφερειακές συσκευές (slaves), όπως BLE hands-free ή smart watches. Παράλληλα όμως κάποιος slave ή master μπορεί να ανήκει και σε κάποιο άλλο piconet με την κατάλληλη εφαρμογή. Ένας master δεν μπορεί να είναι ταυτόχρονα κύρια συσκευή σε δύο piconets, ενώ για τους slaves δεν υπάρχει τέτοιος περιορισμός.

3.1.7 Z-WAVE

Με τον ορισμό Z-Wave, εννοούμε ένα πρωτόκολλο ασύρματων επικοινωνιών, το οποίο έχει σχεδιαστεί για εφαρμογές οικιακού αυτοματισμού.

Σκοπός του Z-Wave είναι να χρησιμοποιεί αξιόπιστα και χαμηλής ισχύος ραδιοκύματα, που ταξιδεύουν εύκολα μέσα από τοίχους και δάπεδα. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα του Z-Wave είναι ότι μπορεί να προστεθεί σχεδόν σε κάθε ηλεκτρική συσκευή στο σπίτι, όπως ηλεκτρικές συσκευές, ρολά παραθύρων, θερμοστάτες και στο φωτισμό. Επίσης έχει μεγάλη ποικιλία από προϊόντα από διάφορους κατασκευαστές με αποτέλεσμα να επιτρέπει τον συνδυασμό προϊόντων με τα μέγιστα οφέλη στην τελική μορφή ελέγχου του αυτοματισμού.

Το Z-Wave μπορεί να τοποθετηθεί σε ήδη υπάρχουσα κατοικία, παρέχοντας την δυνατότητα να μετατρέψει τους απλούς διακόπτες της κατοικίας σε έξυπνους και εντάσσοντας τους σε ένα ενιαίο δίκτυο.

Συνδυάζοντας το comfort system, όπου διαθέτει ειδική επέκταση για το Z-Wave μπορούμε να έχουμε ένα απόλυτα λειτουργικό έξυπνο σπίτι με αυξημένες δυνατότητες προηγμένο τρόπο ελέγχου διαχείρισης και οπτικοποίησης.



3.2 Δρομολόγηση (Routing)

Ορισμός

Στα δίκτυα υπολογιστών ο όρος δρομολόγηση αναφέρεται στη διαδικασία με την οποία επιλέγεται η διαδρομή μέσα σε ένα δίκτυο πάνω από την οποία θα σταλούν δεδομένα.

Συγκεκριμένα, δρομολόγηση είναι η διαδικασία κατά την οποία δεδομένα (πακέτα) μεταφέρονται από ένα δίκτυο σε ένα άλλο και βασίζεται στην λογική διεύθυνση (IP address) του παραλήπτη. Για αυτήν την διαδικασία είναι υπεύθυνες κάποιες συσκευές δικτύου, οι οποίες ονομάζονται δρομολογητές (routers).

Η μεταφορά δεδομένων από το ένα δίκτυο σε ένα άλλο απαιτεί να συμβούν ορισμένες διαδικασίες:

1. μία κατάλληλη διαδρομή για τα δεδομένα πρέπει να καθοριστεί, και
2. ύστερα τα δεδομένα πρέπει να φθάσουν στον τελικό προορισμό τους.

Τόσο η δρομολόγηση των πακέτων, όσο και ο καθορισμός της διαδρομής, συμβαίνουν στο επίπεδο 3 (επίπεδο δικτύου-network layer), στο μοντέλο του OSI. Η δρομολόγηση κατευθύνει, προωθεί, τα λογικά διευθυνσιοδοτημένα πακέτα από την πηγή τους προς τον προορισμό τους μέσω ενδιάμεσων κόμβων. Η διαδικασία της δρομολόγησης κατευθύνει, προωθώντας τα δεδομένα, με βάση πίνακες δρομολόγησης που βρίσκονται στους δρομολογητές, οι οποίοι διατηρούν μια εγγραφή για την καλύτερη διαδρομή προς διάφορες κατευθύνσεις στο δίκτυο. Κατά συνέπεια η κατασκευή των πινάκων δρομολόγησης είναι πολύ σημαντική για αποτελεσματική δρομολόγηση.

Τεχνικές δρομολόγησης

Τα multicast πρωτόκολλα δρομολόγησης χρησιμοποιούν δύο τεχνικές για την προώθηση των πακέτων:

- Flooding
- Reverse Path Forwarding

Flooding

Στην τεχνική Flooding ο δρομολογητής δεν απαιτείται να έχει καμιά πληροφορία δρομολόγησης. Ένα πακέτο που φτάνει σε ένα interface προωθείται σε όλα τα υπόλοιπα interfaces εκτός αυτού από το οποίο ήρθε. Η τελευταία ενέργεια μπορεί να οδηγήσει σε routing loops. Για να περιοριστεί το πρόβλημα των routing loops, ορίζεται ένας αριθμός σε hops τον οποίο όταν υπερβεί το πακέτο, αυτό απορρίπτεται.

Η τεχνική flooding έχει τα εξής πλεονεκτήματα:

- i) είναι εύκολη στη διαχείριση και
- ii) οι δρομολογητές δεν απαιτείται να έχουν πίνακες δρομολόγησης.

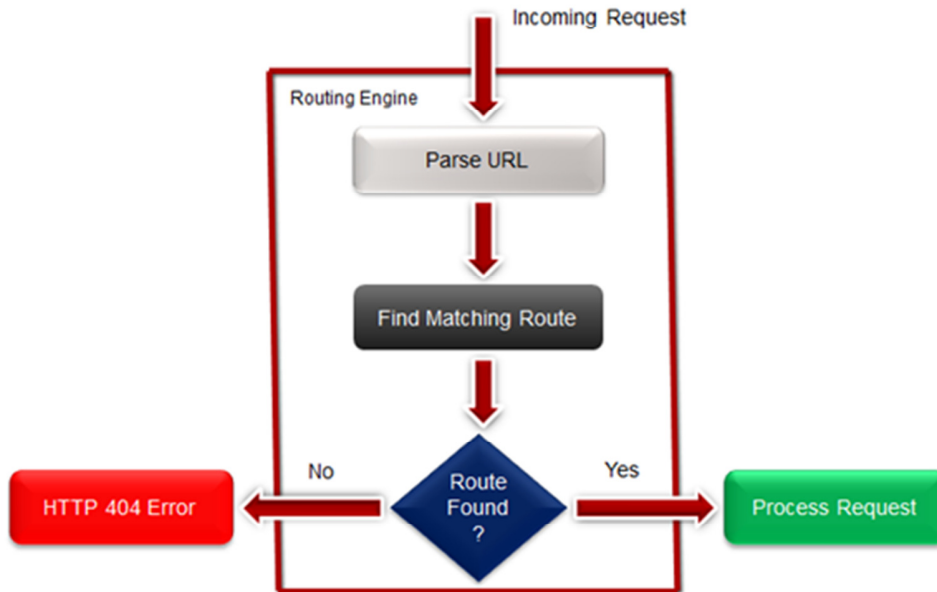
Μειονεκτήματα του flooding αποτελούν:

- i) το γεγονός ότι αρκετές φορές δημιουργούνται routing loops και επομένως
- ii) η συμφόρηση που δημιουργείται στο δίκτυο είναι μεγάλη.

Reverse Path Forwarding (RPF)

Το Reverse Path Forwarding (RPF) είναι μια δεύτερη τεχνική που χρησιμοποιούν οι δρομολογητές για να προωθήσουν multicast πακέτα. Με αυτή την τεχνική, όταν ένα πακέτο φτάσει σε ένα από τα interfaces κάποιου δρομολογητή, εκείνος πραγματοποιεί ένα RPF έλεγχο για να διαπιστώσει αν το πακέτο έφτασε στο σωστό interface. Κατά τον έλεγχο αυτό εξετάζεται αν ο δρομολογητής θα χρησιμοποιούσε το interface για να προωθήσει unicast πληροφορία στην πηγή, δηλαδή αν θα επέλεγε τον ακριβώς αντίθετο δρόμο (Reverse Path). Αν ο έλεγχος γίνει με επιτυχία, δηλαδή η παραπάνω υπόθεση ελεγχθεί ότι ισχύει, το πακέτο στέλνεται από όλα τα εξερχόμενα interfaces, αλλά όχι και από το RPF interface, δηλαδή από αυτό στο οποίο έφτασε το πακέτο. Αν ο έλεγχος δεν είναι επιτυχής, το πακέτο απορρίπτεται.

HOW ROUTING WORKS



3.3 Κατανάλωση Ενέργειας

Δίκτυα Τηλεπικοινωνιών και Κατανάλωση Ενέργειας:

Η κοινωνία έχει ως σκοπό να στραφεί σε λύσεις φιλικές προς το περιβάλλον, με αφορμή της έντονης συζήτησης για την κλιματική αλλαγή ανά το παγκόσμιο. Δίνεται περισσότερη έμφαση στις πράσινες τεχνολογίες, το οποίο σημαίνει ότι κάθε τεχνολογία αξιολογείται με βάση το αποτύπωμα της σε άνθρακα. Όσον αφορά στις Τεχνολογίες Πληροφοριών και Επικοινωνιών (Information and Communication Technologies) είναι υπεύθυνες για το 2-4% περίπου των εκπομπών άνθρακα παγκοσμίως. Το 40-60% των εκπομπών άνθρακα των ΤΠΕ οφείλεται στην ενεργειακή κατανάλωση της χρήσης του εξοπλισμού τους. Αυτές οι εκπομπές αναμένεται να διπλασιαστούν μέσα στην επόμενη δεκαετία αν δεν ληφθούν πρωτοβουλίες για τη μείωση του αποτυπώματος. Ένα σημαντικό μέρος αυτών των εκπομπών, περίπου το ένα έκτο, αποδίδεται στα δίκτυα τηλεπικοινωνιών.

Για τα Ασύρματα Δίκτυα

Σε ασύρματα δίκτυα πρόσβασης, την υψηλότερη κατανάλωση ενέργειας έχει ο σταθμός βάσης (base station). Ειδικότερα, το σύστημα ψύξης τους και οι ενισχυτές ρεύματος έχουν τις υψηλότερες απαιτήσεις σε ενέργεια. Η ενέργεια ανά συνδρομητή εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την πυκνότητα

του συνδρομητή στην περιοχή που καλύπτεται από το σταθμό βάσης. Έτσι, πρώτα υπολογίζουμε την ενέργεια/σταθμό βάσης και στη συνέχεια τη μεταφράζουμε σε κατανάλωση ενέργειας ανά χρήστη. Ένας σταθμός βάσης ορίζεται ως ο εξοπλισμός που απαιτείται για την επικοινωνία με τους κινητούς σταθμούς και το δίκτυο backhaul. Για τον σταθμό βάσης υποθέτουμε εξωτερική τοποθέτηση σε προασιακό περιβάλλον, σε ύψος 30m, που καλύπτουν τρεις τομείς, καθώς και έναν κινητό σταθμό σε ύψος 1,5m. Για να γίνει δίκαιη σύγκριση μεταξύ των υπό εξέταση τεχνολογιών, ορίζουμε ένα ποσοστό bit ανά ενεργό χρήστη περίπου 3Mb/s. Εξετάζεται η συνολική κατανάλωση ενέργειας του σταθμού βάσης, που περιλαμβάνει την επιβάρυνση PUE.

Το WiMAX έχει τη χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας από περίπου 2,9kW/σταθμό βάσης, και ακτίνα 340 m. Το LTE έχει τη μεγαλύτερη κατανάλωση, 3,7kW/σταθμού βάσης, και τη μεγαλύτερη ακτίνα περίπου 470μ. Το HSPA έχει την μικρότερη ακτίνα, 240τ.μ., όλων των υπό εξέταση τεχνολογιών και κατανάλωση ενέργειας 3,7kW/σταθμό βάσης, η οποία είναι συγκρίσιμη με την κατανάλωση ενέργειας του LTE.

Στις αστικές και προασιακές περιοχές είναι δίκαιο να εξεταστεί η πυκνότητα συνδρομητών, μεταξύ 100 και 300 users/km². Όταν υποθέτουμε μια πυκνότητα των 300 users/km² και συγκρίνουμε την κατανάλωση ρεύματος ανά χρήστη, βλέπουμε ότι το LTE καταναλώνει την λιγότερη ενέργεια 18W/Subs, ακολουθούμενη από το Mobile WiMAX με κατανάλωση 27W/Subs. Η κατανάλωση ανά χρήστη είναι μικρότερη για LTE, λόγω του μεγαλύτερου εύρους του HSPA έχει τη μεγαλύτερη κατανάλωση ανά χρήστη, 68W/Subs, που προκαλείται από την μικρότερη ακτίνα. Αν όμως υπολογίσουμε τη μισή πυκνότητα συνδρομητών, τότε η κατανάλωση ενέργειας ανά συνδρομητή διπλασιάζεται.

3.4 Προσομοίωση Δικτύων

Ορισμός:

Η Προσομοίωση Δικτύων (Network Simulation) είναι μία μέθοδος κατά την οποία δημιουργείται μέσω λογισμικού ένα μοντέλο του υπό μελέτη δικτύου. Το μοντέλο αυτό τροφοδοτείται στην συνέχεια με κατάλληλα δεδομένα εισόδου (είτε πραγματικά, είτε πλασματικά) προκειμένου να δημιουργηθούν και να παρατηρηθούν τα αποτελέσματα με ελεγχόμενο τρόπο.

Υπάρχουν πολλοί προσομοιωτές δικτύων, αλλά αυτοί που είναι δημοφιλείς και ανοικτού κώδικα (δηλαδή, ο πηγαίος τους κώδικας είναι διαθέσιμος δωρεάν) είναι:

1. NS2
2. NS3 (NS3, 2015) είναι ο διάδοχος του NS2
3. OMNeT++ (OMNeT++, 2015) ο οποίος θεωρείται ελαφρώς βραδύτερος από τον NS3, αλλά με καλύτερη τεκμηρίωση, εν γένει, περιβάλλον IDE και πιο αποδοτική χρήση πολυ-πύρηνων επεξεργαστών

4. OPNET ο οποίος συνδυάζει γραφικό περιβάλλον, εξαιρετικά λεπτομερή βιβλιοθήκη από δικτυακές και πρωτόκολλα, καθώς και εξαιρετική οπτικοποίηση (visualization) των αποτελεσμάτων. Η ομώνυμη εταιρεία όμως εξαγοράσθηκε το 2014 από την εταιρεία Riverbed και έτσι ο OPNET μετονομάσθηκε πλέον σε Riverbed Modeler (Riverbed, 2015).

3.4.1 NS2

Ο NS2 (Network Simulator version 2) είναι ένας αντικειμενοστραφής προσομοιωτής δικτύων προσανατολισμένος από γεγονότα, γραμμένος σε C++ και OTcl (αντικειμενοστραφής έκδοση της γλώσσας TCL). Είναι πολύ δημοφιλές στον ακαδημαϊκό κόσμο για την επεκτασιμότητά του, για το λόγο ότι είναι ανοικτού κώδικα, και υπάρχει άφθονο υλικό στο διαδίκτυο. Τα γνωστότερα δικτυακά πρωτόκολλα είναι ενσωματωμένα στον NS2, όπως για παράδειγμα τα TCP και UDP και τα πρωτόκολλα εφαρμογής (FTP, Telnet, Web, CBR).

Επίσης στον NS2 μπορούν να γίνουν προσομοιώσεις διαχείρισης ουρών δρομολογητών, δρομολόγησης, κτλ.

Ο NS άρχισε να αναπτύσσεται το 1989 σαν μια άλλη εκδοχή του εξομοιωτή δικτύων REAL και έχει εξελιχθεί ουσιαστικά τα τελευταία χρόνια. Το 1995 η ανάπτυξη του ns υποστηριζόταν από την DARPA μέσω του έργου VINT στο LBL, την Xerox, την PARC, την UCB και την USC/ISI. Αυτή τη στιγμή η εξέλιξη του NS στηρίζεται στην DARMA με το SAMAN και στο NSF με το CONSER, και τα δυο σε συνεργασία με άλλους ερευνητές συμπεριλαμβανομένου και του ACIRI. Ο NS έχει συμπεριλάβει τις ουσιαστικές συνεισφορές από άλλους ερευνητές, συμπεριλαμβανομένου του ασύρματου κώδικα από τα έργα UCB Daedalus, CMU Monarch και της Sun Microsystems.

3.4.2 NS3

Ο NS3 (Network Simulator version 3) είναι ένας προσομοιωτής δικτύων υπολογιστών, όπου οι σχεδιαστές, για λόγους ταχύτητας, επεχείρησαν να συνδυάσουν την ταχύτητα της C++ με την ευκολία που προσφέρει η γλώσσα Python (Python, 2013).

Οι πόροι που χρειάζεται κανείς για να εγκαταστήσει τον NS3 είναι:

- Ο πηγαίος κώδικας του NS3
- Η τεκμηρίωσή του
- Το δωρεάν εργαλείο για διαχείριση μεγάλων πακέτων λογισμικού Mercurial (Mercurial, 2015)
- Το δωρεάν εργαλείο Waf για όλη την διαδικασία από την μεταγλώττιση του πηγαίου κώδικα έως την δημιουργία εκτελέσιμης μορφής. Αυτό περιλαμβάνεται στον NS3 και προτιμάται έναντι του make.

Το μεγαλύτερο μέρος του API (Application Program Interface) του NS3 είναι διαθέσιμο σε Python γλώσσα προγραμματισμού, αλλά όλα τα μοντέλα έχουν γραφεί σε C++ γλώσσα. Η δημιουργία των script για τον NS3 μπορεί να γίνει σε οποιαδήποτε από τις δύο γλώσσες στις περισσότερες των περιπτώσεων, αλλά μία ικανοποιητική γνώση της C++ είναι αναγκαία. Ως compiler χρησιμοποιείται ο γνωστός gcc της GNU μαζί με άλλα της εργαλεία (GNU, 2015). Αν και ο NS3 διανέμεται σε πηγαία μορφή μαζί με τα περισσότερα αναγκαία εργαλεία, ο χρήστης πρέπει να δημιουργήσει με αυτά ένα σύστημα από βιβλιοθήκες λογισμικού. Ο πηγαίος κώδικας είναι επίσης αναγκαίος, επειδή ο χρήστης δημιουργεί τα προγράμματα που αντιστοιχούν σε προσομοιώσεις του NS3 με το να ξαναφτιάχνει κάποιες από τις βιβλιοθήκες. Ως λειτουργικό σύστημα θεωρείται ότι χρησιμοποιούμε κάποια έκδοση του Unix.

Εφόσον χρησιμοποιείται η C++ και έχουμε να κάνουμε με δίκτυα υπολογιστών, η βασική κλάση είναι ο δικτυακός κόμβος που ονομάζεται Node. Αυτή περιέχει διάφορες κατάλληλες μεθόδους για την αναπαράσταση των διαφόρων τύπων κόμβων στις προσομοιώσεις. Σε αυτήν την βασική κλάση προσθέτουμε και άλλα στοιχεία κατά περίπτωση για να πάρουμε τον τύπο δικτυακής συσκευής και υπηρεσιών που χρειαζόμαστε. Η λογική είναι ότι σε αυτούς τους κόμβους προσθέτουμε διάφορους τύπους εφαρμογών (γενική κλάση Application στον NS3), οι οποίες δημιουργούν δικτυακή κίνηση, η οποία προωθείται σε γειτονικούς κόμβους, κ.ο.κ., έως τον τελικό προορισμό-κόμβο, όπου μία αντίστοιχη εφαρμογή φροντίζει να απορροφά την εισερχόμενη κίνηση.

Για να μπορούμε να διασυνδέσουμε τους κόμβους μεταξύ τους και να σχηματίσουμε μία δικτυακή τοπολογία, χρειάζονται κατάλληλες ζεύξεις. Εδώ, τον ρόλο των ζεύξεων τον παίζει η βασική κλάση Channel, από την οποίαν προέρχονται όλοι οι τύποι, από ένα απλό σύρμα, έως ένα πολύπλοκο ασύρματο κανάλι.

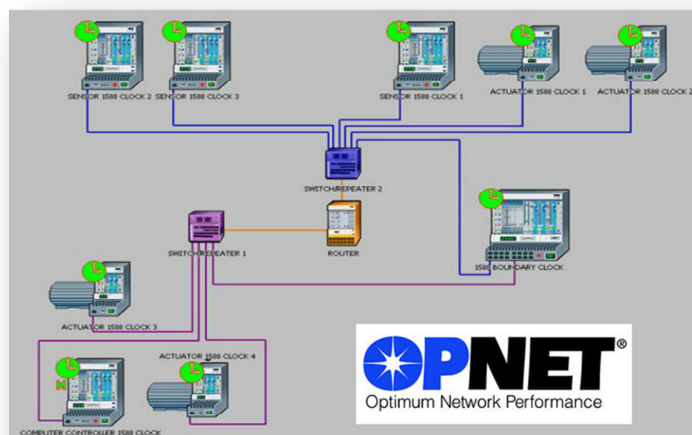
Όπως στον πραγματικό κόσμο, έτσι και εδώ, κάθε αντικείμενο Node, μπορεί να περιέχει πολλές δικτυακές κάρτες (κλάσης NetDevice), μέσω των οποίων να συνδέεται με πολλαπλά κανάλια (μία κάρτα ανά κανάλι). Επειδή οι τρεις αυτές κλάσεις και οι επεκτάσεις τους χρησιμοποιούνται πολύ συχνά στον NS3, παρέχονται έτοιμα κάποια βοηθητικά εργαλεία που συλλογικά ονομάζονται *Topology Helpers*. Με αυτά καθίσταται ευκολότερο το να δημιουργήσουμε τις επιθυμητές συνδέσεις των παραπάνω τύπων αντικειμένων σε προσομοιώσεις μεγάλων μοντέλων, να αναθέσουμε διευθύνσεις IP, κλπ. \

3.4.3 OPNET

Ο OPNET (Optimized Network Engineering Tool) είναι ένας εμπορικός προσομοιωτής δικτύων. Το περιβάλλον του είναι πλήρως γραφικό και τρέχει σε Windows της Microsoft. Είναι γραμμένος σε C++ για μέγιστη δυνατή ταχύτητα. Αν και είναι δυνατή η τροποποίηση, προσθήκη ή επέκταση κάθε στοιχείου στην βιβλιοθήκη του σε C++, αυτή η δυνατότητα δεν υπάρχει για την ακαδημαϊκή του έκδοση, η οποία διατίθεται δωρεάν για 6 μήνες με δωρεάν απλή εγγραφή και σχετική ψηφιακή άδεια χρήσης, η οποία είναι ανανεώσιμη. Επίσης, η έκδοση αυτή δεν περιέχει όλες τις δυνατότητες και βιβλιοθήκες της πλήρους εκδόσεως.

Στην πλήρη του έκδοση έχει το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της κυριολεκτικά τεράστιας βιβλιοθήκης από δικτυακά στοιχεία, και τρεις διαφορετικούς editor για επεξεργασία μοντέλων, ανάλογα με το επίπεδο ιεραρχίας στο οποίο ανήκουν:

- Project (ή Network) Editor. Αυτός είναι ο πλέον συχνά χρησιμοποιούμενος, επειδή με αυτόν κατασκευάζουμε το μοντέλο του δικτύου που θέλουμε να προσομοιώσουμε, χρησιμοποιώντας τύπους κόμβων, ζεύξεων και υποδικτύων από αντίστοιχες παλέτες, καθώς και επιλέγοντας τα είδη στατιστικών στοιχείων για τα οποία θέλουμε να πάρουμε αποτελέσματα. Επίσης εδώ τρέχουμε τις προσομοιώσεις και βλέπουμε τα αποτελέσματά τους μέσω γραφημάτων τα οποία δημιουργούνται αυτόματα με μία απλή επιλογή από το γραφικό περιβάλλον.
- Node Editor. Χρησιμοποιείται για να κατασκευάσουμε νέα μοντέλα κόμβων. Εδώ ορίζουμε την εσωτερική δομή του κόμβου, ο οποίος μπορεί να είναι από ολόκληρος υπολογιστής, έως ένας απλός αισθητήρας. Η δομή του κάθε κόμβου είναι αρθρωτή (modular), με τα πακέτα και τις δυνατές καταστάσεις να ανταλλάσσονται μεταξύ των modules, τα οποία είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους, είτε με ρεύματα πακέτων, είτε με καλώδια στατιστικών χαρακτηριστικών. Κάθε module πρέπει να έχει μία συγκεκριμένη λειτουργία (π.χ., γεννήτρια πακέτων, επεξεργασία πακέτων, μετάδοση, τοποθέτηση σε ουρά, κλπ.).
- Process Editor. Χρησιμοποιείται για να σχεδιάζουμε μοντέλα επεξεργασίας, που ελέγχουν την βασική λειτουργικότητα των μοντέλων των κόμβων. Αυτά τα μοντέλα επεξεργασίας αναπαρίστανται με μηχανές πεπερασμένων καταστάσεων (FSM – Finite State Machine). Αυτές εκφράζονται σε γλώσσα C++ ή C.
- Κάθε ένας τύπος αντικειμένου έχει έτοιμο το σύνολο των στατιστικών στοιχείων που μπορεί να συλλέξει. Συνεπώς, το μόνο που χρειάζεται είναι να πάμε και να κάνουμε ένα δεξί κλικ στην επιφάνεια του καμβά και να επιλέξουμε από το σχετικό αναδυόμενο παράθυρο την επιλογή 'Choose Individual DES Statistics'. Εδώ εμφανίζεται ένα άλλο παράθυρο, από όπου μπορούμε να επιλέξουμε το είδος των στατιστικών στοιχείων που επιθυμούμε να συλλεχθούν κατά την προσομοίωση. Υπάρχουν τρεις κατηγορίες:
 - Global Statistics. Στατιστικά που αφορούν το συνολικό δίκτυο.
 - Node Statistics. Στατιστικά που έχουν νόημα κατά κόμβο.
 - Link Statistics. Στατιστικά που έχουν νόημα κατά ζεύξη.



3.4.4 OMNet++

Η πλατφόρμα OMNet++ (Object Modular Network Testbed in C++) είναι μια επεκτάσιμη, αρθρωτή, βασισμένη σε αυτόνομες δομικές μονάδες (component based) C++ βιβλιοθήκη προσομοιώσεων και γενικού πλαισίου, κυρίως για την κατασκευή προσομοίωσης δικτύων. Τα οποία δίκτυα σε ευρύτερη έννοια είναι ασύρματα, ενσύρματα, δίκτυα διανομής κτλ. Η πλατφόρμα λειτουργεί συγκεκριμένα στην υποστήριξη Δικτύων αισθητήρων, Ασύρματων δικτύων, Πρωτόκολλων διαδικτύου κλπ. Προσφέρει επίσης ένα γραφικό περιβάλλον χρόνου εκτέλεσης (Eclipse-based IDE). Υπάρχουν και προσομοιώσεις σε πραγματικό χρόνο, εξομοιώσεις δικτύων κλπ.



Παρόλο που η OMNet++ δεν είναι προσομοιωτής δικτύων, έχει κερδίσει την δημοσιότητα ως πλατφόρμα δικτύων προσομοίωσης στην επιστημονική κοινότητα όπως και στην βιομηχανική, και στην δημιουργία μεγάλης κοινότητας χρηστών.

Η OMNet++ παρέχει μια αρχιτεκτονική αυτόνομων δομικών μονάδων (component architecture) για μοντέλα. Οι μονάδες αυτές (δομικά στοιχεία, modules) προγραμματίζονται σε C++ και έπειτα συναρμολογούνται σε μεγαλύτερες συνιστώσες και μοντέλα χρησιμοποιώντας υψηλού επιπέδου γλώσσα (NED –Network Description).

Δομικά στοιχεία:

- Βιβλιοθήκη πυρήνα προσομοίωσης
- NED γλώσσα περιγραφής τοπολογίας
- IDE βασισμένο στην πλατφόρμα Eclipse
- GUI για την εκτέλεση της προσομοίωσης (Tkenv)
- Διεπαφή χρήστη γραμμής εντολών για την εκτέλεση της προσομοίωσης (Cmdenv)

- Πρακτικότητα (utility)
- Αρχικοποίηση, παραδείγματα προσομοίωσης

3.4.4.1 INET

Το INET είναι ανοικτού κώδικα βιβλιοθήκης μοντέλου του περιβάλλοντος Omnet++ προσομοιωτή. Παρέχει πρωτόκολλα, πράκτορες και άλλα μοντέλα για ερευνητές και φοιτητές που εργάζονται με τα δίκτυα επικοινωνίας. Συγκεκριμένα το INET είναι χρήσιμο κατά τον σχεδιασμό και την επικύρωση νέων πρωτοκόλλων, είτε για εξερεύνηση νέων ή εξωτικών σεναρίων.

Επίσης το INET περιέχει μοντέλα για την στοίβα Διαδικτύου (TCP, UDP, IPv4, IPv6, OSPF, BGP, κ.λ.π.), ενσύρματων και ασύρματων επιπέδων ζεύξης (Ethernet, PPP, IEEE 802.11, κ.λ.π.), υποστήριξη της κινητικότητας, MANET πρωτόκολλα, DiffServ, MPLS με LDP και RSVP-TE σηματοδότησης, μερικά μοντέλα εφαρμογών και πολλά άλλα πρωτόκολλα.

Πολλοί προσομοιωτές χρησιμοποιούν το INET και το επεκτείνουν σε συγκεκριμένες κατευθύνσεις, όπως το LTE ή overlay/peer-to-peer δίκτυα.

Το INET είναι κατασκευασμένο γύρω την έννοια των μοντέλων τα οποία επικοινωνούν με μηνύματα. Πράκτορες και πρωτόκολλα δικτύων παρουσιάζονται απο τα συστατικά (components), τα οποία μπορούν ελεύθερα να συνδυαστούν με τους hosts, routers, switches και άλλες δικτυακές συσκευές. Νέα συστατικά μπορούν να προγραμματιστούν απο τον χρήστη και τα υπάρχουσα συστατικά έχουν γραφτεί έτσι ώστε να είναι εύκολα στην κατανόηση και στην επεξεργασία.

3.4.4.2 MiXiM

Το MiXiM είναι ένα μοντέλο της πλατφόρμας OMNeT ++ το οποίο δημιουργήθηκε για κινητά και σταθερά ασύρματα δίκτυα (ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, δίκτυα περιοχής σώματος, ad-hoc δίκτυα, δίκτυα οχημάτων, κλπ). Επίσης προσφέρει λεπτομερή μοντέλα μετάδοσης ραδιοφωνικών κυμάτων, εκτίμηση παρεμβολών, την κατανάλωση ενέργειας πομποδέκτη και για ασύρματα πρωτόκολλα MAC (π.χ. Zigbee).

Είναι μια συγχώνευση διαφόρων OMNeT ++ πλαισίων τα οποία είναι γραμμένα για την υποστήριξη των κινητών και ασύρματων προσομοιώσεων.

Οι προκάτοχοί του MiXiM είναι:

1. Το ChSim από το Universitaet Paderborn
2. Το Mac Simulator απο το Technische Universiteit Delft

3. Το Mobility Framework απο το Technische Universitaet Berlin, Telecommunication Networks Group
4. Το Positif Framework απο το Technische Universiteit Delft

3.4.4.3 CASTALIA

Ο Castalia είναι ένας προσομοιωτής για Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων (WSN) και στο γενικό σύνολο δίκτυα ενσωματωμένων συσκευών χαμηλής ισχύος. Αναπτύχθηκε στο θέμα δικτυωμένων συστημάτων NICTA, απο το 2007. Είναι βασισμένο στην OMNet++ πλατφόρμα η οποία χρησιμοποιήτε απο ερευνητές και προγραμματιστές για δοκιμές κατανεμημένων αλγορίθμων ή πρωτοκόλλων σε ένα ρεαλιστικό μοντέλο ασύρματου καναλιού. Το Castalia μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για να αξιολογήσει χαρακτηριστικά διάφορων πλατφόρμων για συγκεκριμένες εφαρμογές, καθώς είναι υψηλά παραμετρική, και μπορεί να προσομοιώσει ένα ευρύ φάσμα πλατφορμών.

Βασικά χαρακτηριστικά του Castalia είναι:

- Αναπτύγμενο μοντέλο καναλιού το οποίο είναι βασισμενο σε εμπειρικά μετρημένα δεδομένα.
 - μοντέλο για χρονική διακύμανση της απώλειας διαδρομής.
 - μοντέλο ορίζει έναν χάρτη με απώλεια διαδρομής (path loss) και όχι απλώς συνδέσεις μεταξύ των κόμβων.
 - Υποστηρίζει πλήρως την κινητικότητα των κόμβων.
 - Οι παρεμβολές αντιμετωπίζονται σαν ένταση λαμβανόμενου σήματος και όχι σαν ξεχωριστό χαρακτηριστικό.
- Αναπτυγμένο μοντέλο μετάδοσης βασισμένο σε αληθινές μεταδόσεις για επικοινωνία χαμηλής ισχύος.
 - Πιθανότητα για λήψη βασισμένη στο SINR, στο μέγεθος του πακέτου, τον τύπο διαμόρφωσης. Υποστηρίζονται PSK, FSK, προσαρμοσμένη διαμόρφωση επιτρέπεται με τον καθορισμό της καμπύλης SNR-BER.
 - Πολλαπλά επίπεδα ισχύος αποστολής με επιτρεπόμενες διακυμάνσεις μεμονωμένου κόμβου.
 - Καταστάσεις με διαφορετική κατανάλωση ισχύος και εναλλαγή καθυστερήσεων μεταξύ τους.
 - Ευέλικτη ανίχνευση φορέα(βασισμένη στην δημοσκόπηση και στις διακοπές, polling based and interrupt based).
- Επεκταμένες διατάξεις μοντελοποίησης ανίχνευσης.
 - Υψηλά ευέλικτο μοντέλο φυσικής διαδικασίας.
 - Συσκευή ανίχνευσης θορύβου, πόλωσης και κατανάλωσης ισχύος.
- Εκτροπή ρολογιού κόμβου, κατανάλωση ισχύος της κεντρικής μονάδας επεξεργασίας (central processing unit - CPU).
- Διαθέτει πρωτόκολλα MAC και δρομολόγησης.

- Σχεδιάστηκε για προσαρμογή και επέκταση.

Το Castalia σχεδιάστηκε απο την αρχή για να βοηθήσει τους χρήστες να εισάγουν τους αλγόριθμους και τα πρωτόκολλα με μεγάλη ευκολία καθώς κάνουν χρήση τα χαρακτηριστικά του προσομοιωτή. Η δομή του, η αξιοπιστία του και η ταχύτητα του Castalia είναι μερικώς ενεργοποιημένη απο τον OMNet++.

Κεφάλαιο 4^ο

4.1 Design Space Exploration (DSE):

Το Design Space Exploration είναι η μέθοδος με την οποία μπορούμε να κάνουμε μια συστηματική ανάλυση και να αποκόψουμε ανεπιθύματα σημεία σχεδιασμού στις παραμέτρους που δεν θέλουμε να ασχοληθούμε. Ο όρος αυτός μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε οποιοδήποτε είδος συστήματος.

Οι σχεδιαστικές αποφάσεις πρέπει να βασίζονται σε μια διαδικασία εξερεύνησης λόγω των παρα πολλών επιλογών σχεδιασμού με βάση την επιλογή των χαρακτηριστικών. Κατά την διαδικασία αυτής της εξερεύνησης είναι σημαντικό να αγνοήσουμε τις λεπτομέρειες και να έχουμε μια ολιστική αποψη καθώς όλες οι λεπτομέρειες των πρωτοκόλλων αυτών εμποτεύονται.

Ωστόσο αυτή η διαδικασία είναι πολύπλοκη λόγω της πληθώρας ποικίλων τρόπων εφαρμογής της ίδιας λειτουργικότητας. Η βάση του DSE αποτελείται από την ανάλυση μεταξύ της εφαρμογής και της απαιτούμενης παραμέτρου που θέλουμε να ασχοληθούμε. Μερικοί παράμετροι που χρησιμοποιούνται είναι η δύναμη, η απόδοση, το κόστος και η ενέργεια ανάμεσα σε παρα πολλές άλλες για διάφορα συστήματα. Λόγω της πολυπλοκότητας αυτής της διαδικασίας, ερευνητές έχουν προτείνει αυτοματοποιημένη DSE η οποία είναι σε θέση να λαμβάνει αποφάσεις και να παρουσιάζει την βέλτιστη λύση. Ωστόσο δεν μπορούμε να έχουμε ένα αυτοματοποιημένο DSE σε όλα τα είδη συστημάτων, γιατί υπάρχουν μη-αυτοποιημένες μέθοδοι DSE όπου ο σχεδιαστής μπορεί να κατευθύνει το εργαλείο μετά από κάθε επανάληψη προς την σύγκλιση.

Δεδομένου ότι αυτή η εξερεύνηση είναι περίπλοκη διαδικασία, η οποία χρειάζεται πολλή υπολογιστικό χρόνο, οι ερευνητές έχουν αναπτύξει εργαλεία για την εξερεύνηση που μπορούν να δώσουν κατά προσέγγιση ανάλυση της συμπεριφοράς του συστήματος σε κλάσμα χρόνου σε σύγκριση με την ακριβή ανάλυση. Τέτοια εργαλεία είναι πολύ σημαντικά για γρήγορη σύγκριση των αποφάσεων σχεδιασμού και γίνονται πιο σημαντικά με την αυξανόμενη πολυπλοκότητα των σχεδίων.

Για να απλοποιηθεί η πολυπλοκότητα του DSE, οι ερευνητές συνεχώς προσπαθούν να αυξήσουν τις αφαιρέσεις των συστατικών και ο ορισμός του συστήματος να είναι σε θέση να ανταποκριθεί σε μεγαλύτερα και πολύπλοκα συστήματα.

Η ικανότητα να λειτουργούμε στο χώρο του σχεδιασμού μας δίνει την δυνατότητα να χρησιμοποιούμε το DSE για πολλές εργασίες μηχανικής, όπως είναι η ταχεία προτυποποίηση (rapid prototyping), βελτιστοποίηση (optimization) και ολοκλήρωση του συστήματος (system integration).

Τα προβλήματα εξερεύνησης σχεδιαστικών χώρων (DSE) συνήθως μοντελοποιούνται μέσω τριών δομικών στοιχείων:

1. του χώρου παραμέτρων,

2. του χώρου λύσεων και
3. της συνάρτησης απεικόνισης.

Ο χώρος παραμέτρων ορίζεται από τις αποφάσεις που πρέπει να ληφθούν για την επίλυση του προβλήματος σχεδιασμού. Οι αποφάσεις αυτές επηρεάζουν τις τιμές των κριτηρίων βελτιστοποίησης, χωρίς όμως να τα αναπαριστούν. Η λήψη διαφορετικών αποφάσεων οδηγεί σε ένα διακριτό σύνολο σχεδιαστικών λύσεων, η κάθε μια από τις οποίες χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένες τιμές σε ότι αφορά τα κριτήρια βελτιστοποίησης.

Για παράδειγμα, ένας διαχειριστής δυναμικής μνήμης μπορεί να περιγραφεί από ένα σύνολο μηχανισμών π.χ. μηχανισμοί αναζήτησης ελεύθερων μπλοκ μνήμης, μηχανισμοί τεμαχισμού μπλοκ μνήμης κτλ, οι οποίοι δεν δίνουν καμία πληροφορία για τις τιμές των κριτηρίων βελτιστοποίησης, όπως π.χ. ίχνος μνήμης, χρόνος εκτέλεσης κ.τ.λ.. Ο χώρος λύσεων ορίζεται από τις τιμές που λαμβάνουν τα κριτήρια βελτιστοποίησης, όπως το κόστος του συστήματος, η ταχύτητα εκτέλεσης και η κατανάλωση ισχύος.

Τέλος, η συνάρτηση απεικόνισης είναι η διαδικασία η οποία απεικονίζει τα διανύσματα του χώρου παραμέτρων στα αντίστοιχα στιγμιότυπα του χώρου λύσεων. Προγράμματα προσομοίωσης, αναλυτικά μοντέλα, αφαιρετικά μοντέλα, συνδυασμοί διαδικασιών όπως η μεταγλώττιση-εκτέλεση για τις συνιστώσες λογισμικού ή αρχιτεκτονική σύνθεση και σύνθεση πυλών για τις συνιστώσες υλικού κ.τ.λ., μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως έγκυρες συναρτήσεις απεικόνισης για την εξερεύνηση ενός σχεδιαστικού χώρου. Οι αλγόριθμοι εξερεύνησης μπορούν να εφαρμοστούν είτε στο χώρο παραμέτρων είτε στο χώρο λύσεων.

Ένα αφαιρετικό λογικό διάγραμμα ροής για τους αλγορίθμους εξερεύνησης στο χώρο παραμέτρων αποτελείται συνήθως από τρία βήματα:

1. συστηματική επιλογή ενός συνόλου από διανύσματα παραμέτρων,
2. παραγωγή του αντίστοιχου χώρου λύσεων και
3. αξιολόγηση του χώρου λύσεων και εξαγωγή του Pareto συνόρου.

Αντίθετα, η τυπική προσέγγιση που ακολουθείται από τους αλγορίθμους εξερεύνησης στο χώρο λύσεων επικεντρώνεται στο συστηματικό περιορισμό του χώρου λύσεων (άρα και των εξεταζόμενων διανυσμάτων του χώρου παραμέτρων) κατά τη διάρκεια της διαδικασίας διερεύνησης, π.χ. ο αλγόριθμος καθορίζει κατά τη διάρκεια εκτέλεσης του για το αν μπορεί να βρεθεί μια σχεδιαστική λύση η οποία θα ικανοποιεί τους περιορισμούς της σχεδίασης ενώ παράλληλα βελτιστοποιεί τα κριτήρια της αντικειμενικής συνάρτησης κόστους.

Η πολύ-κριτηριακή εξερεύνηση αποτελεί το πιο ρεαλιστικό σενάριο στη σχεδίαση ενσωματωμένων συστημάτων, δεδομένου ότι ο σχεδιαστής καλείται να επιλέξει μια βελτιστοποιημένη λύση η οποία ικανοποιεί αυστηρούς περιορισμούς. Στην πραγματικότητα, κάθε σχεδιαστικό πρόβλημα που συναντάται σε μια ροή σχεδίασης μπορεί να θεωρηθεί ως πρόβλημα πολύ-κριτηριακής εξερεύνησης. Σε τέτοιου είδους προβλήματα, η πολυπλοκότητα της διαδικασίας εξερεύνησης εξαρτάται από το μέγεθος του εξεταζόμενου χώρου λύσεων. Στην τυπική περίπτωση, οι παραγόμενοι χώροι λύσεων είναι υπερβολικά μεγάλοι με αποτέλεσμα μια προσέγγιση βασιζόμενη στην εξαντλητική εξερεύνηση να είναι πρακτικά αδύνατη λόγω του υπολογιστικού φόρτου.

Επιπλέον, μεθοδολογίες εξερεύνησης βάσει τυχαίας δειγματοληψίας του χώρου λύσεων ή παραμέτρων δεν παρέχουν καμία εγγύηση σύγκλισης προς τις πραγματικά βέλτιστες λύσεις, αυξάνοντας το κίνδυνο για υιοθέτηση υπο-βέλτιστων σχεδιάσεων. Κατά συνέπεια, υπάρχει ανάγκη για αυτοματοποιημένες αλλά ταυτόχρονα στοχευμένες μεθοδολογίες εξερεύνησης, υπό την έννοια ότι οι αλγόριθμοι εξερεύνησης θα πρέπει να αναπτύσσονται με γνώμονα όχι μόνο την αυτοματοποίηση αλλά και την ενσωμάτωση γνώσης σχετικά με τη δομή του χώρου σχεδίασης ώστε να επιτυγχάνεται η σύγκλιση προς τα πραγματικά Pareto σύνορα, χωρίς να απαιτείται μια εξαντλητική προσέγγιση διερεύνησης.

Υπάρχουν δύο προβλήματα εξερεύνησης:

Το πρώτο πρόβλημα εξερεύνησης αφορά τη σχεδίαση εξειδικευμένων διαχειριστών λογισμικού δυναμικής μνήμης σε πολύ-νηματικές εφαρμογές. Πιο συγκεκριμένα, προτείνεται μια συστηματική μεθοδολογία εξερεύνησης η οποία εφαρμόζεται στο χώρο παραμέτρων του προβλήματος, αξιοποιώντας τις μεταξύ τους εξαρτήσεις για μείωση του χώρου αναζήτησης μέσω πρόωρης αναγνώρισης και εξάλειψης μη-Pareto -βέλτιστων λύσεων. Οι προτεινόμενες μεθοδολογίες παρέχουν εξειδικευμένη διαχείριση της δυναμικής μνήμης σε πολύ-νηματικές εφαρμογές προεκτείνοντας προηγούμενες ερευνητικές προσπάθειες οι οποίες λάμβαναν υπόψη μονονηματικές εφαρμογές.

Το δεύτερο πρόβλημα εξερεύνησης αφορά στη σύνθεση εξειδικευμένων αρχιτεκτονικών συνεπεξεργαστών υλικού με σκοπό τη βελτιστοποίηση των κριτηρίων καθυστέρησης και επιφάνειας υλικού. Οι υπάρχουσες προσεγγίσεις δεν εξετάζουν τη συνδυασμένη επίδραση των αλγοριθμικών και των αρχιτεκτονικών παραμέτρων του συγκεκριμένου προβλήματος, με αποτελέσματα να αποκλείουν από το χώρο αναζήτησης ένα σημαντικό αριθμό λύσεων, οι οποίες συνήθως ανήκουν στο Pareto σύνορο. Προκειμένου να ξεπεραστεί ο παραπάνω περιορισμός, προτείνεται μια συστηματική μεθοδολογία εξερεύνησης στο χώρο λύσεων του προβλήματος η οποία λαμβάνει υπόψη ένα επαυξημένο χώρο παραμέτρων και ενσωματώνει γνώση της δομής του χώρου αυτού, ώστε να αποκλείει δυναμικά κατά τη διάρκεια εξερεύνησης σχεδιαστικές λύσεις που δεν συγκλίνουν σε Pareto αρχιτεκτονικές.

4.2 Μεθοδολογίες:

Οι DSE μεθοδολογίες εξερευνούν τις επιλογές της αρχιτεκτονικής, των στοιχείων, των διεπαφών και της απεικόνισης των δεδομένων, ώστε να επιτύχουν ένα σχεδόν βέλτιστο σύστημα το οποίο ικανοποιεί τους περιορισμούς και ελαχιστοποιεί το κόστος στον πολυδιάστατο trade-off χώρο λύσεων. Κατά την διάρκεια εξερεύνησης του χώρου λύσεων εξερευνούνται οι απαιτήσεις σε είσοδο και έξοδο των δεδομένων, σε αποθήκευση δεδομένων, σε επεξεργασία δεδομένων και στον έλεγχο του συστήματος των διαφόρων επιλογών.

Η έρευνα από την ακαδημαϊκή κοινότητα έχει περισσότερο επικεντρωθεί σε μεθοδολογίες εξερεύνησης σχεδιασμών οι οποίες παρέχουν σχεδόν βέλτιστες σχεδιάσεις. Η ιδανική μεθοδολογία εξερεύνησης σχεδιασμών αντιμετωπίζει όλα τα προβλήματα απεικόνισης του λογισμικού στο υλικό ταυτόχρονα σε μια μοναδική φάση. Ωστόσο η ιδανική μεθοδολογία εξερεύνησης δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί. Η διαδικασία σχεδιασμού ενσωματωμένων συστημάτων είναι πολύ περίπλοκη και αποτελείται από ποικίλες φάσεις και δεν υπάρχει μοναδικός τρόπος να αναπαρασταθεί αποδοτικά το πρόβλημα. Επομένως, η μεθοδολογία εξερεύνησης του χώρου λύσεων πρέπει να διαιρεθεί σε ένα σύνολο βημάτων ούτως ώστε να είναι διαχειρίσιμη.

Οι υπάρχουσες μεθοδολογίες για εξερεύνηση των σχεδιασμών χωρίζουν την διαδικασία σε βήματα. Ωστόσο ο διαχωρισμός υλοποιείται με τυχαίο τρόπο και τα βήματα τα οποία προκύπτουν επηρεάζουν με δικατευθυντήριο τρόπο το ένα το άλλο, δημιουργώντας κυκλικές εξαρτήσεις. Λόγω των εξαρτήσεων απαιτούνται επαναλήψεις των βημάτων για την εύρεση σχεδόν βέλτιστων σχεδιασμών, ενώ δεν υπάρχει εγγύηση ότι μια σχεδόν βέλτιστη σχεδίαση θα ευρεθεί εντός του διαθέσιμου χρόνου εξερεύνησης. Όταν ο αριθμός των παραμέτρων του υλικού και του λογισμικού αυξάνεται, οι ακριβείς σχεδιαστικές επαναλήψεις των βημάτων που συσχετίζονται με δικατευθυντήριο τρόπο οδηγούν σε μη επεκτάσιμες μεθοδολογίες. Για παράδειγμα, μια επαναλήψιμη DSE μεθοδολογία ξεκινά την εξερεύνηση από μια βασική σχεδίαση από τον σχεδιαστή, τροποποιεί την τιμή μιας παραμέτρου κάθε φορά και χρησιμοποιεί τα αποτελέσματα για να προβλέψει τον βέλτιστο σχεδιασμό. Η DSE μεθοδολογία μπορεί να οδηγήσει σε λιγότερους αποδοτικούς σχεδιασμούς όταν υπάρχει υψηλός αριθμός παραμέτρων και εξαρτήσεων.

Επιπρόσθετα, κάθε βήμα απεικόνισης του λογισμικού στο υλικό αποτελείται από διεργασίες οι οποίες είναι NP-complete προβλήματα. Οι συνήθεις τεχνικές που εφαρμόζονται σε ένα βήμα απεικόνισης μπορούν να επιτύχουν σχεδόν βέλτιστα αποτελέσματα και εντός του διαθέσιμου χρόνου μόνο για μικρά σχεδιαστικά προβλήματα. Όταν η πολυπλοκότητα του συστήματος αυξάνεται, οι συνήθεις τεχνικές δεν είναι ικανές στην εύρεση της σχεδόν βέλτιστης λύσης εντός του διαθέσιμου χρόνου. Για παράδειγμα, οι στοχαστικές τεχνικές απαιτούν μη αποδεκτό χρόνο εξερεύνησης για να βρουν σχεδόν βέλτιστες λύσεις σε ένα μεγάλο χώρο λύσεων. Οι στοχαστικές τεχνικές ψάχνουν τον χώρο βασιζόμενες σε τυχαίες κινήσεις. Για να επιτύχουν σχεδόν βέλτιστες λύσεις χρειάζονται υψηλό αριθμό τυχαίων κινήσεων σε γειτονικές περιοχές. Για παράδειγμα, η απόδοση του quantum-inspired evolutionary algorithm (QEA) για την απεικόνιση πολυεπεξεργαστών βασίζεται στον αριθμό των γενιών που θα εφαρμοστούν.

Η αύξηση του αριθμού των γενιών αυξάνει και τις πιθανότητες να επιτύχουν έναν σχεδόν βέλτιστο σχεδιασμό. Μια μεθοδολογία εξερεύνησης με στοχαστικούς αλγορίθμους προτάθηκε μια simulated annealing DSE τεχνική για την εύρεση συνεπεξεργαστών. Ντετερμινιστικές τεχνικές σχεδιασμού, όπως Integer Linear Programming (ILP) τεχνικές, απαιτούν αρκετό χρόνο εξερεύνησης όταν εφαρμόζονται σε

μεσαία και μεγάλα προβλήματα σχεδιασμού. Τεχνικές σχεδίασης τύπου branch and bound επίσης χρειάζονται αυξημένο χρόνο εξερεύνησης για να εγγυηθούν σχεδόν βέλτιστους σχεδιασμούς. Για την μείωση του απαιτούμενου χρόνου εξερεύνησης, η branch and bound τεχνικές πρέπει να εφαρμόσουν ένα πιο επιθετικό κλάδεμα λύσεων στο χώρο εξερεύνησης, ο οποίος μειώνει την ποιότητα του τελικού σχεδιασμού. Ευριστικές μέθοδοι σχεδιασμού ψάχνουν το χώρο λύσεων με προκαθορισμένους κανόνες, οι οποίοι δεν μπορούν εγγυηθούν βέλτιστες λύσεις στο στο γενικό πρόβλημα σχεδιασμού.

Οι μεταγλωτιστές είναι βασικό τμήμα των μεθοδολογιών εξερεύνησης και έχουν ως στόχο την απεικόνιση της εφαρμογής στους διαφορετικούς σχεδιασμούς.

Τα βασικά στάδια ενός μεταγλωτιστή είναι:

1. η επιλογή κώδικα, δηλαδή η απεικόνιση των εντολών μηχανής στον εκάστοτε επεξεργαστή,
2. η επιλογή καταχωρητών, δηλαδή η απεικόνιση των μεταβλητών στους καταχωρητές με στόχο την μείωση των αναφορών στη μνήμη κατά την εκτέλεση της εφαρμογής,
3. η ανάθεση σε καταχωρητές, δηλαδή ο καθορισμός σε ποιον φυσικό καταχωρητή θα αποθηκευτεί μια μεταβλητή,
4. ο χρόνος προγραμματισμού των εντολών, δηλαδή η αναδιοργάνωση των εντολών για να εξερευνηθούν και να εκμεταλλευτούν την πιθανή παραλληλία στις εντολές και η ανάθεση πόρων, δηλαδή ο καθορισμός των επεξεργαστικών μονάδων και των διαύλων στις πράξεις της εφαρμογής.

Οι φάσεις που εκτελούν οι μεταγλωτιστές είναι συσχετιζόμενες με δικαυτευθυντήριο τρόπο, διότι οι αποφάσεις μιας φάσης επηρεάζουν και επιβάλλουν περιορισμούς σε επόμενες φάσεις και συνολικά οδηγούν σε υποβέλτιστες λύσεις. Για παράδειγμα, σε έναν μεταγλωτιστή για ενσωματωμένα συστήματα η φάση επιλογής κώδικα τοποθετεί εικονικούς καταχωρητές από διάφορες κλάσεις, αλλά η κλάση από την οποία πρέπει να επιλεγούν οι καταχωρητές είναι γνωστή μόνο μετά την φάση επιλογής καταχωρητών. Η φάση επιλογής καταχωρητών δεν μπορεί να προηγηθεί από την φάση επιλογής κώδικα, διότι οι απαιτούμενοι καταχωρητές είναι γνωστοί μετά τη φάση επιλογής κώδικα. Οι συνήθεις DSE μεθοδολογίες παρέχουν μη βέλτιστο συνδυασμό των μη βέλτιστων αποτελεσμάτων ανά φάση το οποίο οδηγεί σε συνολικά υπο-βέλτιστη λύση.

Η έρευνα έχει πραγματοποιηθεί και για την εύρεση της βέλτιστης σειράς εκτέλεσης των φάσεων του μεταγλωτιστή. Δεν έχει ευρεθεί συνολικά βέλτιστη σειρά εκτέλεσης των φάσεων του μεταγλωτιστή η οποία να οδηγεί σε βέλτιστο αποτέλεσμα, διότι επηρεάζεται από την εφαρμογή προς μεταγλώττιση, τον μεταγλωτιστή και την αρχιτεκτονική του συστήματος. Για να μειωθεί ο χρόνος εξερεύνησης, οι περιορισμοί ανάμεσα στα βήματα απεικόνισης, τα οποία είναι συσχετιζόμενα με δικαυτευθυντήριο τρόπο, δεν λαμβάνονται υπόψιν. Για παράδειγμα, οι παράμετροι σχεδίασης ταξινομούνται με βάση την επιρροή την οποία έχουν και η οποία καθορίζεται από την μέγιστη μεταβολή στην τιμή των παραμέτρων. Όλοι οι συνδυασμοί των δύο πρώτων παραμέτρων λαμβάνονται υπόψιν για περαιτέρω εξερεύνηση. Σε άλλες περιπτώσεις η ανεξαρτησία των παραμέτρων χρησιμοποιείται ώστε να μειώσει το χώρο εξερεύνησης η οποία είναι συνήθως περιορισμένη, και να παράγει την Pareto καμπύλη στο Platone. Τεχνικές που ακολουθούν το διαιρεί και βασιλεύει δεν μπορούν να εξερευνηθούν αποδοτικά την δομή του προβλήματος προς σχεδίαση και αγνοούν τους περιορισμούς κατά την διαίρεση σε υπο-προβλήματα. Επιλύουν κάθε υπο-πρόβλημα μεμονωμένα και ανεξάρτητα και όταν συνδυάζουν τα μερικά αποτελέσματα καταλήγουν σε υπο βέλτιστες λύσεις.

Στην βιομηχανία, τα προβλήματα σχεδίασης είναι μεγάλα και περίπλοκα και επομένως οι DSE μεθοδολογίες πρέπει να εγκαταλείψουν την απαίτηση για σχεδόν βέλτιστη λύση, ούτως ώστε να

επιτύχουν την επεκτασιμότητα των μεθοδολογιών σε μεγάλα προβλήματα σχεδίασης. Επομένως, τα βήματα σχεδιασμού εκτελούνται με μερικώς ανεξάρτητο τρόπο για να μειώσουν τις εξαρτήσεις και τον χρόνο εξερεύνησης. Τα υπάρχοντα εργαλεία δεν λαμβάνουν υπόψιν τις κυκλικές εξαρτήσεις ανάμεσα στην επεξεργασία, την μνήμη και την επικοινωνία με αποτέλεσμα την δημιουργία λιγότερο αποδοτικών σχεδιάσεων. Όταν συνδυάζονται τα αποτελέσματα από τα εκάστοτε βήματα, η ποιότητα του σχεδιασμού μειώνεται λόγω συγκρουόμενων αποφάσεων στα διαφορετικά βήματα.

Συμπερασματικά, υπάρχει ένα δίλημμα στις υπάρχουσες μεθοδολογίες εξερεύνησης. Είτε να εγκαταλείψουν την απαίτηση για σχεδόν βέλτιστη ποιότητα του τελικού σχεδιασμού ή να εγκαταλείψουν την επεκτασιμότητα στην μεθοδολογία εξερεύνησης.

Κεφάλαιο 5^ο

5.1 Παρουσίαση Παραμέτρων:

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται οι Παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα πτυχιακή εργασία καθώς και οι μετρήσεις, σε σχέση με τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούμε.

Οι μετρήσεις που θα καταγράψουμε είναι το πλήθος των επιτυχής μεταδιδόμενων πακέτων (Successful Packets), την ενέργεια (Energy Consumed) που καταναλώθηκε και την μέση καθυστέρηση (Delay/latency) κάθε πακέτου που μεταδίδεται επιτυχώς.

Τα Mac Layer Protocols που χρησιμοποιούμε στην παρούσα εργασία είναι:

1. 802.11
2. 802.11e
3. 802.15.4

Σε κάθε προσομοίωση είχαμε διαφορετικό αριθμό κόμβων (10, 50, 100, 150, 200) και διαφορετικό αριθμό Data flow (1, 5, 10, 20, 40).

5.2 Παρουσίαση Μετρήσεων:

Για το Mac πρωτόκολλο 802.11:

10 κόμβοι με Data flows 1, 5, 10, 20 και 40 είχαμε τα εξής αποτελέσματα:

Αριθμός κόμβων :	10				
Αριθμός data flows:	1	5	10	20	40
Successful Packets Arrival per Node:	46.11	229.44	461.667	931.44	1821.22
Energy Consumed per Node:	0.018	0.031	0.046	0.077	0.138
Delay Average:	13.27	67.77	137.67	277.27	542.33

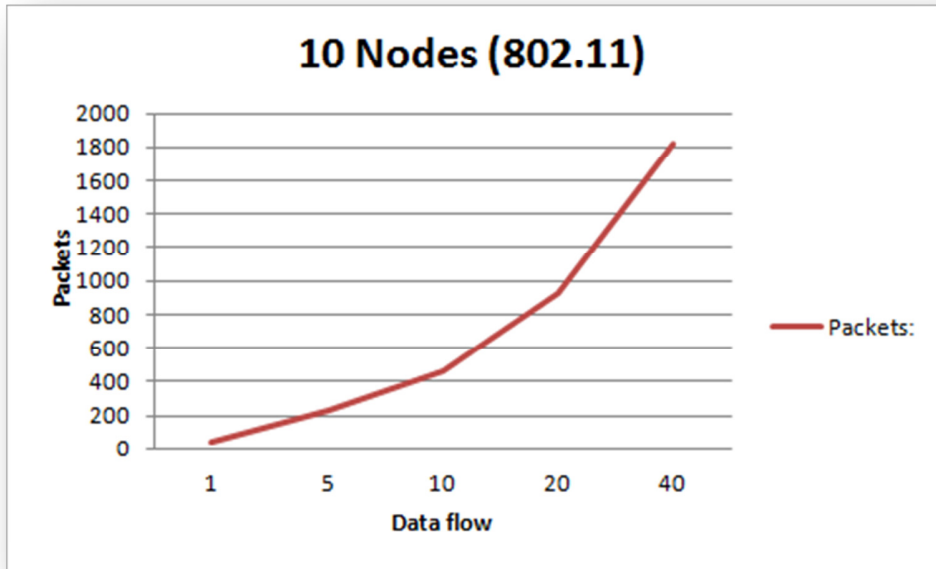


Figure 1: Successful Packets per node

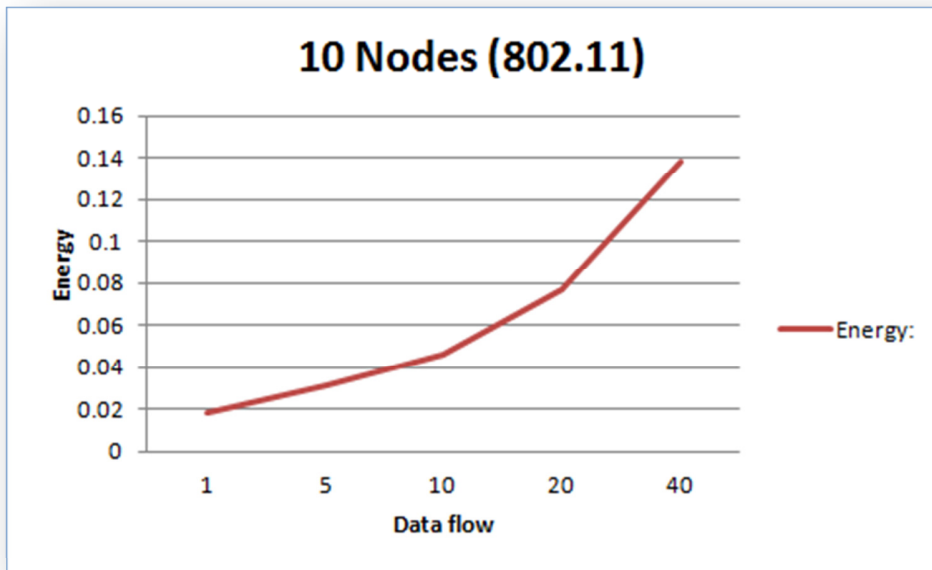


Figure 2: Consumed Energy

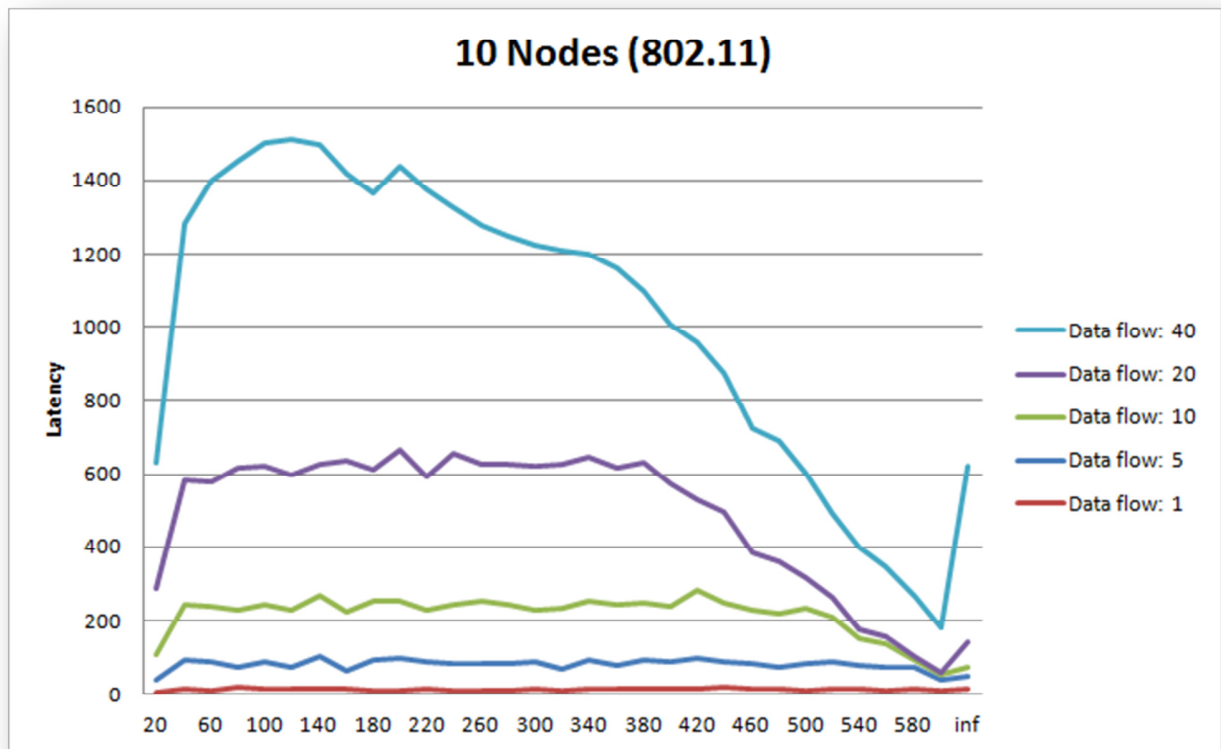


Figure 3: Delay (Latency)

50 κόμβοι με Data flows 1, 5, 10, 20 και 40 είχαμε τα εξής αποτελέσματα:

Αριθμός κόμβων :	50				
Αριθμός data flows:	1	5	10	20	40
Successful Packets Arrival per Node:	43.42	219.26	439.04	734.61	735.12
Energy Consumed per Node:	0.026	0.068	0.118	0.158	0.158
Delay Average:	65.6	349.5	699.03	365.07	0

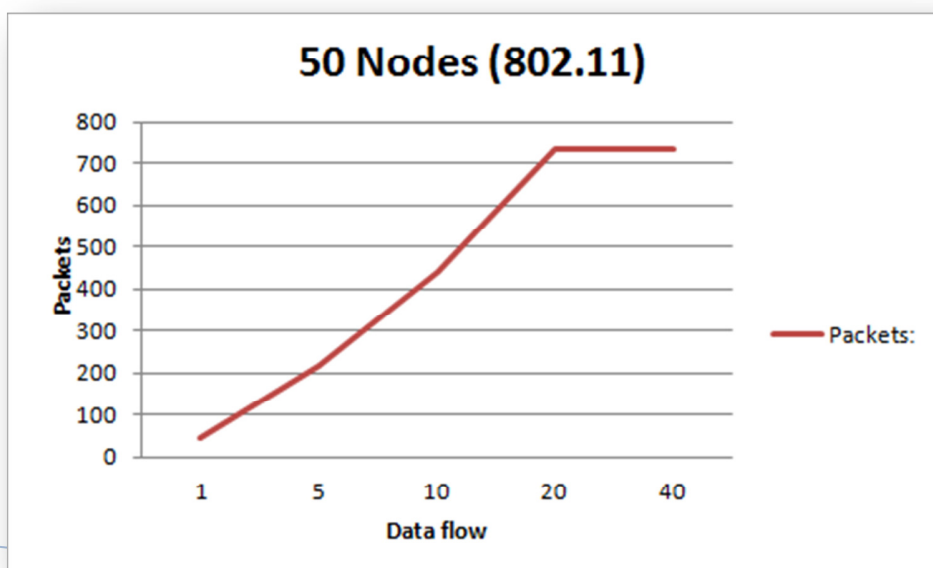


Figure 4: Successful Packets per node

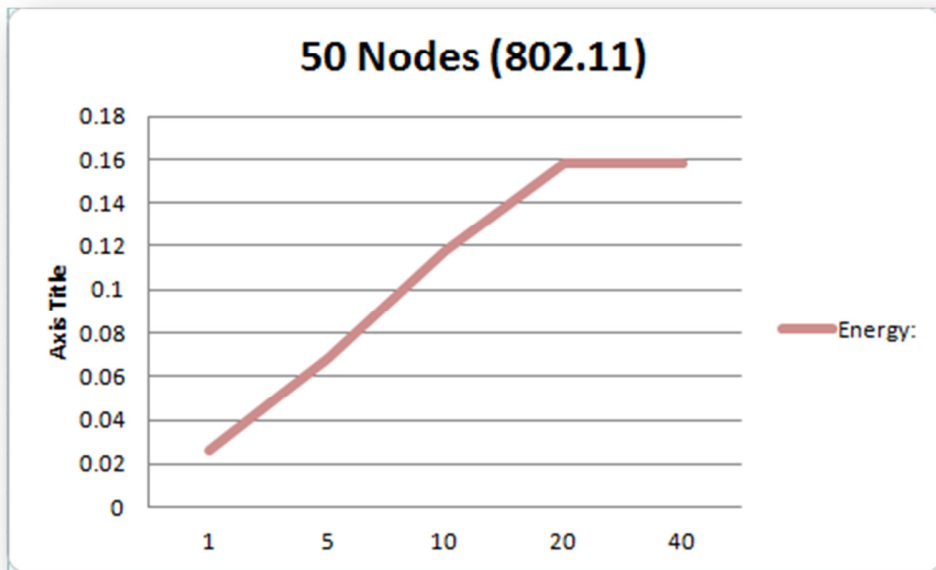


Figure 6: Consumed Energy

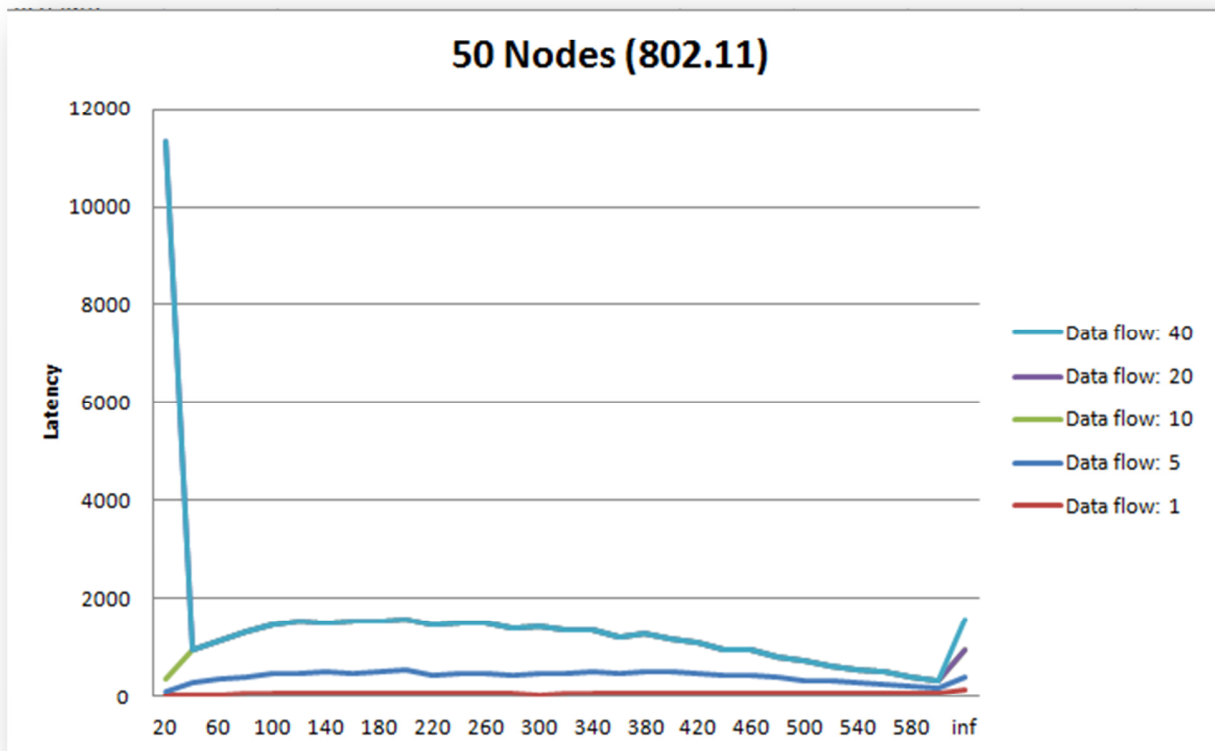


Figure 5: Delay (Latency)

100 κόμβοι με Data flows 1, 5, 10, 20 και 40 είχαμε τα εξής αποτελέσματα:

Αριθμός κόμβων :	100				
Αριθμός data flows:	1	5	10	20	40
Successful Packets Arrival per Node:	40.65	199.1	364.86	362.31	362.31
Energy Consumed per Node:	0.035	0.105	0.158	0.158	0.158
Delay Average:	117.77	629.17	874.87	0	0

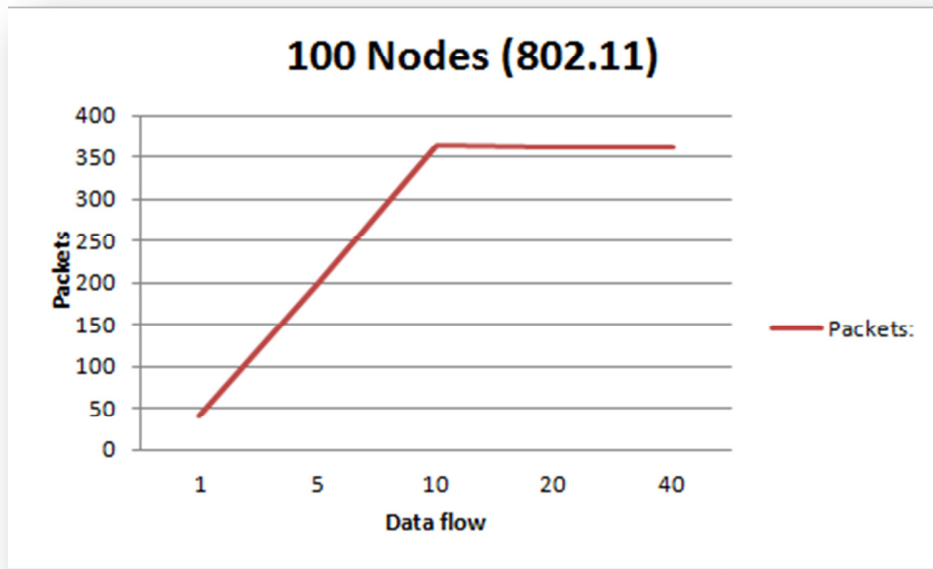


Figure 8: Successful Packets per node

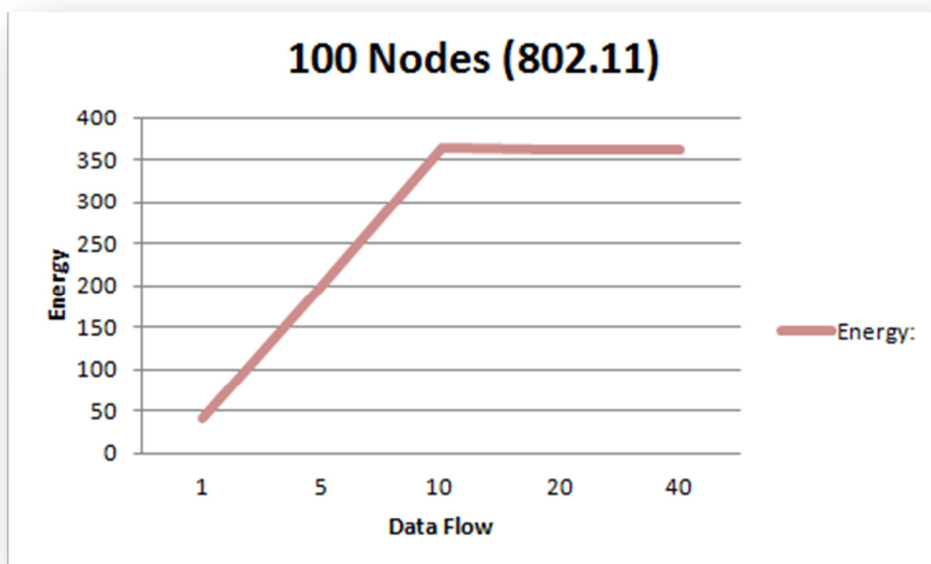


Figure 7: Consumed Energy

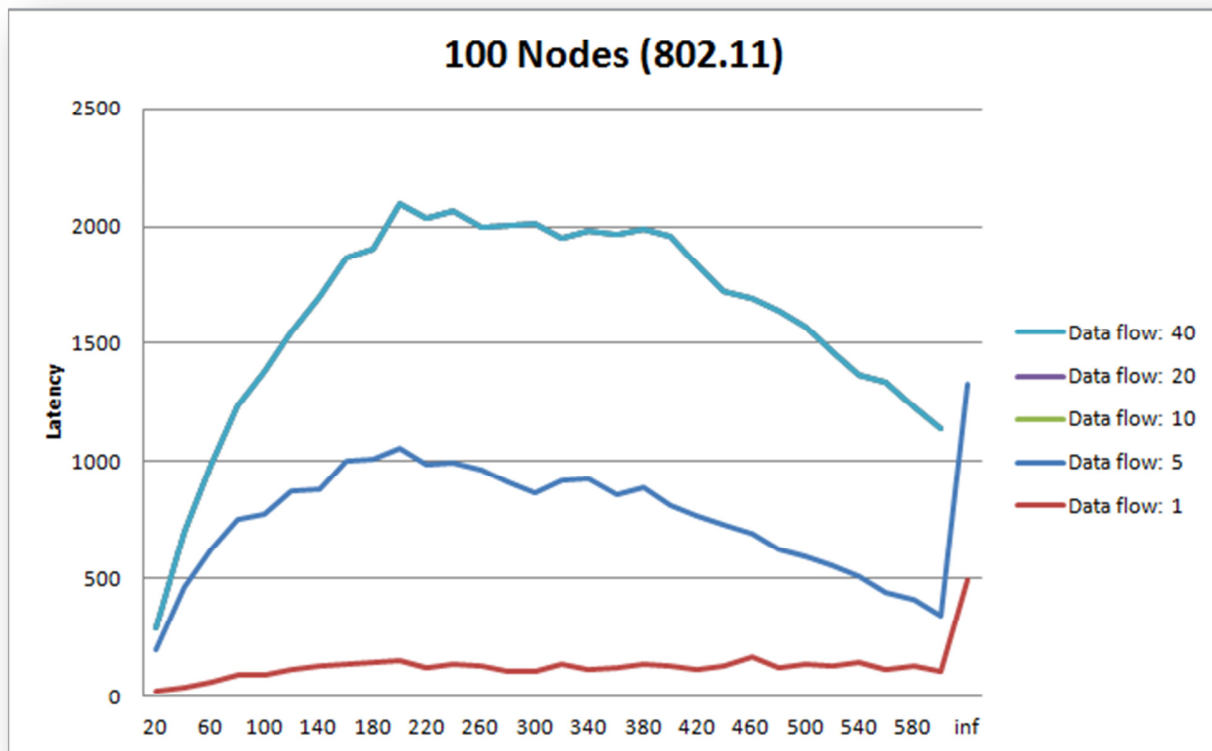


Figure 9: Delay (Latency)

150 κόμβοιμε Data flows 1, 5, 10, 20 και 40 είχαμε τα εξής αποτελέσματα:

Αριθμός κόμβων :	150				
Αριθμός data flows:	1	5	10	20	40
Successful Packets Arrival per Node:	38.09	182.49	227.22	227.06	227.06
Energy Consumed per Node:	0.042	0.135	0.158	0.158	0.158
Delay Average:	158.7	829.17	8.9	0	0

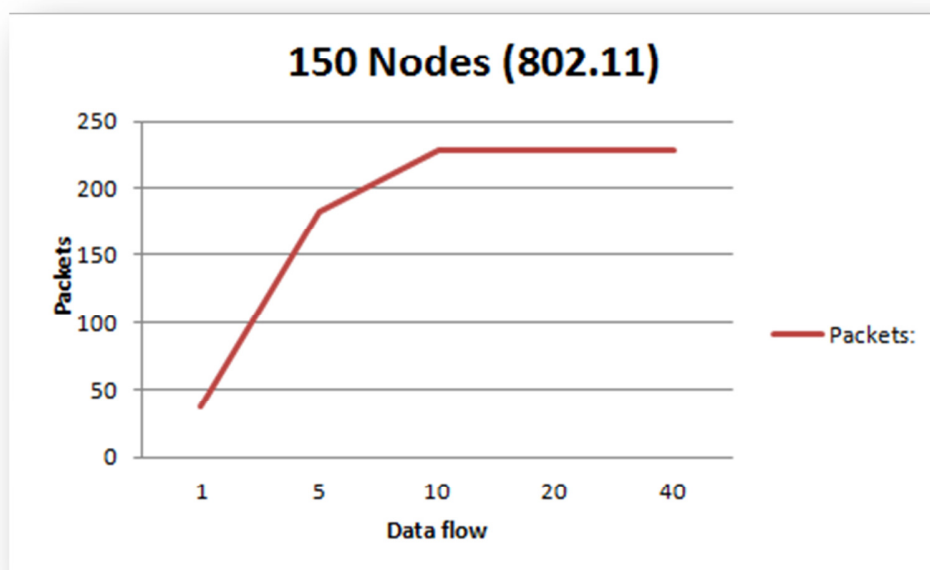


Figure 10: Successful Packets per node

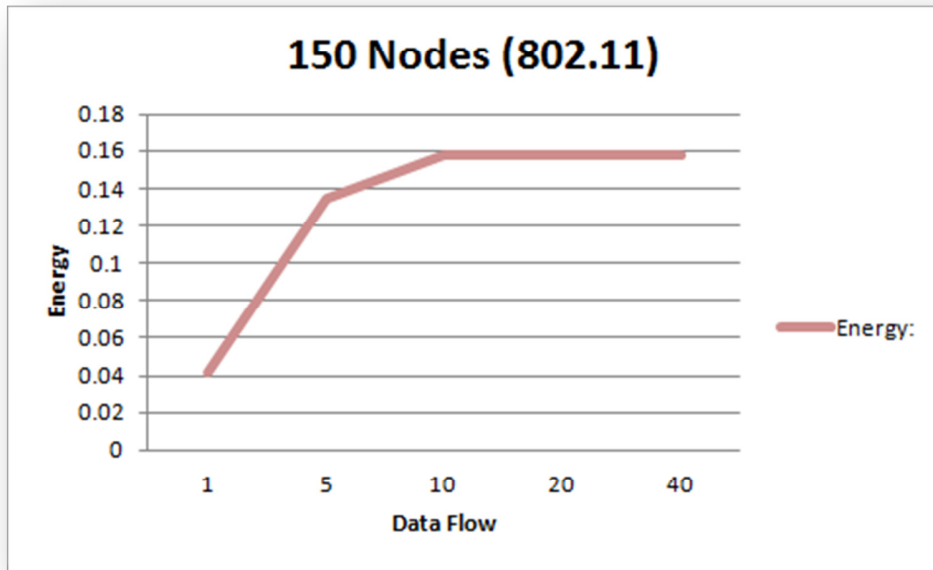


Figure 11: Consumed Energy

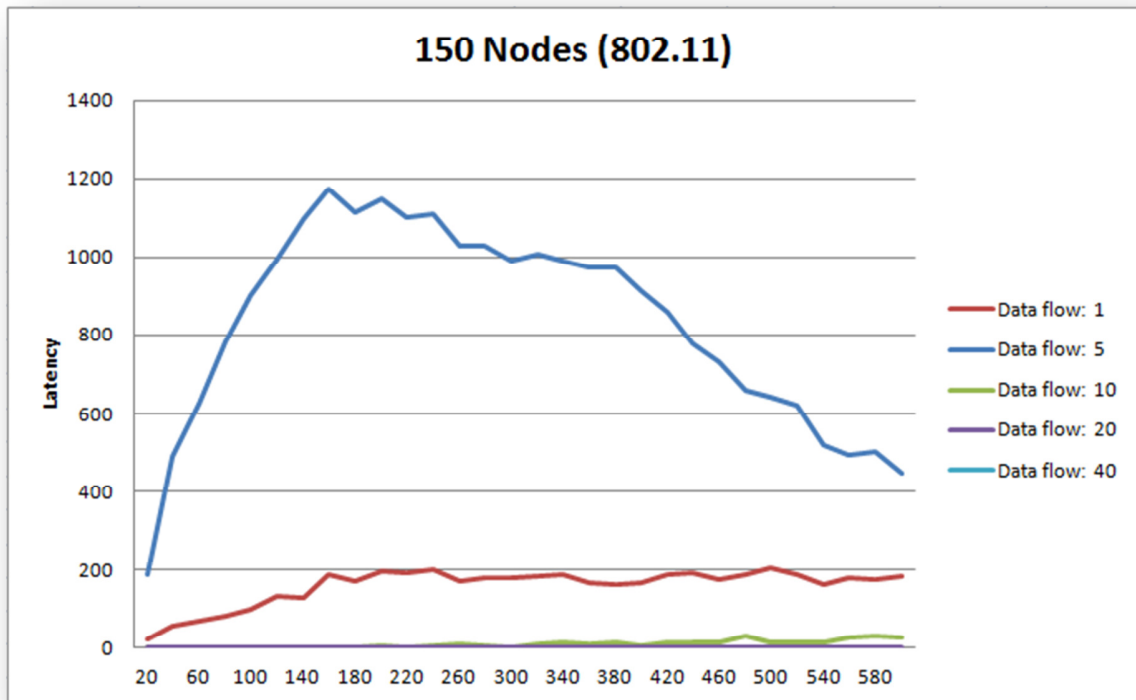


Figure 12: Delay (Latency)

200 κόμβοι με Data flows 1, 5, 10, 20 και 40 είχαμε τα εξής αποτελέσματα:

Αριθμός κόμβων :	200				
Αριθμός data flows:	1	5	10	20	40
Successful Packets Arrival per Node:	34.57	171.13	158.21	158.14	158.14
Energy Consumed per Node:	0.048	0.158	0.158	0.158	0.158
Delay Average:	187.03	986.47	2.03	0	0

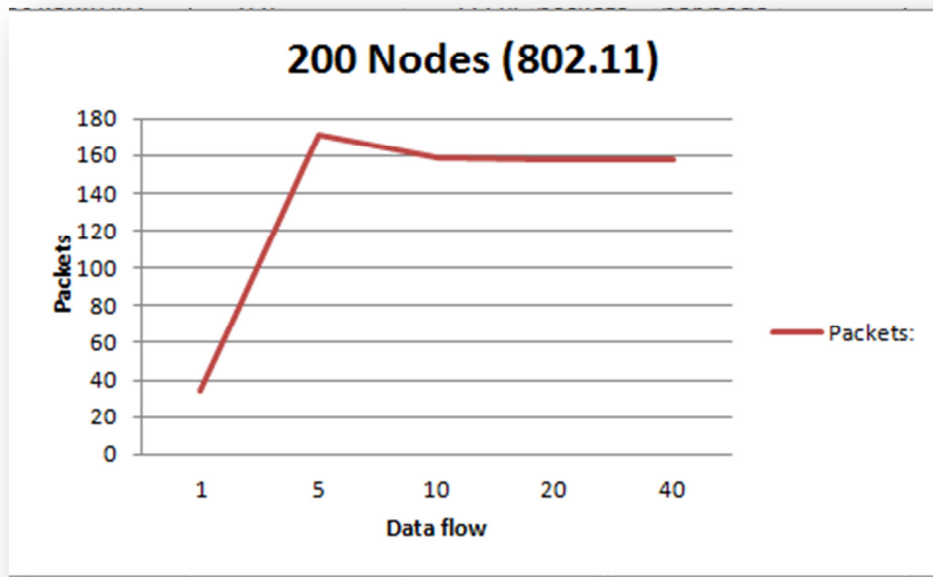


Figure 13: Successful Packets per node

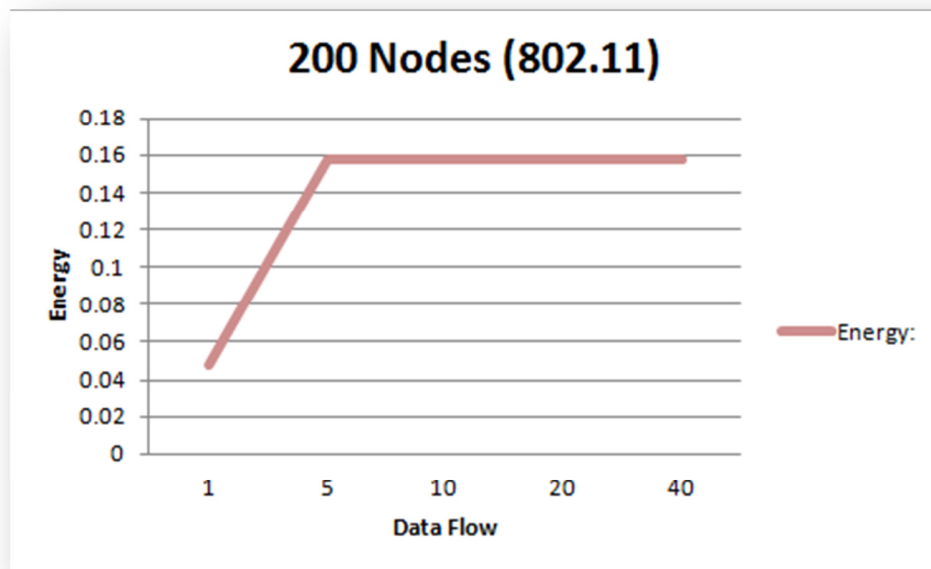


Figure 14: Consumed Energy

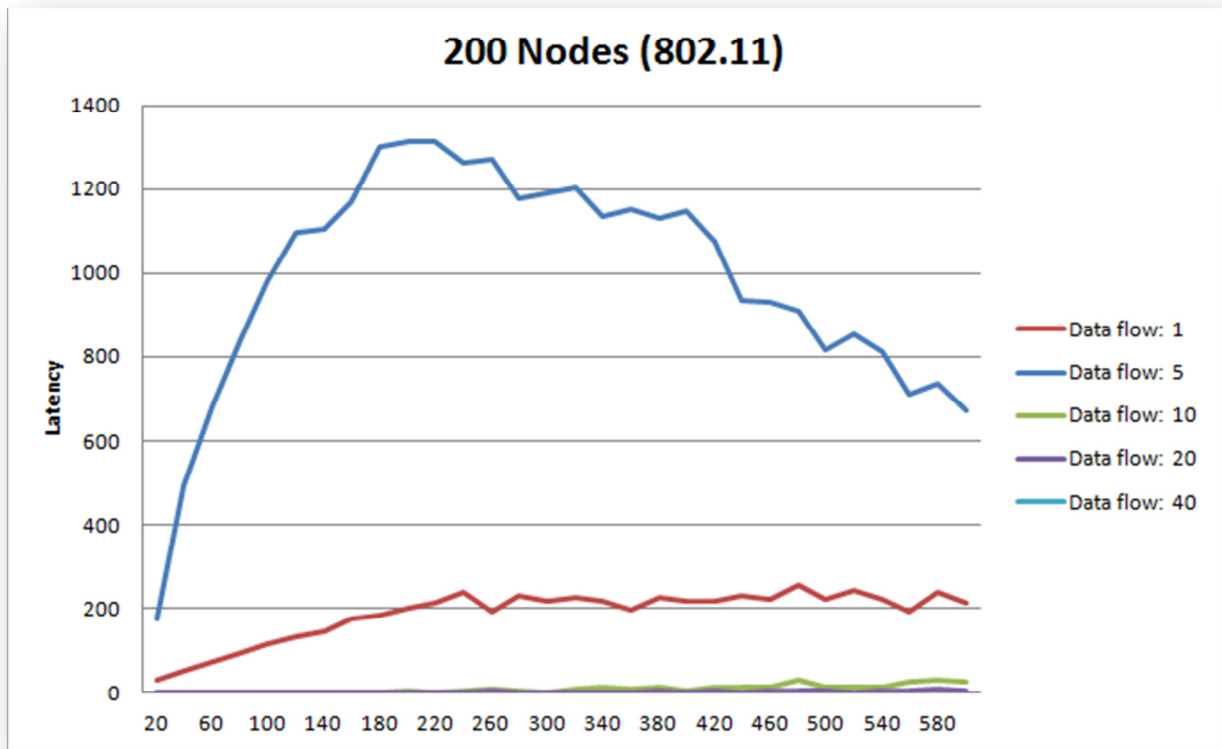


Figure 15: Delay (Latency)

Για το Mac πρωτόκολλο 802.11e:

10 κόμβοι με Data flows 1, 5, 10, 20 και 40 είχαμε τα εξής αποτελέσματα:

Αριθμός κόμβων :	10				
Αριθμός data flows:	1	5	10	20	40
Successful Packets Arrival per Node:	39.88	184.88	323.55	621.33	687.55
Energy Consumed per Node:	0.158	0.158	0.158	0.158	0.158
Delay Average:	12.34	57.17	99.93	182.66	9.76

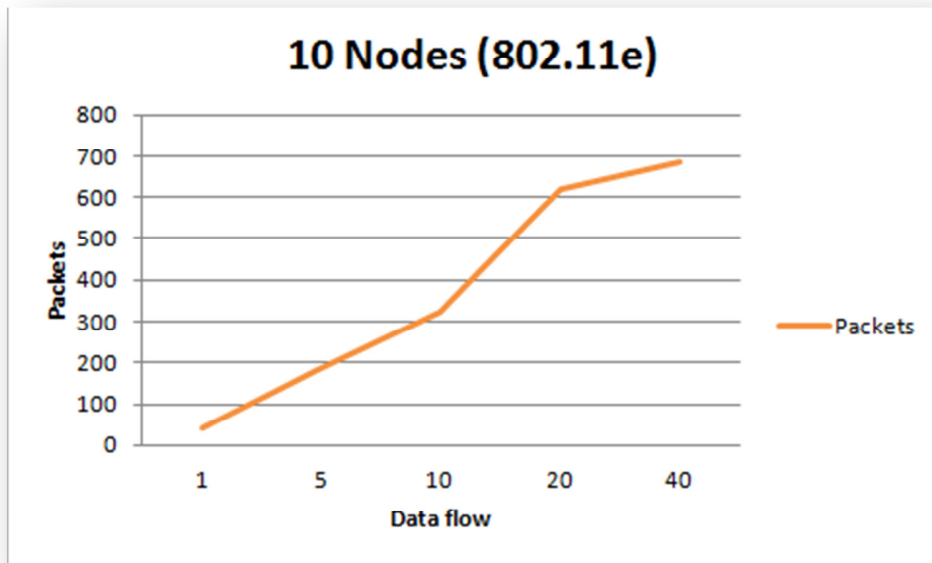


Figure 16: Successful Packets per node

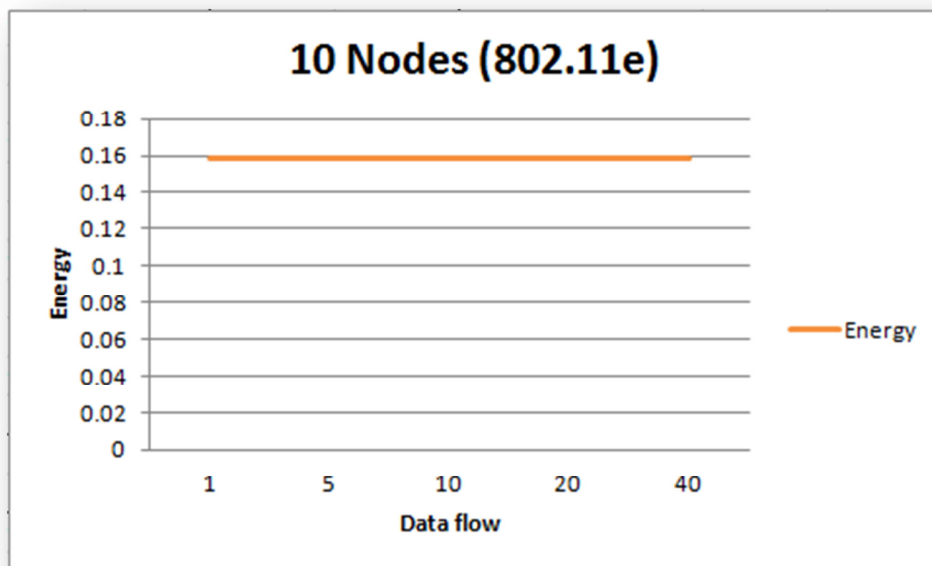


Figure 17: Consumed Energy

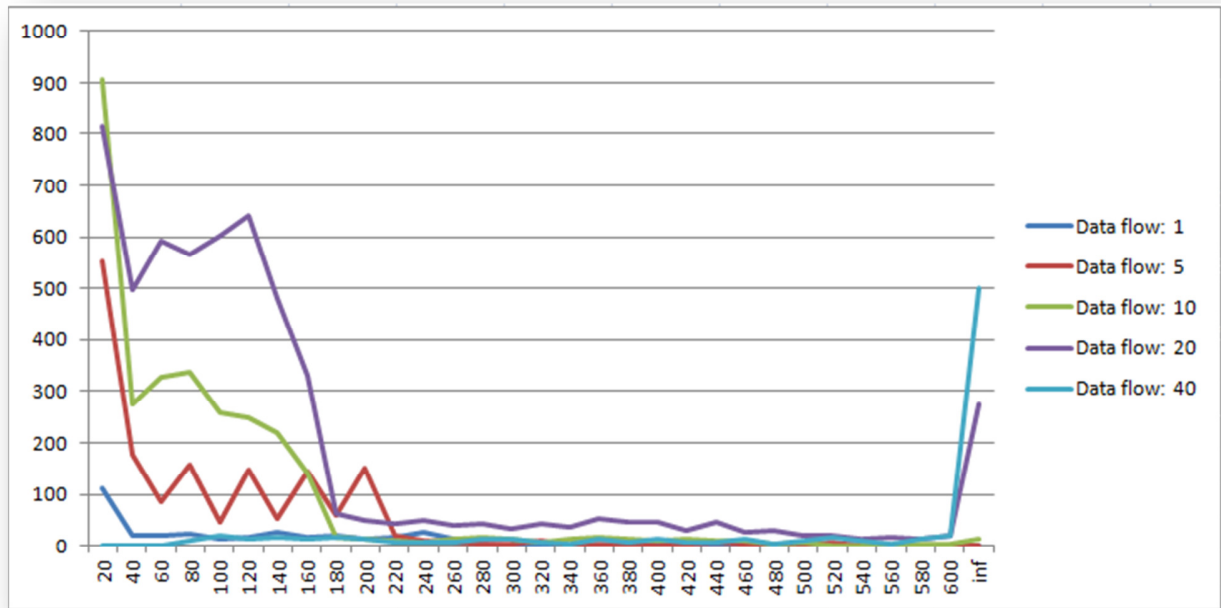


Figure 18: Delay (Latency)

50 κόμβων με Data flows 1, 5, 10, 20 και 40 είχαμε τα εξής αποτελέσματα:

Αριθμός κόμβων :	50				
Αριθμός data flows:	1	5	10	20	40
Successful Packets Arrival per Node:	16.98	65.42	67.46	60.1	59.28
Energy Consumed per Node:	0.158	0.158	0.158	0.158	0.158
Delay Average:	28.62	94.48	30.97	2.48	1.69

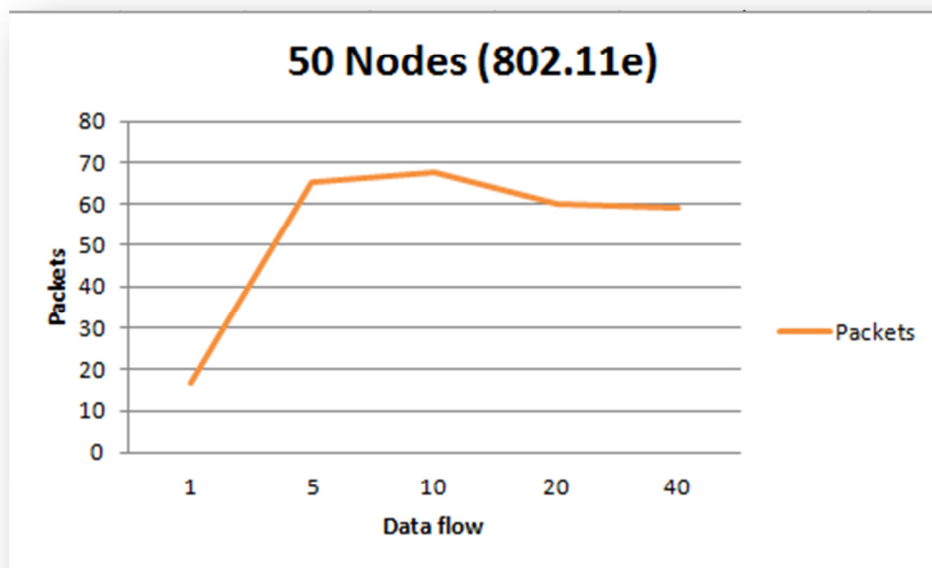


Figure 19: Successful Packets per node

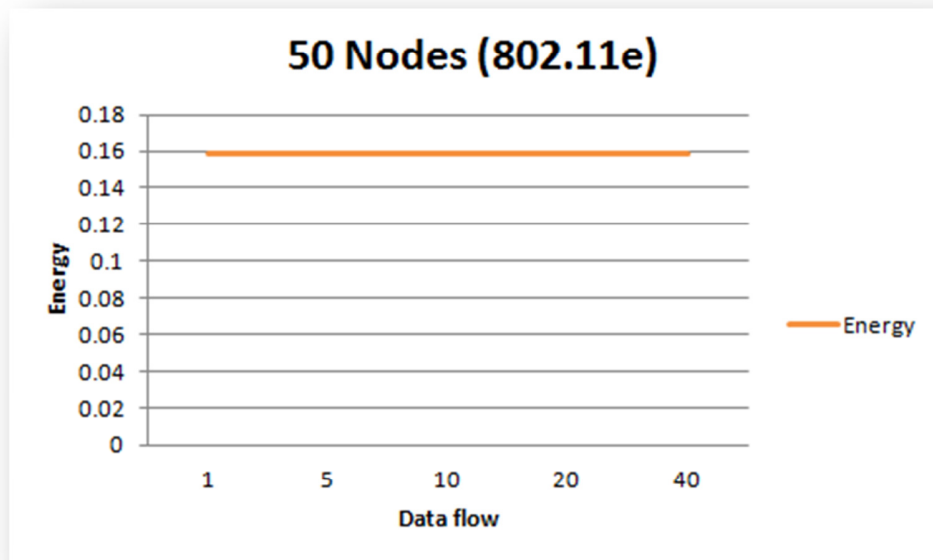


Figure 20: Consumed Energy

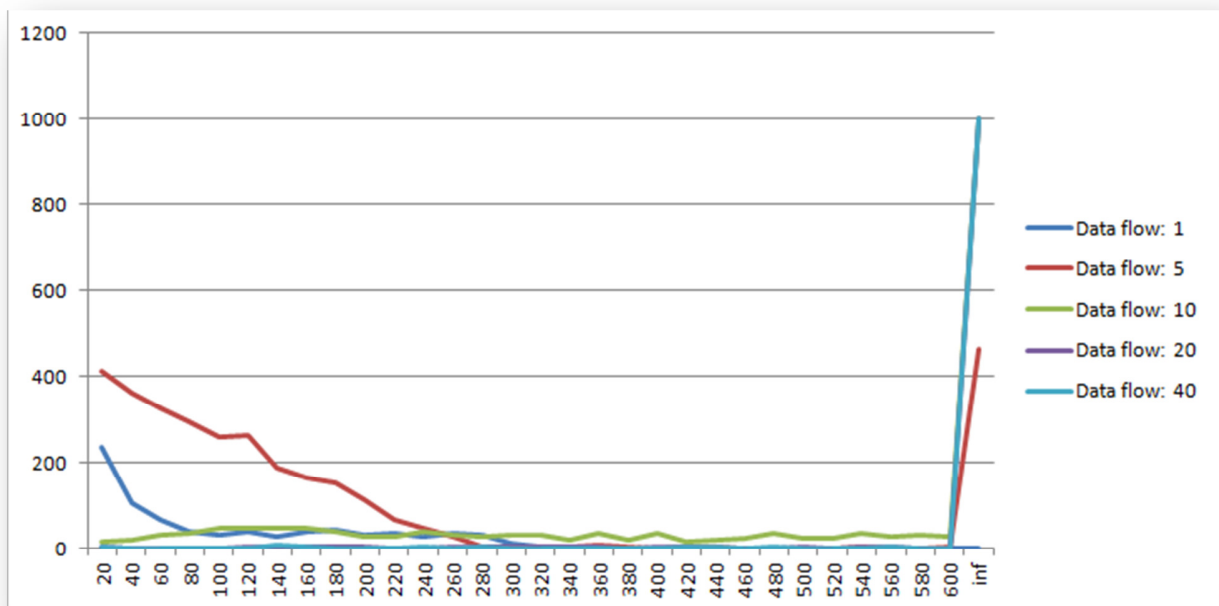


Figure 21: Delay (Latency)

100 κόμβοι με Data flows 1, 5, 10, 20 και 40 είχαμε τα εξής αποτελέσματα:

Αριθμός κόμβων :	100				
Αριθμός data flows:	1	5	10	20	40
Successful Packets Arrival per Node:	2.25	10.74	12.33	16.44	18.19

Energy Consumed per Node:	0.158	0.158	0.158	0.158	0.158
Delay Average:	6.21	14.62	2.1	0.9	1.1

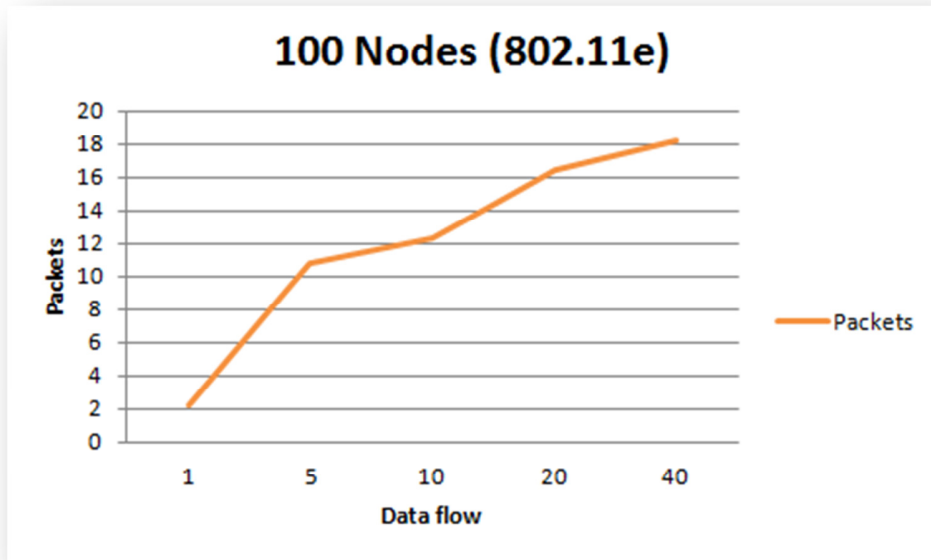


Figure 22: Successful Packets per node

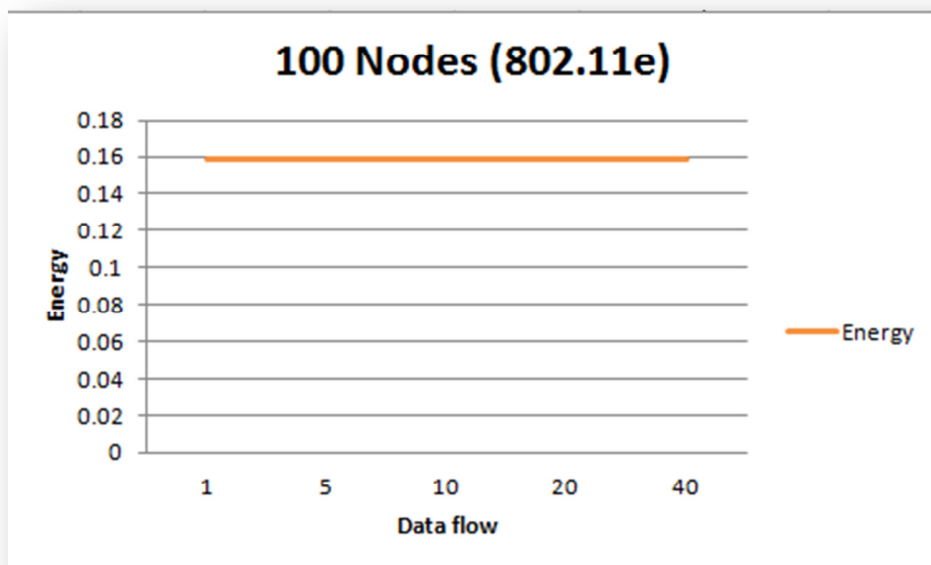


Figure 23: Consumed Energy

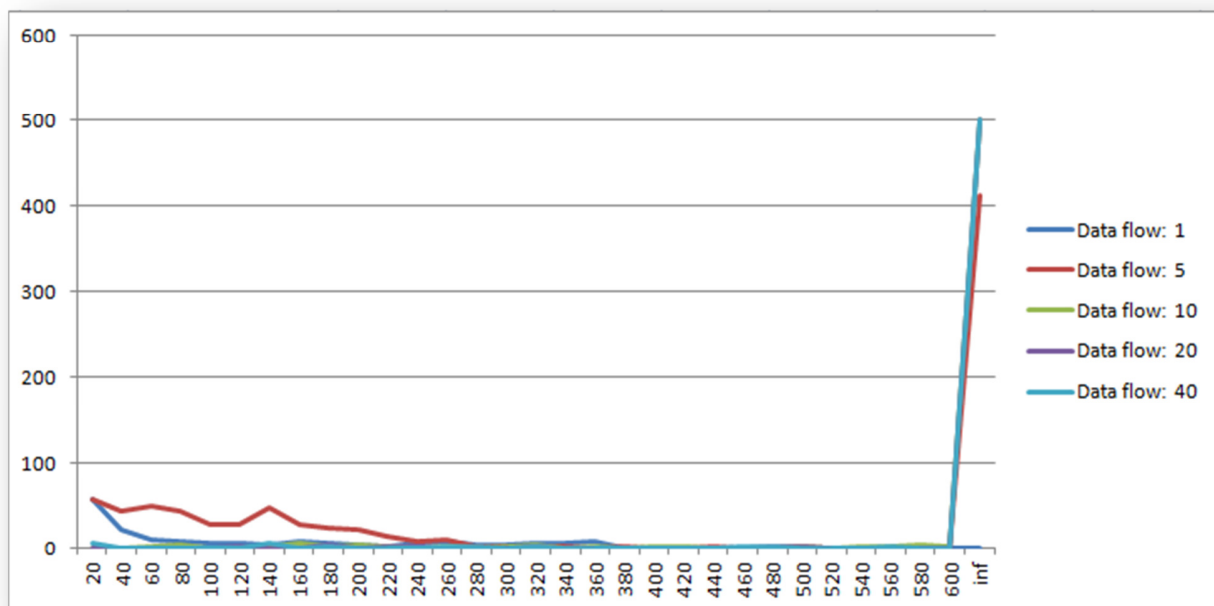


Figure 24: Delay (Latency)

150 κόμβοι με Data flows 1, 5, 10, 20 και 40 είχαμε τα εξής αποτελέσματα:

Αριθμός κόμβων :	150				
Αριθμός data flows:	1	5	10	20	40
Successful Packets Arrival per Node:	0.84	5.41	9.25	9.34	12.85
Energy Consumed per Node:	0.158	0.158	0.158	0.158	0.158
Delay Average:	2.03	8.66	0.86	0.34	0.52

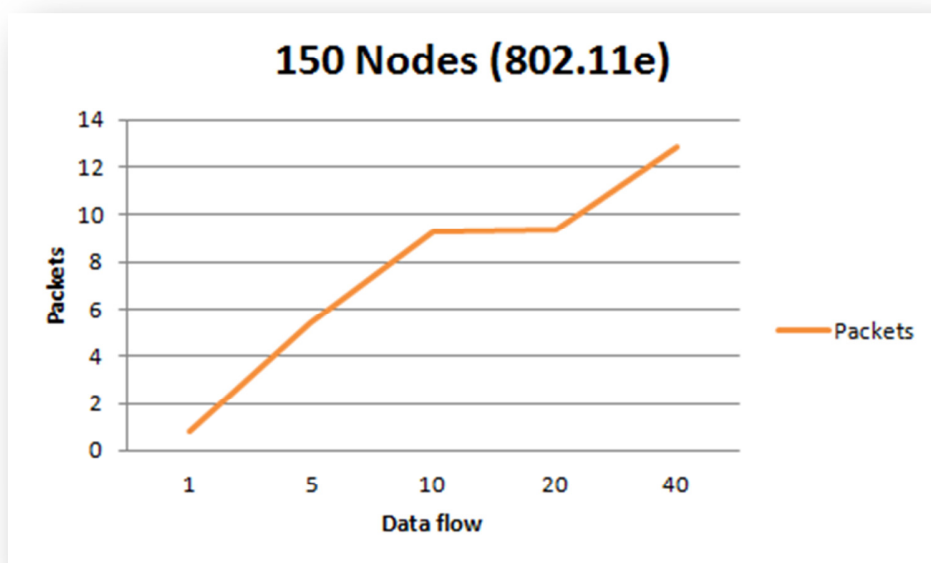


Figure 25: Successful Packets per node

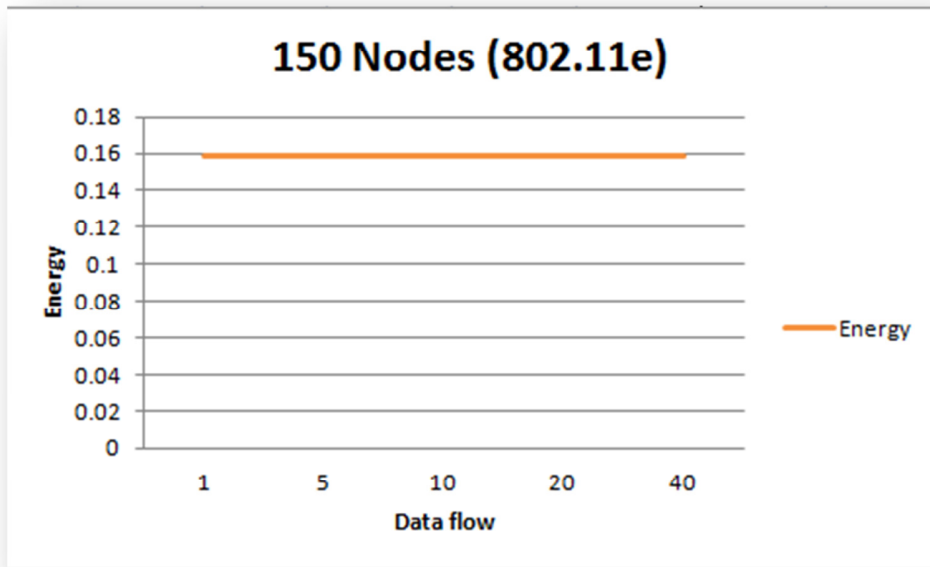


Figure 26: Consumed Energy

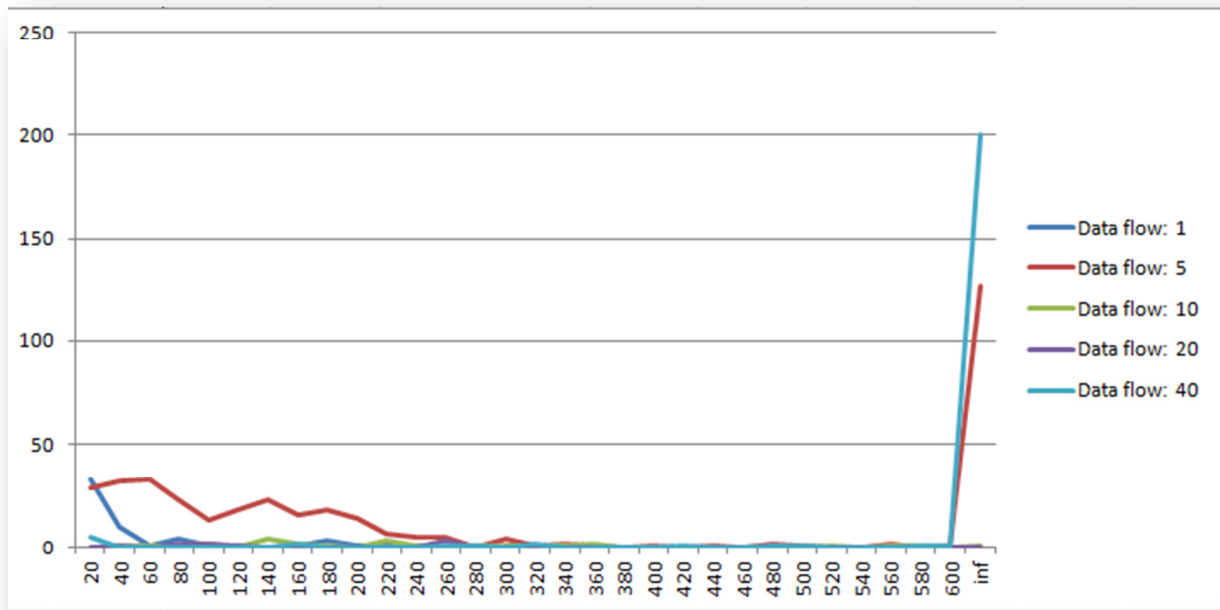


Figure 27: Delay (Latency)

200 κόμβοι με Data flows 1, 5, 10, 20 και 40 είχαμε τα εξής αποτελέσματα:

Αριθμός κόμβων :	200				
Αριθμός data flows:	1	5	10	20	40
Successful Packets Arrival per Node:	0.74	3.49	5.08	7.3	12.57
Energy Consumed per Node:	0.158	0.158	0.158	0.158	0.158
Delay Average:	2.14	4.24	0.62	0.31	0.52

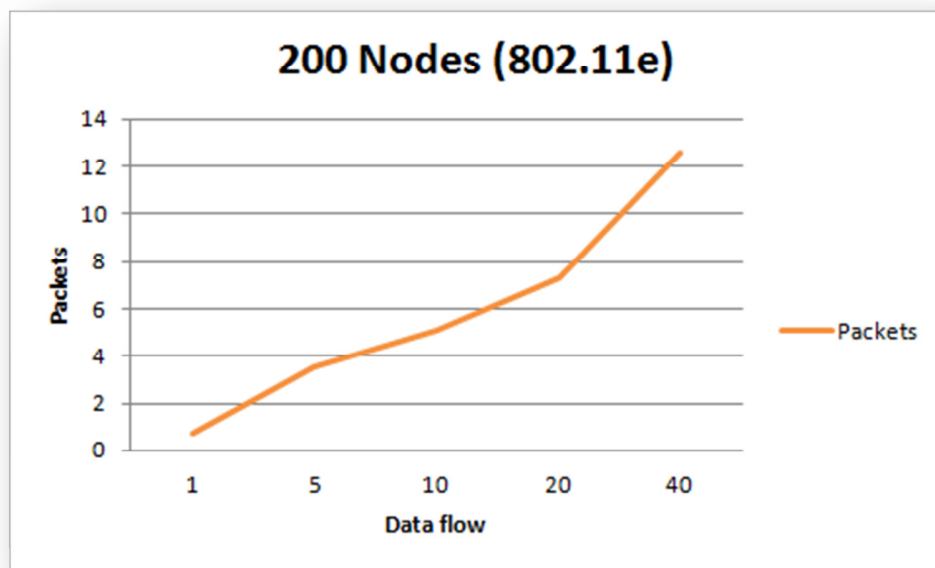


Figure 28: Successful Packets per node

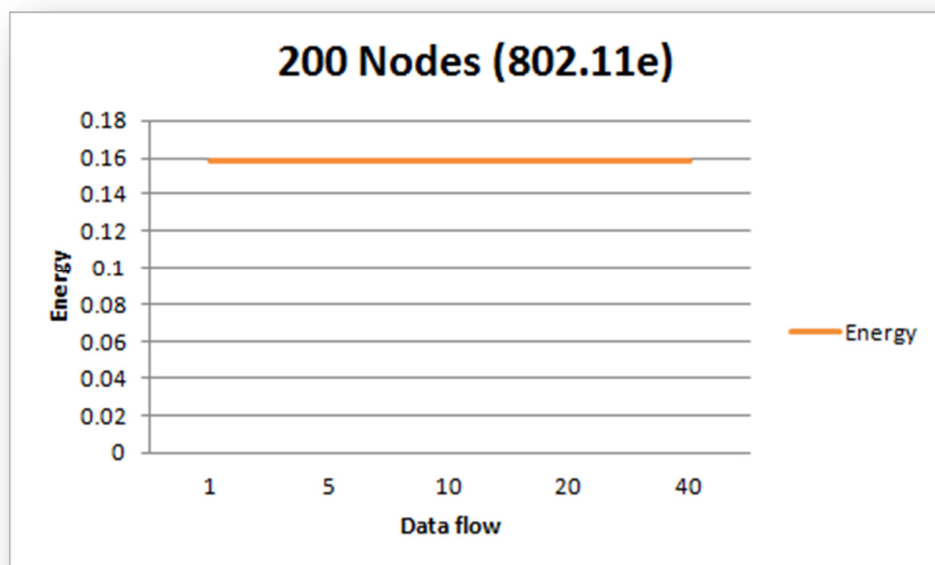


Figure 29: Consumed Energy

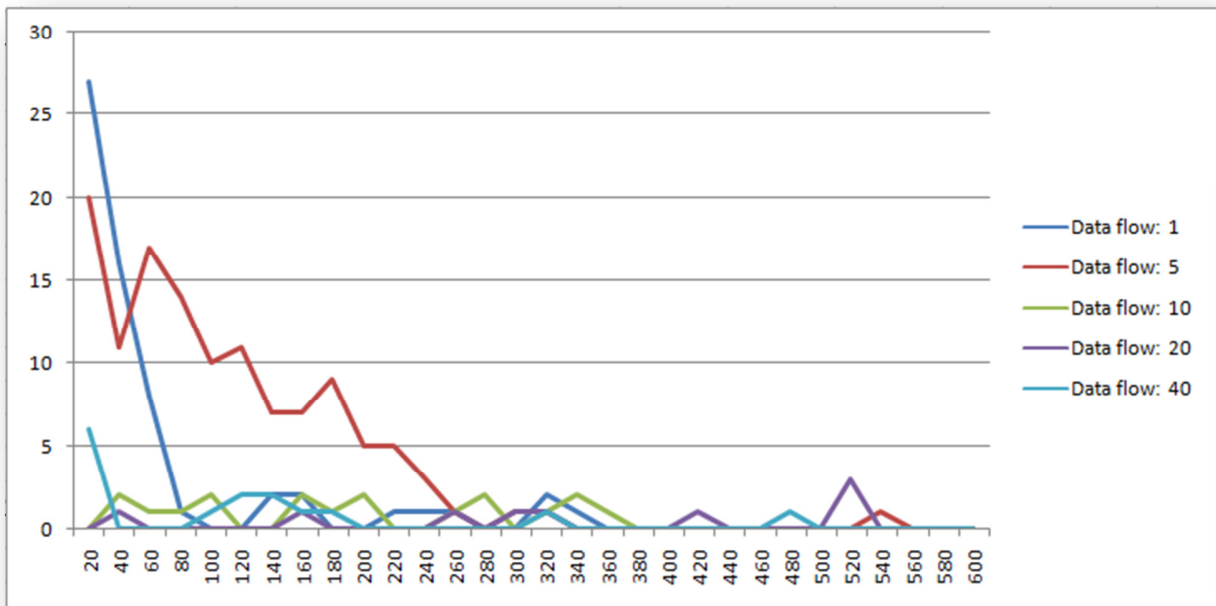


Figure 30: Delay (Latency)

Για το Mac πρωτόκολλο 802.15.4:

10 κόμβοι με Data flows 1, 5, 10, 20 και 40 είχαμε τα εξής αποτελέσματα:

Αριθμός κόμβων :	10				
Αριθμός data flows:	1	5	10	20	40
Successful Packets Arrival per Node:	47.55	239.77	456.55	788.66	798.11
Energy Consumed per Node:	0.054	0.054	0.054	0.054	0.054
Delay Average:	14.23	71.87	119.67	89	8.7

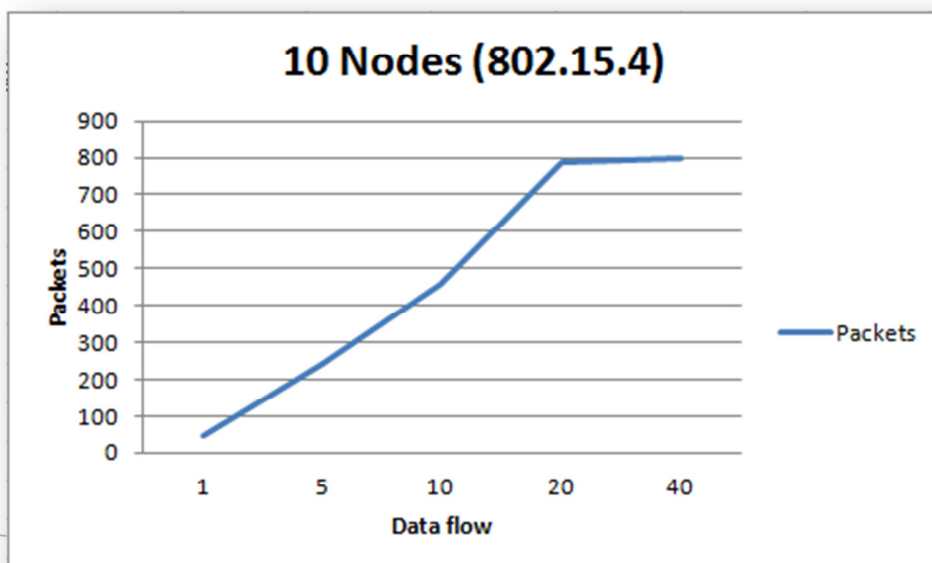


Figure 31: Successful Packets per node

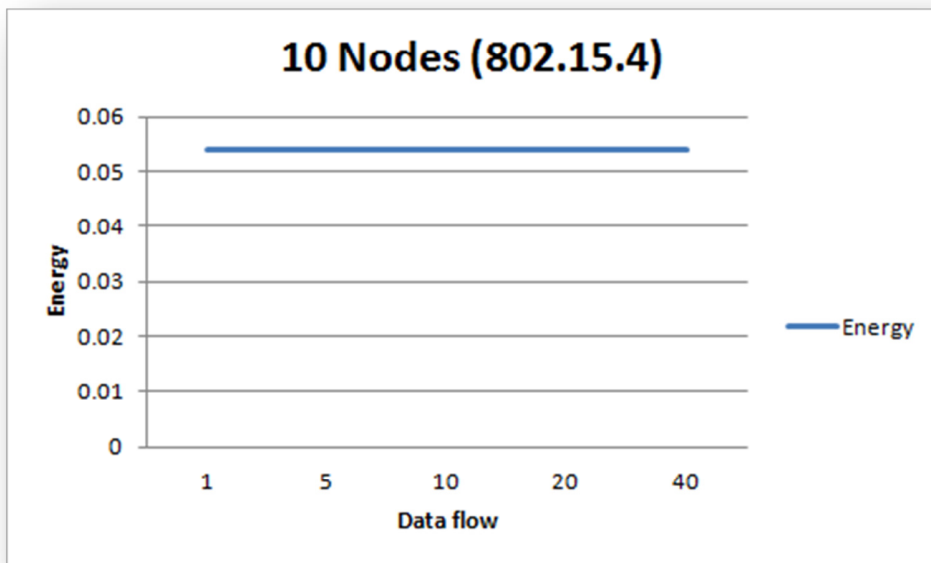


Figure 32: Consumed Energy

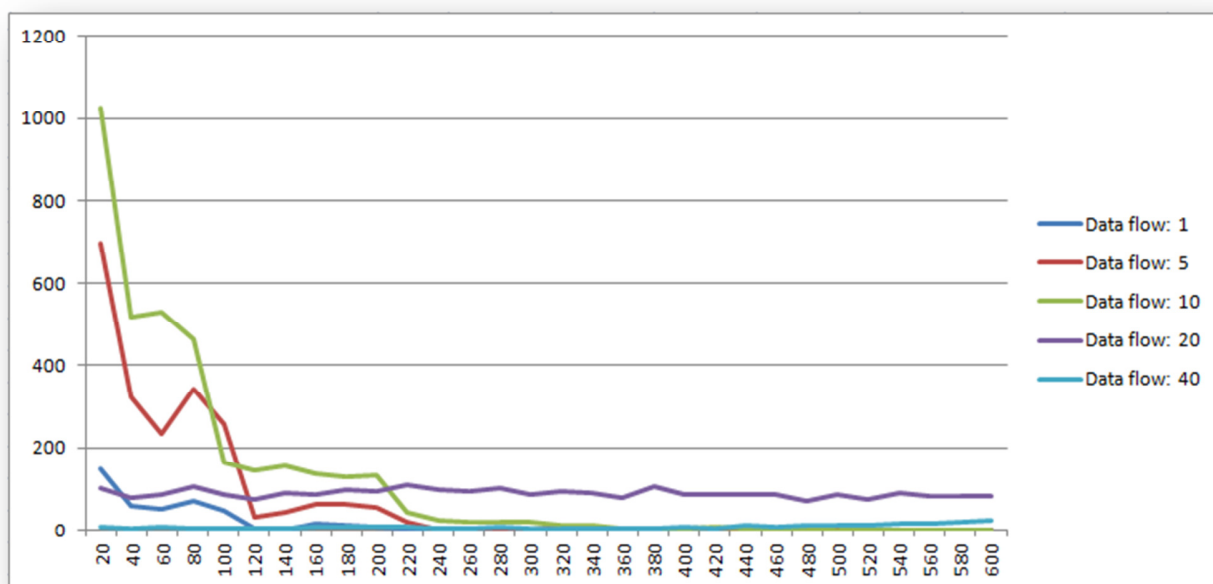


Figure 33: Delay (Latency)

50 κόμβων με Data flows 1, 5, 10, 20 και 40 είχαμε τα εξής αποτελέσματα:

Αριθμός κόμβων :	50				
Αριθμός data flows:	1	5	10	20	40
Successful Packets Arrival per Node:	25.14	112.14	149.73	149.34	150.38

Energy Consumed per Node:	0.045	0.045	0.045	0.045	0.046
Delay Average:	41.07	183.1	13.3	5.13	3.37

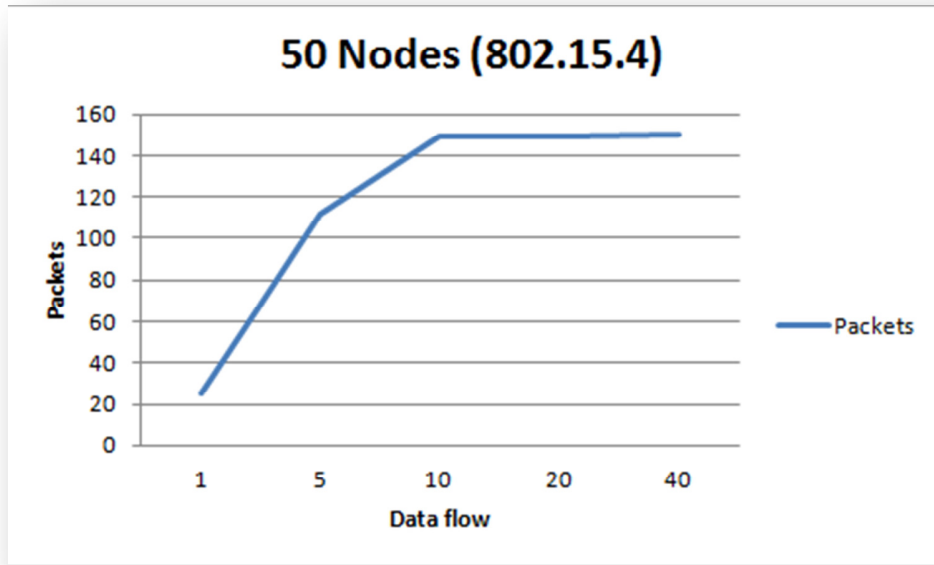


Figure 34: Successful Packets per node

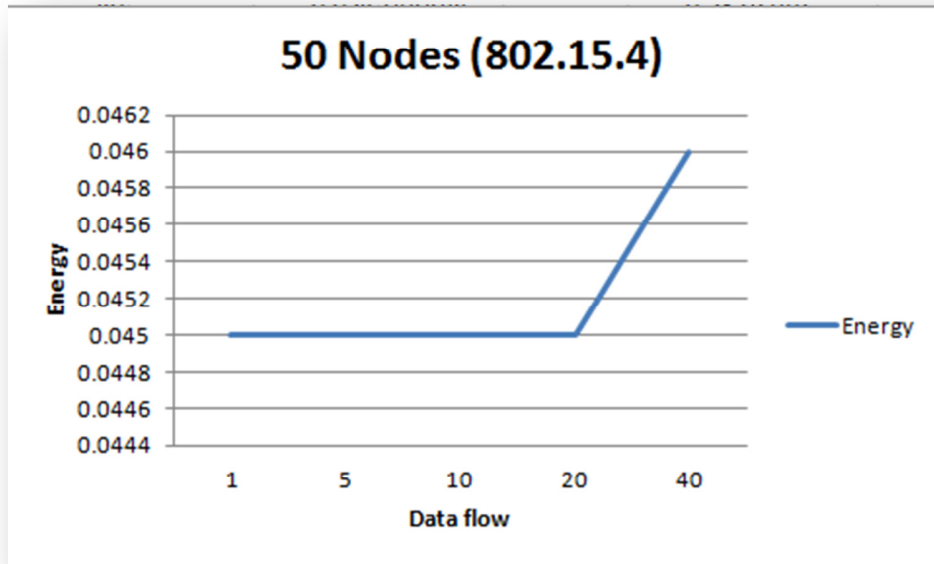


Figure 35: Consumed Energy

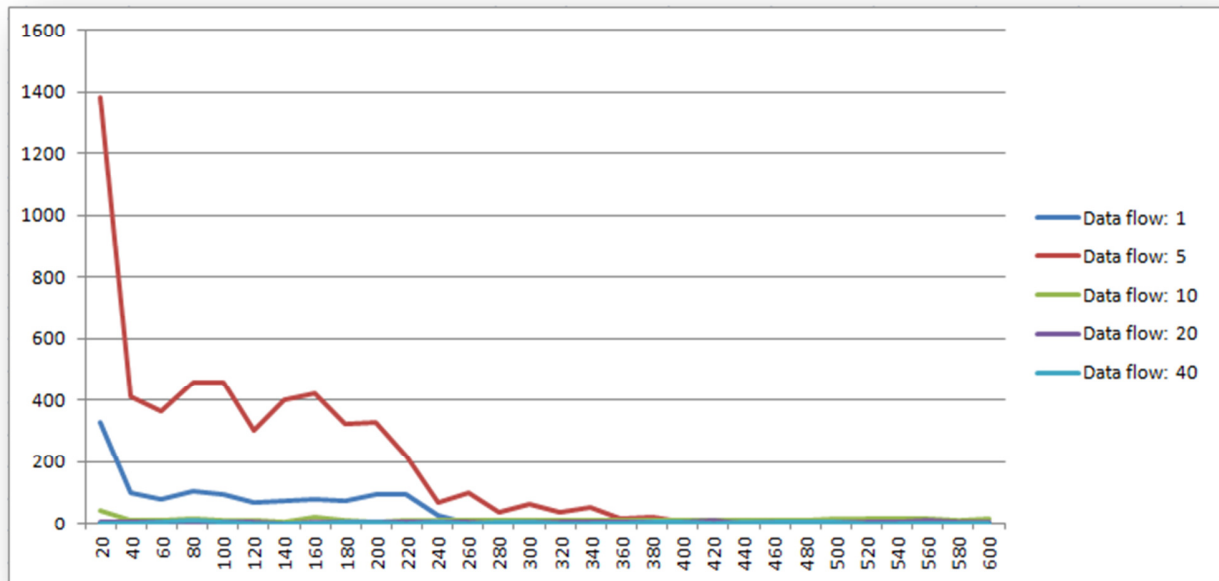


Figure 36: Delay (Latency)

100 κόμβοι με Data flows 1, 5, 10, 20 και 40 είχαμε τα εξής αποτελέσματα:

Αριθμός κόμβων :	100				
Αριθμός data flows:	1	5	10	20	40
Successful Packets Arrival per Node:	13	56.46	66.38	66.96	66.93
Energy Consumed per Node:	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045
Delay Average:	42.87	184.1	7	3.8	3.2

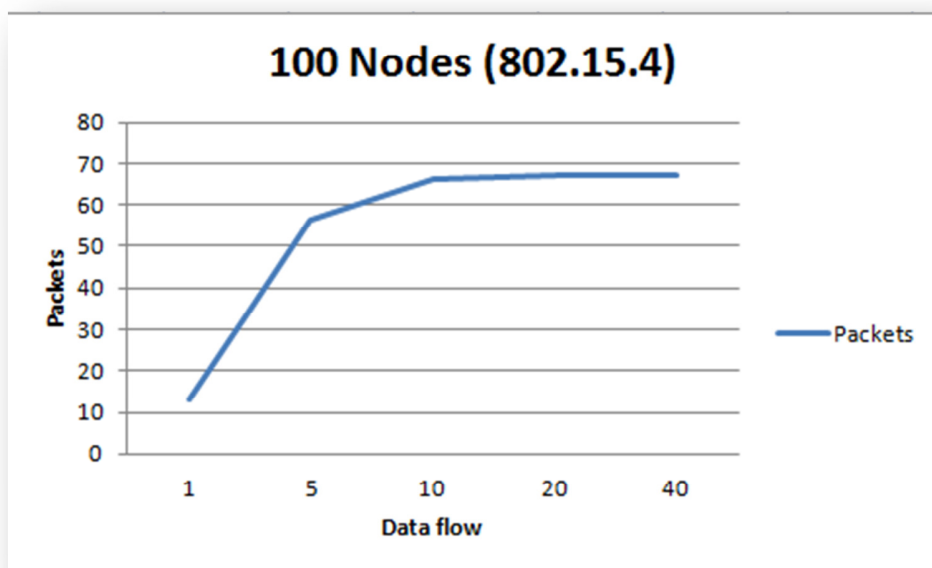


Figure 37: Successful Packets per node

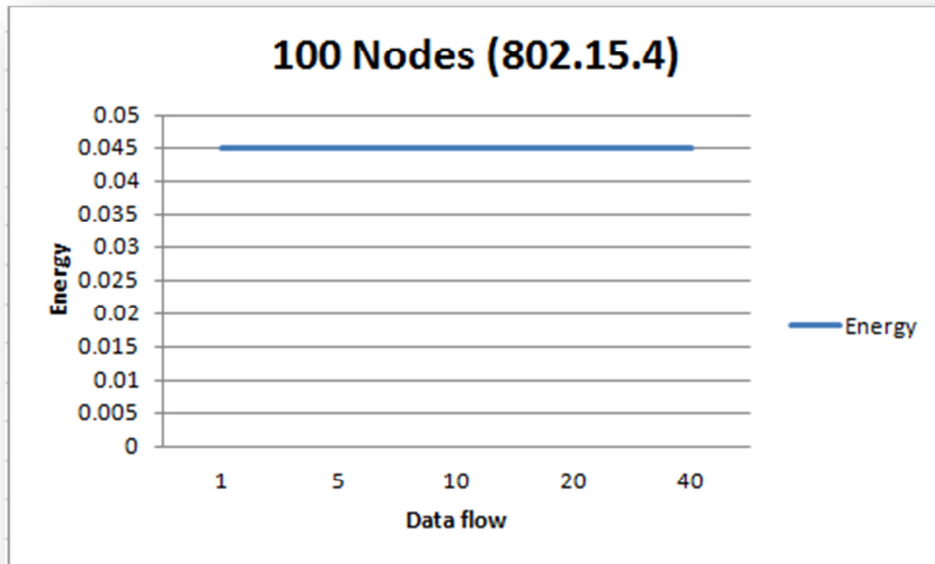


Figure 38: Consumed Energy

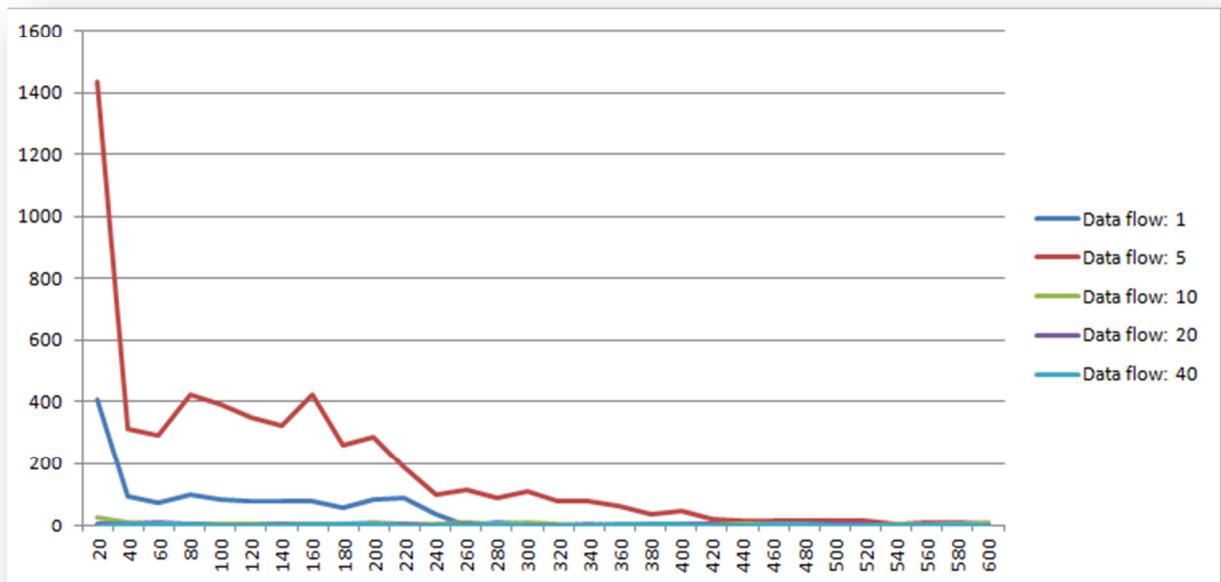


Figure 39: Delay (Latency)

150 κόμβοι με Data flows 1, 5, 10, 20 και 40 είχαμε τα εξής αποτελέσματα:

Αριθμός κόμβων :	150				
Αριθμός data flows:	1	5	10	20	40
Successful Packets Arrival per Node:	7.77	35.47	40.2	40.08	40.07
Energy Consumed per Node:	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044
Delay Average:	38.57	182.27	6.1	3.53	2.77

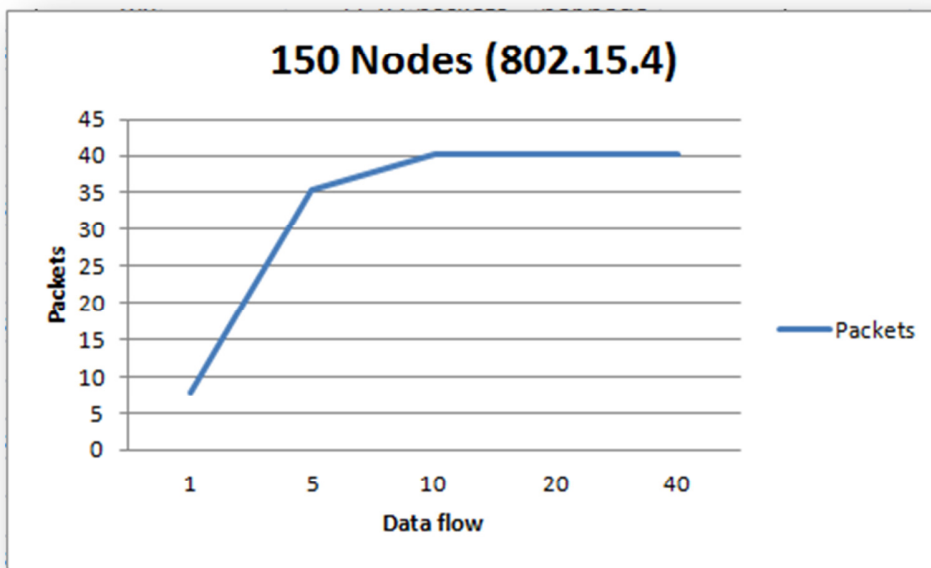


Figure 40: Successful Packets per node

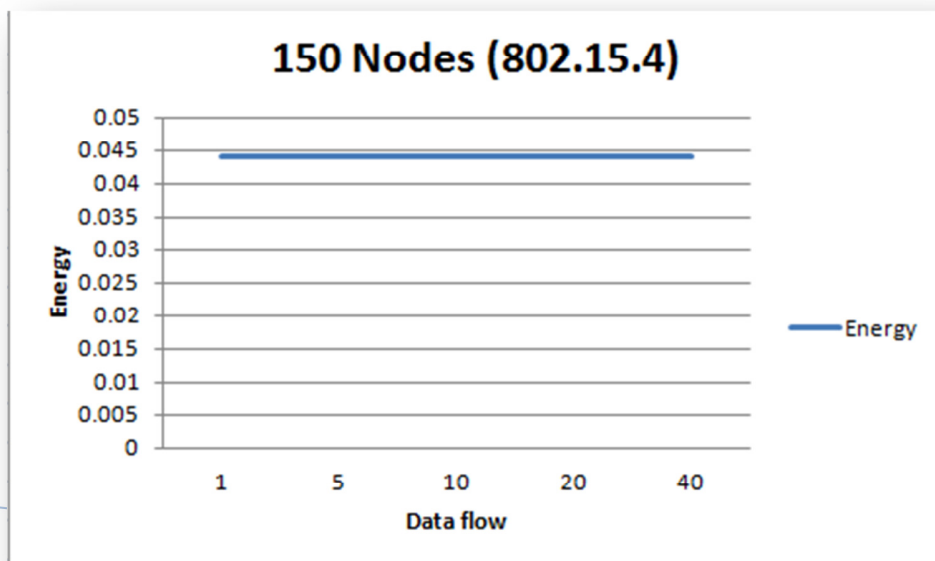


Figure 41: Consumed Energy

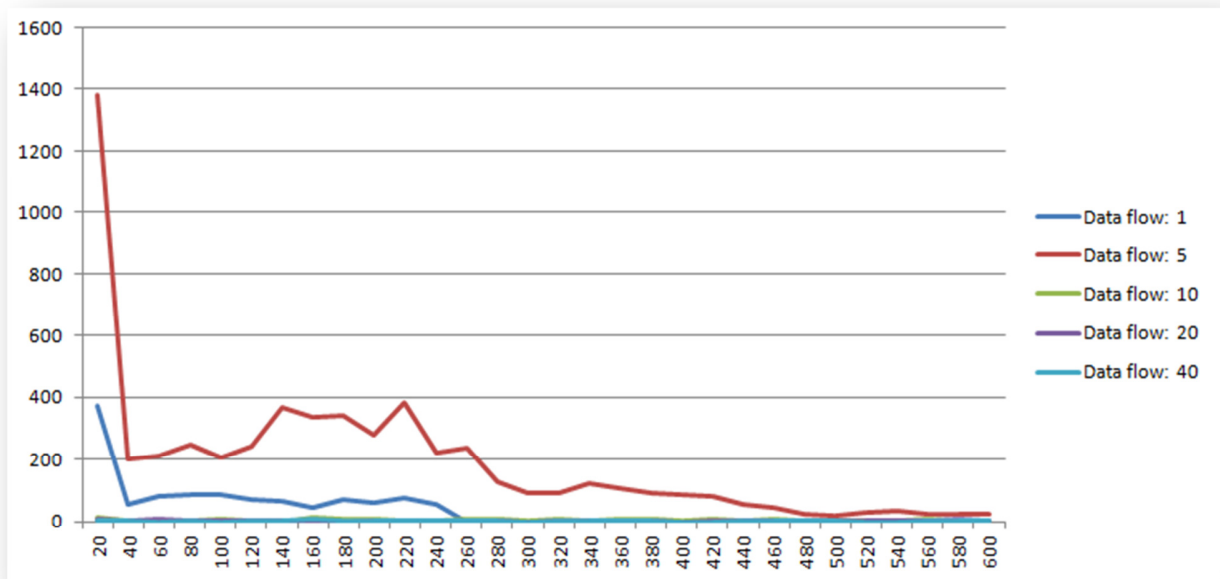


Figure 42: Delay (Latency)

200 κόμβοι με Data flows 1, 5, 10, 20 και 40 είχαμε τα εξής αποτελέσματα:

Αριθμός κόμβων :	200				
Αριθμός data flows:	1	5	10	20	40
Successful Packets Arrival per Node:	5.49	25.66	27.64	27.72	27.84
Energy Consumed per Node:	0.044	0.044	0.045	0.044	0.044
Delay Average:	36.43	164.33	5.5	3.3	2.67

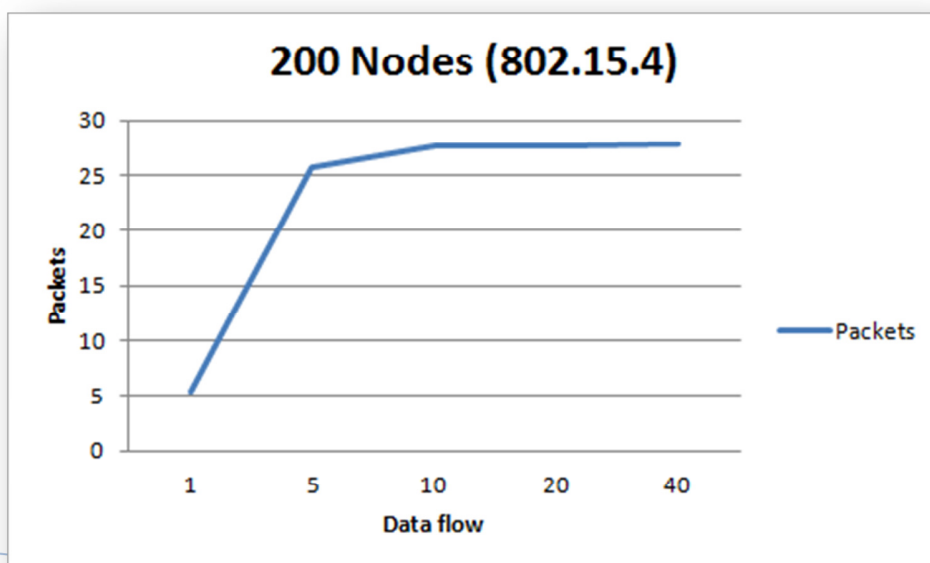


Figure 43: Successful Packets per node

Παρατηρήσεις:

Με το πρωτόκολλο **802.11** όταν έχουμε 10 κόμβους παρατηρούμε ότι έχουμε αύξηση της άφιξης των επιτυχών πακέτων όταν αυξάνεται η ροή δεδομένων αλλά και επίσης έχουμε αύξηση της καθυστέρησης. Έχουμε επίσης αύξηση της καταναλωμένης ενέργειας.

Παράλληλα όταν αυξάνονται οι κόμβοι παρατηρούμε ότι έχουμε πιο σταθερή άφιξη των επιτυχών πακέτων και μείωση της καθυστέρησης.

Π.χ. 10 κόμβοι: πακέτα = 46.11, 229.44, 461.66, 931.44, 1821.22
καθυστέρηση = 13.27, 67.77, 137.67, 277.27, 542.33

200 κόμβοι: πακέτα = 34.57, 171.13, 158.21, 158.14, 158.14
καθυστέρηση = 187.03, 986.47, 2.03, 0, 0

Με το πρωτόκολλο **802.11e** όταν έχουμε 10 κόμβους παρατηρούμε ότι έχουμε αύξηση της άφιξης των επιτυχών πακέτων όταν αυξάνεται η ροή δεδομένων αλλά και επίσης έχουμε αύξηση της καθυστέρησης. Εκτός από την ροή δεδομένων (40) στην οποία έχουμε μείωση της καθυστέρησης.

Παράλληλα όταν αυξάνονται οι κόμβοι παρατηρούμε ότι έχουμε μικρή αύξηση στην άφιξη των επιτυχών πακέτων και μείωση της καθυστέρησης.

Π.χ. 10 κόμβοι: πακέτα = 39.88, 184.88, 323.55, 621.33, 687.55
καθυστέρηση = 12.34, 57.17, 99.93, 182.66, 9.76

200 κόμβοι: πακέτα = 0.74, 3.49, 5.08, 7.3, 12.57
καθυστέρηση = 2.14, 4.24, 0.62, 0.31, 0.52

Με το πρωτόκολλο **802.15.4** όταν έχουμε 10 κόμβους παρατηρούμε ότι έχουμε αύξηση της άφιξης των επιτυχών πακέτων όταν αυξάνεται η ροή δεδομένων αλλά και επίσης έχουμε αύξηση της καθυστέρησης αρχικά και μετά μείωση της.

Παράλληλα όταν αυξάνονται οι κόμβοι παρατηρούμε ότι έχουμε μικρή αύξηση στην άφιξη των επιτυχών πακέτων και αύξηση της καθυστέρησης, ακολούθως παρατηρούμε απότομη μείωση.

Π.χ. 10 κόμβοι: πακέτα = 47.55, 239.77, 456.55, 788.66, 798.11
καθυστέρηση = 14.23, 71.87, 119.67, 89, 8.7

200 κόμβοι: πακέτα = 5.49, 25.66, 27.64, 27.72, 27.84
καθυστέρηση = 36.43, 164.33, 5.5, 3.3, 2.67

Βιβλιογραφία

- I. Σπένδας Α. (2012), *Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων και Ζητήματα Ασφάλειας*.
- II. Ρόμπολας Π. (2014), *Σενάρια Quality Of Service Ευρυζωνικότητας σε Μη-Αστικές Περιοχές Με Προσομοιώσεις OMNeT*.
- III. Sonali C. (2009), *A Framework for Energy-Consumption-Based Design Space Exploration for Wireless Sensor Nodes*.
- IV. Shafiullah K., Al-Sakib K., Nabil Ali A., *Wireless Sensor Networks-Current Status and Future Trends*.
- V. Grassi R. P., Beretta I., Rana V., Atienza D., Sciuto D., *Knowledge-Based Design Space Exploration of Wireless Sensor Networks*.
- VI. Καϊταλίδου Δ. (2015), *Έλεγχος Πρόσβασης σε Δίκτυα Περιοχής Σώματος (BAN)*.
- VII. Αναστασίου Θ. (2005), *Πρωτόκολλα Τοπικών Δικτύων*.
- VIII. Καραμπίνας Α, Κοσσαράς Χ., *Τηλεπικοινωνιακά Δίκτυα-Μητροπολιτικό Δίκτυο Γ. Καραϊσκάκη*.
- IX. Τσατσαρώνης Μ., *Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων*.
- X. Μακρής Ι., Λογοθέτης Χ., *Ασύρματα Δίκτυα*.
- XI. Παπατζανάκης Ε. (2014), *Ανάπτυξη ενσωματωμένης εφαρμογής πάνω σε Bluetooth Low Energy development board και εφαρμογής smart-phone με σκοπό τη δημιουργία ενός συστήματος καταγραφής καιρού*.
- XII. Καλάτζης Γ. (2005), *Ασύρματα Δίκτυα*.
- XIII. Κυραμιδής Π. (2013), *Εντοπισμός και αντιμετώπιση απάτης σε Ασύρματα Δίκτυα τεχνολογίας IEEE 802.11e*.
- XIV. Νοδαράκης Ν. (2012), *Επιστήμη και Τεχνολογία Υπολογιστών*.
- XV. Κυριάκου Κ., Ττινιοζου Β., *Ασύρματα Δίκτυα: Γενικές Αρχές Υλικό και Εφαρμογές*.
- XVI. Βετουλαδίτης Μ. (2006), *Υλοποίηση MAC Πρωτοκόλλου 802.15.4 για Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων*.
- XVII. Σεφιλιά Α. (2016), *IEEE 802.15.4 Ανάλυση MAC και Physical Layer Επιπέδου, Απώλειες Δεδομένων Λόγω Περιβάλλοντος και Παρεμβολών Θορύβου Άλλων Τεχνολογιών*.
- XVIII. Γιάντσιου Κ. (2012), *Δίκτυα Τηλεπικοινωνιών και Κατανάλωση Ενέργειας*.
- XIX. Minakov I. (2013), *An energy-aware design space exploration framework for wireless sensor networks*.
- XX. MiXiM Project, <http://mixim.sourceforge.net/>.
- XXI. Τζούμας Μ., *All About NS2*, <https://allaboutns2.wordpress.com/>.
- XXII. OMNeT++ (2015), *OMNeT++ (Version 4.6) [Software]*, <https://omnetpp.org/omnetpp>, <https://omnetpp.org/documentation>.
- XXIII. INET Framework, *INET FRAMEWORK*, <https://inet.omnetpp.org>
- XXIV. Castalia Simulator, [https://en.wikipedia.org/wiki/Castalia_\(simulator\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Castalia_(simulator))
- XXV. NS-3 (2015), *NS-3 [Software]*, <https://www.nsnam.org/>.
- XXVI. Πεπούδη Κ. (2009), *Αρχιτεκτονική Δικτύων*.

- XXVII. Mac Layer, *What is MAC layer Protocol?* ,
<http://ecomputernotes.com/computernetworkingnotes/communication-networks/describe-the-mac-layer-protocols>.
- XXVIII. Παυλίδης Γ. Χρήστου (2014), *Προσομοίωση Δικτυακών Συστημάτων με χρήση Προσομοιωτή OPNET IT GURU*.