



**ΤΕΙ ΗΠΕΙΡΟΥ**  
**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ Τ.Ε**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΤΟΠΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ: ΜΕΛΕΤΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ETHERNET**  
**ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ OMNeT++**

*Αντωνίου Αναστασία*

*Επιβλέπουσα : Μαργαρίτη Σπυριδούλα*

Άρτα, Φεβρουάριος, 2018



**ΤΕΙ ΗΠΕΙΡΟΥ**  
**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ Τ.Ε**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΤΟΠΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ: ΜΕΛΕΤΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ETHERNET**  
**ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ OMNeT++**

Αντωνίου Αναστασία

Επιβλέπουσα : Μαργαρίτη Σπυριδούλα

Άρτα, Φεβρουάριος, 2018

**LOCAL AREA NETWORKS: A CASE STUDY OF ETHERNET  
PERFORMANCE USING OMNeT++**

## **Εγκρίθηκε από τριμελή εξεταστική επιτροπή**

Άρτα, 15/02/2018

### **ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ**

1.Επιβλέπουσα καθηγήτρια

Μαργαρίτη Σπυριδούλα

Εργαστηριακό Διδακτικό Προσωπικό

2.Μέλος επιτροπής

Στεργίου Ελευθέριος

Αναπληρωτής Καθηγητής

3.Μέλος επιτροπής

Χαριλόγης Βασίλειος

Ειδικό Τεχνικό Εργαστηριακό Προσωπικό

Ο Πρόεδρος του Τμήματος

Στύλιος Χρυσόστομος

Καθηγητής

Υπογραφή

© Αντωνίου, Αναστασία, 2018

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved

## **Δήλωση μη λογοκλοπής**

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

Αντωνίου, Αναστασία

Υπογραφή

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Πριν ξεκινήσω την παρουσίαση της πτυχιακής μου εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω την καθηγήτρια μου, κ. Μαργαρίτη Σπυριδούλα, για την ευκαιρία που μου έδωσε να εκπονήσω την πτυχιακή μου εργασία μαζί της. Η βοήθεια της πολύτιμη και ουσιαστική, η καθοδήγηση της συνεχής καθώς και η στήριξη της σε κάθε προσπάθεια μου, καθ' όλη τη διάρκεια της συγγραφής της πτυχιακής μου εργασίας. Ευχαριστώ από καρδιάς και εύχομαι υγεία και επαγγελματική επιτυχία στη συνέχεια της καριέρας της.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω και όσους στάθηκαν στο πλευρό μου όλα αυτά τα χρόνια αλλά και όσους πίστεψαν σε μένα και με στήριζαν με τον τρόπο τους ώστε να φτάσω με επιτυχία στο τέλος.

Βέβαια να μη παραλείψω να ευχαριστήσω και τα μέλη της επιτροπής που δέχτηκαν να βρίσκονται σήμερα εδώ, στην παρουσίαση της πτυχιακής μου ώστε να με αξιολογήσουν.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στη παρούσα πτυχιακή εργασία μελετώνται τα τοπικά δίκτυα και συγκεκριμένα το δίκτυο Ethernet. Αρχικά εισάγονται έννοιες σχετικά με την τοπική δικτύωση εστιάζοντας στην τεχνολογία Ethernet, το πιο ευρέως αποδεκτό πρότυπο. Συνδυάζοντας τον κατάλληλο εξοπλισμό με την εφαρμοζόμενη τεχνολογία επιτυγχάνεται η δημιουργία ενός πλαισίου αποδοτικής μετάδοσης δεδομένων. Το βασικότερο χαρακτηριστικό ενός δικτύου Ethernet είναι η μέθοδος πρόσβασης στο μέσο, η CSMA/CD (Carrier Sense Multiply Access/Collision Detection) ή με άλλα λόγια πολλαπλή προσπέλαση με ανίχνευση φέροντος και ανίχνευση συγκρούσεων. Το δίκτυο Ethernet παρέχει πολλαπλή πρόσβαση σε ένα σύνολο κόμβων που επικοινωνούν κάνοντας χρήση ενός κοινόχρηστου συνδέσμου.

Στα πλαίσια αυτής της εργασίας, εξετάζεται η απόδοση δικτύων Ethernet για διάφορα σενάρια με διαφορετικούς συνδυασμούς και πλήθος χρηστών.

**ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ:** Δίκτυο, προσομοίωση, OMNeT++.



## **ABSTRACT**

In this dissertation we study the local networks and specifically the Ethernet network. We first introduce concepts on local networks focusing on Ethernet wiring, the most widespread technology. Using the best equipment with the applied technology is succeeded to create a framework for an efficient transmission of data. The basic feature of Ethernet network is the CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection) technology, or in other words multiple access with carrier detection and collision detection. The Ethernet network provides multiple access to a set of nodes communicating using a shared link.

In this dissertation, is examined the effectiveness of Ethernet networks for different assumptions with different combinations and many users.

**KEYWORDS:** Network, Simulation, OMNeT++

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ .....	vii
ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	viii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ/ΕΙΚΟΝΩΝ.....	xi
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	xii
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	2
2.ETHERNET ΚΑΙ IEEE 802.3 .....	4
2.1 Ιστορικά στοιχεία.....	4
2.2 Στοιβα πρωτοκόλλων .....	5
2.3 Μορφή πλαισίου.....	6
2.4.MAC Address.....	7
2.5 Ethernet Πρότυπα (IEEE 802.) .....	8
2.6 Άλλες τεχνολογίες (Ethernet WAN-Carrier Ethernet) .....	9
3.ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ETHERNET .....	11
3.1 Τοπολογίες .....	11
3.2 Φυσικά Μέσα Μετάδοσης .....	13
3.3 Δομικά Συστατικά.....	22
4. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ETHERNET.....	26
4.1 Πρόσβαση στο μέσο—The CSMA/CD Access Method.....	26
4.1.1 Half-Duplex Transmission .....	26
4.1.2 Full-Duplex Transmission.....	27
4.1.3 Flow Control .....	27
4.1.4 Carrier Extension.....	28
4.1.5 Frame bursting .....	29
5.ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ OMNeT++ .....	31
5.1 OMNeT++.....	31
5.2 Μελέτη απόδοσης Ethernet.....	33
5.2.1 Μελέτη συμπεριφοράς τοπικού δικτύου με χρήση Hub .....	33
5.2.2 Μελέτη συμπεριφοράς τοπικού δικτύου με χρήση Switch .....	37
5.2.3 Μελέτη συμπεριφοράς σε δίκτυο με Hub και Switch .....	40
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	48

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ/ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Οδικό δίκτυο.....	2
Εικόνα 2: Δίκτυο υπολογιστών.....	3
Εικόνα 3: Αντιστοιχία πρωτοκόλλων 802.3 και OSI.....	5
Εικόνα 4: IEEE 802.3 μορφή πλαισίου.....	7
Εικόνα 5: Ethernet μορφή πλαισίου.....	7
Εικόνα 6: Τοπολογία Bus.....	11
Εικόνα 7: Τοπολογία δακτυλίου.....	12
Εικόνα 8: Τοπολογία αστέρα.....	12
Εικόνα 9: Τοπολογία δέντρου.....	13
Εικόνα 10: Καλώδιο 10BASE5.....	15
Εικόνα 11: Καλώδιο 10BASE2.....	16
Εικόνα 12: Καλώδιο 10BASE-T.....	17
Εικόνα 13: Καλώδιο 100BASE-T.....	18
Εικόνα 14: Καλώδιο 1000BASE-T.....	19
Εικόνα 15: Καλώδιο 10BASE-F.....	21
Εικόνα 16: Συσκευή Repeater.....	22
Εικόνα 17: Συσκευή Hub.....	23
Εικόνα 18: Δίκτυο με χρήση γέφυρας.....	24
Εικόνα 19: Συσκευή Switch.....	24
Εικόνα 20: Συσκευή Router.....	25
Εικόνα 21: Απεικόνιση Half and duplex transmission.....	27
Εικόνα 22: Λειτουργία Flow Control.....	28
Εικόνα 23: Τοπικό δίκτυο Ethernet 24 σταθμών με χρήση hub.....	34
Εικόνα 24: Διάγραμμα καθυστέρησης πακέτων σε δίκτυο με hub.....	35
Εικόνα 25: Διάγραμμα χρησιμοποίησης καναλιού σε δίκτυο με χρήση hub.....	36
Εικόνα 26: Διάγραμμα απώλειας πακέτων ανά κόμβο σε δίκτυο με hub.....	37
Εικόνα 27: Τοπικό δίκτυο Ethernet 24 σταθμών με χρήση Switch.....	37
Εικόνα 28: Διάγραμμα καθυστέρησης πακέτων σε δίκτυο με Switch.....	38
Εικόνα 29: Διάγραμμα χρησιμοποίησης καναλιού σε δίκτυο με Switch.....	39
Εικόνα 30: Διάγραμμα απώλειας πακέτων ανά κόμβο σε δίκτυο με Switch.....	40
Εικόνα 31: Τοπικό δίκτυο μικτής τοπολογίας με χρήση Hub και switch για κάθε server.....	42
Εικόνα 32: Τοπικό Large δίκτυο με χρήση Switch σχετικά με κάθε server.....	43
Εικόνα 33: Διάγραμμα καθυστέρησης στο δίκτυο με χρήση Hub και Switch για κάθε server.....	44
Εικόνα 34: Διάγραμμα καθυστέρησης σε τοπικό δίκτυο Large με χρήση Switch για κάθε server του δικτύου.....	44
Εικόνα 35: Διάγραμμα απώλειας πακέτων στο δίκτυο με Hub και Switch για κάθε server (serverA, serverB, serverC, serverD).....	45
Εικόνα 36: Διάγραμμα απώλειας πακέτων στο δίκτυο με Switch για κάθε server.....	46

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Αποτελέσματα καθυστέρησης σε δίκτυο με hub 10,16,24 και 32 σταθμών αντίστοιχα. .....	34
Πίνακας 2: Αποτελέσματα χρησιμοποίησης καναλιού σε δίκτυο με hub 10,16,24 και 32 σταθμών αντίστοιχα .....	35
Πίνακας 3: Αποτελέσματα απώλειας πακέτων σε δίκτυο με χρήση Hub 10,16,24 και 32 σταθμών αντίστοιχα .....	36
Πίνακας 4: Αποτελέσματα καθυστέρησης σε δίκτυο με switch 10,16,24 και 32 σταθμών αντίστοιχα .....	38
Πίνακας 5: Αποτελέσματα χρησιμοποίησης καναλιού σε δίκτυο με switch 10,16,24 και 32 σταθμών αντίστοιχα .....	39
Πίνακας 6: Αποτελέσματα απώλειας πακέτων σε δίκτυο με switch 10,16,24 και 32 σταθμών αντίστοιχα .....	40



## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην καθημερινή ζωή συναντάμε αρκετά συχνά τον όρο «δίκτυο». Για παράδειγμα αναφερόμαστε στο οδικό δίκτυο, στο δίκτυο της ύδρευσης, της ηλεκτροδότησης, της κινητής τηλεφωνίας, στο ακαδημαϊκό δίκτυο, κοινωνικό δίκτυο κ.α. Ένα δίκτυο μπορεί να περιορίζεται σε ένα χώρο (π.χ. κτίριο) ή να εκτείνεται σε μια ευρύτερη γεωγραφική περιοχή. Τι είναι όμως ένα δίκτυο; Για να κατανοήσουμε τον όρο, ας περιγράψουμε ένα γνωστό μας δίκτυο: το εθνικό οδικό δίκτυο (Εικόνα 1). Στο δίκτυο αυτό ένα σύνολο πόλεων συνδέονται μεταξύ τους μέσω των εθνικών οδών, έτσι ώστε να μετακινείται καθημερινά μεγάλος αριθμός ανθρώπων και εμπορευμάτων. Γενικότερα με τον όρο δίκτυο εννοούμε ένα σύνολο οντοτήτων (π.χ. τηλεφώνων, υπολογιστών) ή ανθρώπων που συνδέονται με ένα σύνθετο τρόπο μεταξύ τους, για να εξυπηρετήσουν κάποιο σκοπό.

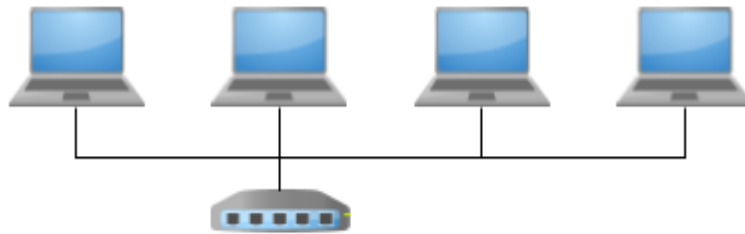


**Εικόνα 1: Οδικό δίκτυο**

Από τους αρχαίους κιάλας χρόνους γεννήθηκε η ανάγκη για επικοινωνία και ανταλλαγή πληροφοριών. Ο άνθρωπος χρειάζεται καθημερινά να επικοινωνεί και να συνεργάζεται με άλλους ανθρώπους προκειμένου να διεκπεραιώσει κάποια εργασία. Σύμφωνα με αρχαιολογικά ευρήματα και ιστορικές περιγραφές, κατά την αρχαιότητα κατασκευάζονταν συστήματα που διευκόλυναν τη μετάδοση πληροφοριών (Φρυκτωρίες, Υδραυλικός Τηλέγραφος του Αινεία κ.ά.).

Θα θυμηθούμε ότι οι υπολογιστές χρησιμοποιήθηκαν αρχικά ως αυτόνομες μηχανές που εκτελούσαν πολύπλοκους υπολογισμούς. Οι υπολογιστές της εποχής εκείνης ήταν ιδιαίτερα μεγάλοι σε μέγεθος και απαιτούσαν από τους χρήστες να φέρνουν τα στοιχεία τους και να τα εισαγάγουν με δύσκολο πολλές φορές τρόπο. Όσο εξελισσόταν η τεχνολογία των υπολογιστών, η ανάγκη για ανταλλαγή των δεδομένων τους γινόταν όλο

και πιο επιτακτική. Στη δεκαετία του '60 έγινε η πρώτη σύνδεση υπολογιστών μεταξύ τους, ώστε να μπορούν να επικοινωνούν. Το πρώτο **δίκτυο υπολογιστών (computer network)** έγινε πραγματικότητα. Από τότε με τον όρο «δίκτυο υπολογιστών» εννοούμε ένα σύνολο από δύο ή περισσότερους υπολογιστές που είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους, ώστε να μπορούν να ανταλλάσσουν δεδομένα και να μοιράζονται διάφορες συσκευές (εκτυπωτές, σαρωτές, σκληρούς δίσκους).



**Εικόνα 2: Δίκτυο υπολογιστών**

Είναι χρήσιμα τα δίκτυα σήμερα; Τα δίκτυα είναι από τις ταχύτερες αναπτυσσόμενες περιοχές τεχνολογίας. Στην ανάπτυξη αυτή συντελεί η εξέλιξη στο χώρο των υπολογιστών και των επικοινωνιών, από τη μια πλευρά, και η αύξηση της παραγωγικότητας στο χώρο της εφαρμογής τους από την άλλη.

Σύμφωνα με τη γεωγραφική απόσταση τα δίκτυα οριοθετούνται σε τρεις βασικές κατηγορίες. Τα Δίκτυα Τοπικής Περιοχής (LAN-Local Area Networks) για αποστάσεις λίγων μέτρων έως δύο-τριών χιλιομέτρων, έχουμε, τα μητροπολιτικά Δίκτυα (MAN-Metropolitan Area Networks) από 10 χιλιόμετρα μέχρι 100km, και τέλος αυτά που εκτείνονται στα όρια του πλανήτη (ακόμα και μέσω δορυφόρων) και αποτελούν τα Δίκτυα Ευρείας Περιοχής (WAN-Wide Area Networks). Οι διακρίσεις είναι χονδρικές βέβαια και τελευταία βλέπουμε κάποιες εξελίξεις που αρχίζουν να καθιστούν πιο συγκεκριμένες τις διακρίσεις αυτές. Στο κέντρο των εξελίξεων αυτών βρέθηκε η τεχνολογία Ethernet η οποία, κυριάρχησε στα τοπικά δίκτυα παρόλο που μεταμορφώθηκε ριζικά από μια φθηνή τεχνική κοινόχρηστου μέσου μικρής εμβέλειας σε τεχνική μεταγόμενων πακέτων και βρίσκεται σε σημείο εξέλιξης σε μητροπολιτικό επίπεδο και ακόμα πιο πέρα.

## **2.ETHERNET ΚΑΙ ΙΕΕΕ 802.3**

### **2.1 Ιστορικά στοιχεία**

Το Ethernet αποτελεί την πιο επιτυχημένη τεχνολογία τοπικών δικτύων τα τελευταία 40 χρόνια και πάνω. Αναπτύχθηκε στα μέσα της δεκαετίας 1970 από ερευνητές στο ερευνητικό κέντρο Palo Alto της Xerox Corporation (Palo Alto Research Center, PARC), και αποτελεί ένα λειτουργικό παράδειγμα της γενικότερης τεχνολογίας τοπικών δικτύων πολλαπλής πρόσβασης με ανίχνευση φέροντος σήματος και ανίχνευση συγκρούσεων (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection, CSMA/CD). Την ονομασία του την πήρε από το luminiferous ether (φωτεινό αιθέρα) μέσω του οποίου θεωρούνταν ότι μεταδιδόταν η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.

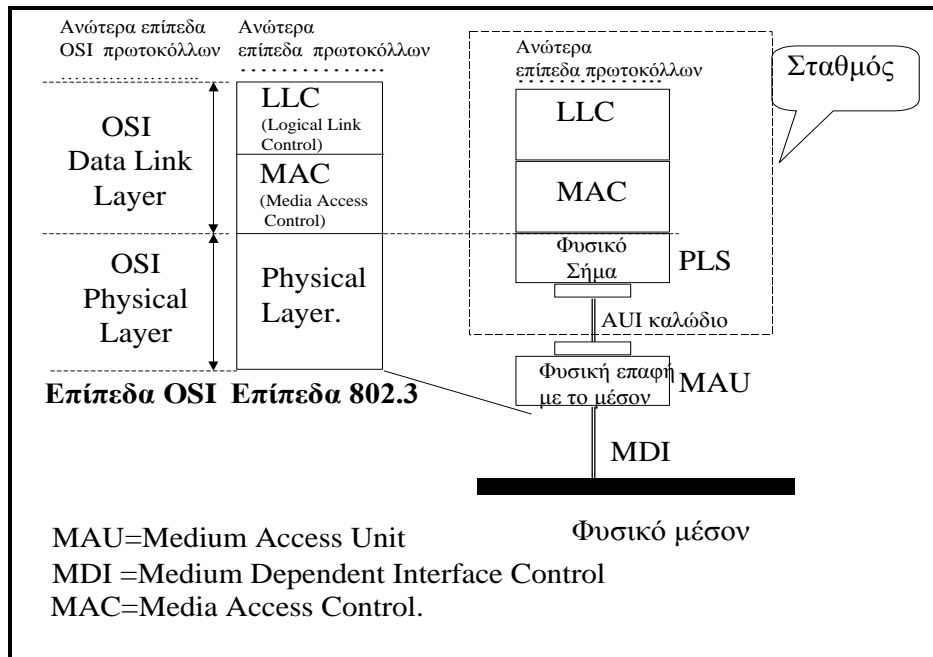
Η τεχνική στην οποία βασίζεται το δίκτυο Ethernet, αναπτύχθηκε μετά την ανάπτυξη του δικτύου Aloha. Βασική ιδέα τόσο στο Aloha όσο και στο Ethernet είναι ένας αλγόριθμος, που ελέγχει πότε μπορεί να πραγματοποιήσει μετάδοση ο κάθε κόμβος. Το 1980 η Xerox, DEC και INTEL ενώθηκαν και προσδιόρισαν τις αρχές στις οποίες βασίζεται το δίκτυο Ethernet. Το δίκτυο Ethernet είναι ένα τοπικό δίκτυο που ακολουθεί τις αρχές του OSI όσον αφορά τα επίπεδα και απαντάται σε διάφορες τοπολογίες και εκδοχές και με εφαρμοζόμενη μέθοδο προσπέλασης CSMA/CD.

Επιπλέον το ΙΕΕΕ 802.3 ορίζει μια πολύ ευρύτερη συλλογή φυσικών μέσων, που είναι απαραίτητα για τη λειτουργία του Ethernet, και πρόσφατα επεκτάθηκε και περιλαμβάνει μια έκδοση στα 100 Mbps που ονομάζεται γρήγορο Ethernet (Fast Ethernet) και μια έκδοση στα 1.000 Mbps που ονομάζεται Gigabit Ethernet. Επιπλέον η Intel και η Xerox εξέδωσαν ακόμη ένα πρότυπο DIX Ethernet για συστήματα Ethernet 10 Mb / s, αφού αυτό χρησιμοποιείται ουσιαστικά περισσότερο σε μια κατάσταση πολλαπλής πρόσβασης. Τόσο το Ethernet στα 100 Mbps όσο και το Ethernet στα 1.000 Mbps σχεδιάστηκαν για να χρησιμοποιούνται σε πλήρως αμφίδρομες (full-duplex) επικοινωνίες από σημείο σε σημείο, γεγονός που σημαίνει ότι χρησιμοποιούνται συνήθως σε δίκτυα μεταγωγής.



## 2.2 Στοίβα πρωτοκόλλων

Στην Εικόνα 3 φαίνεται η αντιστοιχία πρωτοκόλλων μεταξύ IEEE 802.3 και OSI.



Εικόνα 3: Αντιστοιχία πρωτοκόλλων 802.3 και OSI

Όπως παρατηρούμε το κατά OSI επίπεδο Data Link υλοποιείται στο Ethernet δίκτυο με τη βοήθεια MAC Layer και LLC επιπέδων.

- Το **LLC** υπο-επίπεδο είναι υπεύθυνο για τη μετάδοση των δεδομένων από μια συσκευή (π.χ. υπολογιστή) στο δίκτυο. Παρέχει μηχανισμούς για πολύπλεξη, έλεγχο λαθών και έλεγχο ροής.
- Το **MAC** υπο-επίπεδο:
  - a) Κατά την εκπομπή, εκτελεί την συναρμολόγηση των δεδομένων σε πλαίσια με διεύθυνση και πεδία ελέγχου λαθών.
  - b) Κατά την λήψη, αντίθετα, εκτελεί αποσυναρμολόγηση πλαισίου δεδομένων και αναγνώριση διεύθυνσης των δεδομένων και έλεγχο λαθών.
  - c) Διαχειρίζεται την προσπέλαση-εκπομπή στο LAN. Είναι υπεύθυνο για τον έλεγχο λαθών και την απόρριψη κάθε λανθασμένου πλαισίου δεδομένων.

Θα πρέπει να έχουμε υπ' όψη ότι για το ίδιο LLC διάφορα MAC επίπεδα μπορούν να υλοποιηθούν.

Το φυσικό επίπεδο εκτελεί τις παρακάτω λειτουργίες:

- 1) Κωδικοποίηση και αποκωδικοποίηση σήματος
- 2) Παραγωγή ή απόρριψη προοιμίου για λόγους συγχρονισμού
- 3) Εκπομπή – Λήψη Bits

### 2.3 Μορφή πλαισίου

Το IEEE 802.3 πρότυπο προσδιορίζει τη μορφή του πλαισίου το οποίο μεταδίδεται στο δίκτυο Ethernet. Αυτό αποτελείται από 8 πεδία συμπεριλαμβανομένου και του πεδίου των πραγματικών δεδομένων καθώς αυτά σχηματίζονται από αμέσως προηγούμενο επίπεδο LLC. Το μέγεθος του πλαισίου μπορεί να μεταβάλλεται από 64 Bytes έως το μέγιστο που είναι τα 1518 Bytes.

Το πλαίσιο Ethernet αποτελείται από τα παρακάτω πεδία:

- **Preamble.** Το προίμιο μήκους 64 bit επιτρέπει στον παραλήπτη να συγχρονιστεί με το σήμα. Είναι μια ακολουθία από εναλλασσόμενα 0 και 1 bits και είναι χρήσιμο για την αναγνώριση της αρχής του πλαισίου. Είναι δηλαδή η άμεση προειδοποίηση ανίχνευση ότι ακολουθεί – έρχεται πλαίσιο. Η εναλλαγή βοηθά στο συγχρονισμό των κυκλωμάτων ανίχνευσης και υποδοχής δεδομένων σ' ένα σταθμό.
- **Start Frame Delimiter (SFD).** Το πεδίο αυτό αποτελείται από ένα byte. Αυτό προειδοποιεί τον δέκτη ότι ακολουθούν δεδομένα αρχής γενομένης από τη διεύθυνση του παραλήπτη.
- **Destination address.** Το πεδίο προορισμού αποτελείται από 6 bytes και έχει και τη φυσική διεύθυνση του σταθμού για τον οποίο προορίζεται το πλαίσιο.
- **Source address.** Το πεδίο αυτό επίσης αποτελείται από 6 bytes και έχει τη φυσική διεύθυνση του σταθμού αποστολής.
- **LLC Data και Pad.** Το πεδίο αυτό περιέχει το πλαίσιο δεδομένων. Το Pad ('συμπλήρωμα') είναι τα πρόσθετα δεδομένα τα οποία προστίθενται έτσι ώστε να εξασφαλιστεί ότι το μήκος του πλαισίου έχει το ελάχιστο αποδεκτό μέγεθος (64 bytes) για να μεταδοθεί σε δίκτυο Ethernet.

- **Frame Checksum.** Αυτό αποτελείται από 4 bytes και περιέχει πληροφορία για έλεγχο λαθών στο συγκεκριμένο πλαίσιο πληροφοριών.
- **Length/Type of PDU.** Αυτό το πεδίο αποτελείται από 2 bytes. Ανάλογα με την περίπτωση, πρόκειται για:
  - i. 802.3 πλαίσιο που δείχνει τον αριθμό των οκτάδων στο τρέχον πλαίσιο
  - ii. Ethernet πλαίσιο που χρησιμοποιείται για να δείξει τον τύπο του πρωτοκόλλου το οποίο χρησιμοποιείται στα παραπάνω επίπεδα

Ας δούμε τη μορφή του πλαισίου 802.3 προτύπου καθώς και τη μορφή πλαισίου του Ethernet στα παρακάτω σχήματα:

<b>Preamble</b>	<b>SFD</b>	<b>Destination Address</b>	<b>Source Address</b>	<b>Length PDU</b>	<b>Data+ Pad</b>	<b>FCS</b>
-----------------	------------	----------------------------	-----------------------	-------------------	------------------	------------

**Εικόνα 4: IEEE 802.3 μορφή πλαισίου**

<b>Preamble</b>	<b>Destination Address</b>	<b>Source Address</b>	<b>Type</b>	<b>Data</b>	<b>FCS</b>
-----------------	----------------------------	-----------------------	-------------	-------------	------------

**Εικόνα 5: Ethernet μορφή πλαισίου**

## 2.4 MAC Address

Οι MAC addresses χρησιμοποιούνται στο δεύτερο επίπεδο του μοντέλου OSI. Οι μεταγωγείς επιπέδου 2 ανανεώνουν περιοδικά τους πίνακες διευθύνσεων MAC πηγής τους σε γεφυρωμένο δίκτυο. Σε μια περίπτωση όπου ο αριθμός διευθύνσεων MAC είναι πραγματικά μεγάλος, η μάθηση διεύθυνσης MAC θα μπορούσε να δημιουργήσει θύελλες εκπομπής (πολλαπλή επαφή στο ίδιο φυσικό μέσο) ή προβλήματα λανθάνοντος χρόνου (είναι ο χρόνος κατά μέσο όρο, που χρειάζεται για να έρθουν τα σωστά δεδομένα στη διεύθυνση). Ακόμη και η διάσπαση του δικτύου σε ξεχωριστούς τομείς που χρησιμοποιούν VLANs, μπορεί να οδηγήσει πολλούς πελάτες να έχουν πολλά δίκτυα Ethernet να διαδίδονται σε όλο το WAN. Η 48 bits διεύθυνση αποτελείται από δύο τμήματα των 24 bits, μοναδικών προσδιοριστικών OUI (Organizationally Unique Identifiers) που αναθέτουν στο υλικό οι κατασκευαστές. Οι διευθύνσεις MAC είναι μοναδικές για όλες τις landbased συσκευές. Σε πολλές περιπτώσεις η διεύθυνση MAC ενός τερματικού σταθμού χρησιμοποιείται ως παράγοντας επικύρωσης ή ως το μοναδικό προσδιοριστικό για την

χορήγηση των επιπέδων προνομίων ενός δικτύου ή ενός συστήματος στο χρήστη. Αυτή η διαδικασία επικύρωσης υιοθετήθηκε από το πρότυπο IEEE 802.11 στα ασύρματα δίκτυα.

Το πρώτο τμήμα της MAC διεύθυνσης ονομάζεται Block Number, ενώ το δεύτερο ονομάζεται Device ID. Ο συνδυασμός Block Number και διεύθυνση σταθμού που είναι στην ουσία η μοναδική διεύθυνση την οποία έχει η κάρτα δημιουργεί την μοναδική διεύθυνση 802.3.

- Το **Block Number Κατασκευαστή** περιγράφει τον κατασκευαστή από τον οποίο προήλθε η συγκεκριμένη κάρτα. Γνωστά Block Number κατασκευαστών είναι:

BICC Data Networks	Digital	Bridges
08004E	08002B	080002

- Το **Device ID** είναι το χαρακτηριστικό νούμερο της κάρτας το οποίο εξασφαλίζεται από τον κατασκευαστή και είναι μοναδικό.

Η MAC διεύθυνση προσδιορίζει τη φυσική διασύνδεση (interface) από το σταθμό προς το τοπικό δίκτυο (LAN). Στις περισσότερες περιπτώσεις υπάρχει ένα προς ένα σχέση με τη φυσική διεύθυνση του σταθμού. Υπάρχει ωστόσο περίπτωση να έχουμε πολλαπλή επαφή στο ίδιο φυσικό μέσο οπότε σε αυτή τη περίπτωση έχουμε σχέση πολλών MAC διευθύνσεων προς μία φυσική διεύθυνση ενός σταθμού. Οι πολλαπλές διασυνδέσεις σε ένα δίκτυο χρησιμοποιούνται για καλύτερη αξιοπιστία και απόδοση του όλου δικτύου. Η μοναδική διεύθυνση 802.3 όπως αναφέρθηκε αποτελείται από 48 bit και συνεπώς είναι δυνατόν να υπάρξουν θεωρητικά  $2^{48}$  διαφορετικές διευθύνσεις.

## 2.5 Ethernet Πρότυπα (IEEE 802.)

Το IEEE ανέπτυξε ένα σύνολο προτύπων δικτύου. Περιλαμβάνουν:

- **IEEE 802.1:** Πρότυπα σχετικά με τη διαχείριση δικτύου.

Σε αυτό το πρότυπο ανήκουν κάποιες συγκεκριμένες υποκατηγορίες και συγκεκριμένα:

- IEEE 802.1Q - Είναι γνωστό και ως VLAN Tagging και αναπτύχθηκε για να καταστήσει δυνατό τον διαχωρισμό της κίνησης των διαφόρων τμημάτων σε μια κοινή υποδομή LAN.

- IEEE 802.1ad - Είναι επίσης γνωστό ως Q-in-Q, stacked VLAN ή Bridge Provider και αποτελεί τροποποίηση του προτύπου IEEE 802.1Q.
  - IEEE 802.1ah - Το πεδίο εφαρμογής του προτύπου IEEE 802.1ah (γνωστό και ως MAC-in-MAC ή Provider Backbone Bridge (PBB) είναι να ορίσει ένα πρωτόκολλο αρχιτεκτονικής και γέφυρας που είναι συμβατό και λειτουργικό με τα πρωτόκολλα Networked Bridge Provider (IEEE 802.1ad).
  - IEEE 802.1Qay - Είναι επίσης γνωστό και ως PBB-TE ή παροχέας μετάδοσης κορμού (Provider Backbone Transport), είναι μια τροποποίηση του IEEE 802.1ah. Πρόκειται για μια βελτίωση στην παραδοσιακή τεχνολογία Ethernet που επιτρέπει την προώθηση προσανατολισμένη στη σύνδεση και στο υπάρχον υλικό Ethernet.
- **IEEE 802.2:** Γενικό πρότυπο για το στρώμα ζεύξης δεδομένων στο μοντέλο αναφοράς OSI. Το IEEE χωρίζει αυτό το στρώμα σε δύο υποστρώματα - το στρώμα ελέγχου λογικής σύνδεσης (LLC) και το επίπεδο ελέγχου πρόσβασης πολυμέσων (MAC). Το στρώμα MAC διαφέρει για διαφορετικά μέσα μετάδοσης και καθορίζεται από τα πρότυπα IEEE 802.3 έως IEEE 802.14.
  - **IEEE 802.3:** Καθορίζει το επίπεδο MAC για δίκτυα διαύλων που χρησιμοποιούν CSMA / CD. Αυτή είναι η βάση του προτύπου Ethernet.
  - **IEEE 802.4:** Καθορίζει το στρώμα MAC για δίκτυα διαύλων που χρησιμοποιούν ένα μηχανισμό διέλευσης συμβολοσειρών (δίκτυα διαύλων διαύλου).
  - **IEEE 802.5:** Καθορίζει το επίπεδο MAC για δίκτυα ring-ring.
  - **IEEE 802.6:** Πρότυπο για μητροπολιτικά δίκτυα (MANs).

## 2.6 Άλλες τεχνολογίες (Ethernet WAN-Carrier Ethernet)

Ένα WAN και μια συλλογή LAN συνδέονται με πολλούς τρόπους χρησιμοποιώντας μια ποικιλία υπηρεσιών. Οι αποστάσεις μεταξύ των δικτύων δεν περιορίζουν την ενδοεπικοινωνία LAN από τα δίκτυα WAN. Τα πάντα από τηλεφωνικές γραμμές έως δορυφορικές συνδέσεις χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία WAN.

Παραδοσιακά τα δίκτυα WAN χρησιμοποιούν Frame Relay, ATM και άλλες δαπανηρές τεχνολογίες. Εναλλακτικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί μετάδοση Ethernet WAN για

επικοινωνία από άκρο σε άκρο με τη βοήθεια των πρωτοκόλλων Provider Bridges (802.1ad) και Provider Backbone Bridges. Η χρήση του Ethernet πλεονεκτεί καθώς προϋποθέτει χαμηλό κόστος επένδυσης και η συντήρηση και η επεκτασιμότητα γίνονται ευκολότερα.

Το Metro Ethernet Forum (MEF) δημιουργήθηκε το 2001 για να επεκτείνει τη δυνατότητα του Ethernet να γίνει δίκτυο ευρείας περιοχής. Η ανάπτυξη κατέληξε στη δημιουργία του Carrier Ethernet. Το Carrier Ethernet είναι μια υπηρεσία κλάσης φορέα που ορίζεται από πέντε βασικά χαρακτηριστικά που διακρίνουν το Carrier Ethernet από το γνωστό δίκτυο Ethernet. Αυτά τα χαρακτηριστικά είναι τυποποιημένες υπηρεσίες, επεκτασιμότητα, αξιοπιστία, ποιότητα υπηρεσιών και διαχείριση υπηρεσιών. Οι υπηρεσίες Ethernet Carrier βασίζονται στο πρότυπο Ethernet και καλύπτουν μια μητροπολιτική περιοχή. Οι συνδρομητές και οι επιχειρήσεις χρησιμοποιούν το Carrier Ethernet για να συνδεθούν με ένα δίκτυο WAN. Πλεονεκτήματα στη χρήση δικτύου πρόσβασης Ethernet στο δίκτυο μητροπολιτικής περιοχής (MAN) είναι το κόστος και η προσαρμοστικότητα στο υπάρχον δίκτυο LAN.

## 3.ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ETHERNET

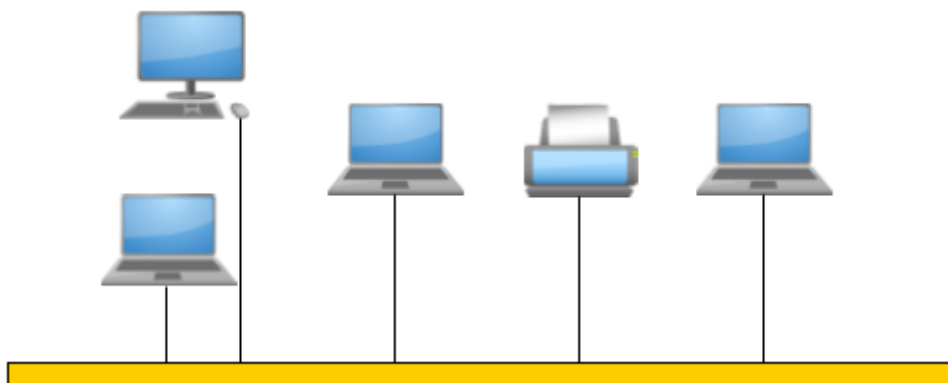
### 3.1 Τοπολογίες

Η τοπολογία είναι η γεωμετρική τοποθέτηση στο χώρο των κόμβων και των συνδέσμων ενός τοπικού δικτύου (LAN) ή άλλου συστήματος επικοινωνιών. Με άλλα λόγια, μια τοπολογία περιγράφει εικονογραφικά τη διαμόρφωση ή τη διάταξη ενός (συνήθως εννοιολογικού) δικτύου, συμπεριλαμβανομένων των κόμβων και των γραμμών σύνδεσης. Οι τοπολογίες είναι φυσικές ή λογικές. Το Ethernet μπορεί να χρησιμοποιήσει οποιαδήποτε τοπολογία έτσι ώστε να πετύχει την επιθυμητή μεταφορά των δεδομένων.

Υπάρχουν τέσσερις βασικές τοπολογίες που χρησιμοποιούνται στα LAN:

1. Τοπολογία Bus
2. Τοπολογία δακτυλίου
3. Τοπολογία αστέρα
4. Τοπολογία δέντρων

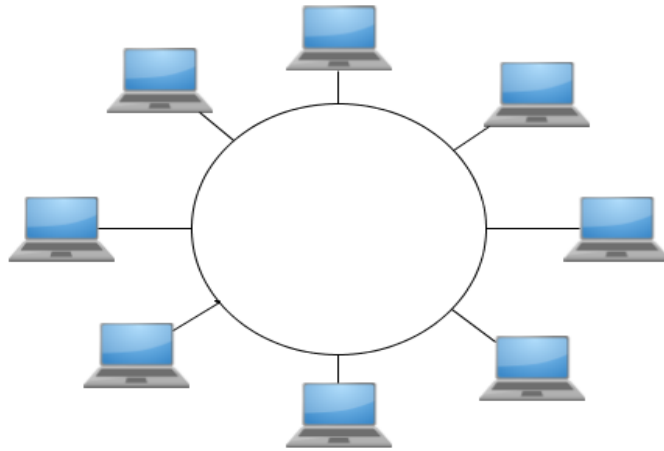
**Τοπολογία Bus:** Όλες οι συσκευές είναι συνδεδεμένες σε ένα κεντρικό καλώδιο, που ονομάζεται bus ή σπονδυλική στήλη. Τα δίκτυα bus είναι σχετικά φθηνά και είναι εύκολο να εγκατασταθούν σε μικρά δίκτυα. Τα συστήματα Ethernet χρησιμοποιούν τοπολογία bus.



**Εικόνα 6: Τοπολογία Bus**

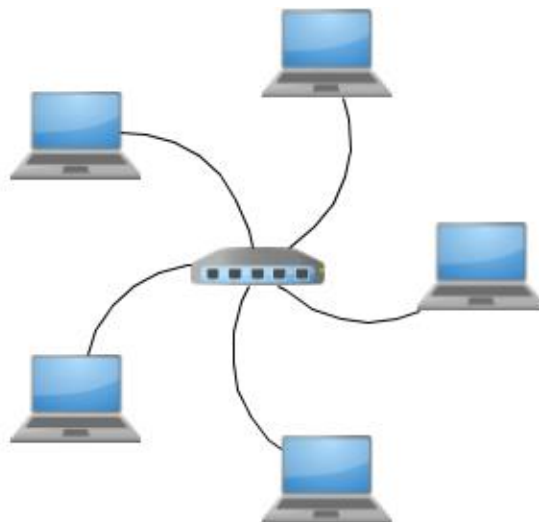
**Τοπολογία δακτυλίου:** Όλες οι συσκευές είναι συνδεδεμένες μεταξύ τους σε σχήμα κλειστού βρόχου, έτσι ώστε κάθε συσκευή να συνδέεται απευθείας με δύο άλλες

συσκευές, μία από τις δύο πλευρές της. Οι τοπολογίες δακτυλίων είναι σχετικά δαπανηρές και δύσκολο να εγκατασταθούν, αλλά προσφέρουν υψηλό εύρος ζώνης και μπορούν να επεκταθούν σε μεγάλες αποστάσεις.



**Εικόνα 7: Τοπολογία δακτυλίου**

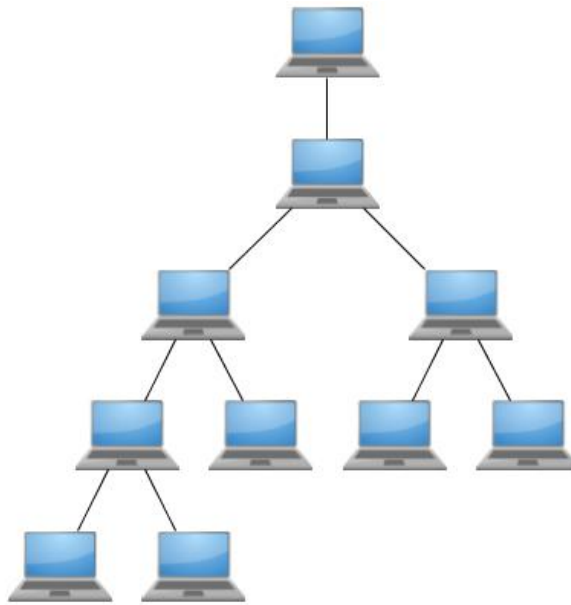
**Τοπολογία αστέρα:** Όλες οι συσκευές είναι συνδεδεμένες σε κεντρικό διανομέα. Τα δίκτυα αστέρα είναι σχετικά εύκολο να εγκατασταθούν και να διαχειριστούν, αλλά μπορεί να προκύψουν σημεία συμφόρησης επειδή όλα τα δεδομένα πρέπει να περάσουν από το διανομέα.



**Εικόνα 8: Τοπολογία αστέρα**

**Τοπολογία δέντρου:** Μια τοπολογία δέντρων συνδυάζει χαρακτηριστικά τοπολογίας διαύλου και τοπολογίας αστέρα. Η σύνθεση τους αποτελείται από τη ρίζα (κεφαλή) και συνδυάζουν σε τοπολογία δύο ή περισσότερες από τις βασικές τοπολογίες αστέρα-αστέρα ή αστέρα διαύλου.





**Εικόνα 9: Τοπολογία δέντρου**

Αυτές οι τοπολογίες μπορούν επίσης να αναμειχθούν. Για παράδειγμα, ένα δίκτυο διαύλου-αστέρα αποτελείται από ένα δίαυλο υψηλής ευρυζωνικότητας, το οποίο ονομάζεται ραχοκοκαλιά, το οποίο συνδέει συλλογές με τμήματα αστέρων με μικρότερο εύρος ζώνης.

### 3.2 Φυσικά Μέσα Μετάδοσης

Για τη μετάδοση των πλαισίων χρησιμοποιούνται διάφορα ενσύρματα μέσα όπως:

- Ομοαξονικό καλώδιο
  - Thick wire 10Base-5
  - Thin wire 10Base-2
- Συνεστραμμένο ζεύγος καλωδίων
  - 10Base-T
  - 100Base-T (συνεστραμμένο ζεύγος)
  - 1000Base-T
- Οπτική ίνα
  - 10Base-F
  - 100Base-X

### ➤ **10BASE-5: Thick wire**

Η αρχιτεκτονική αυτή περιγράφεται από την IEEE 802.3. Βασικό της στοιχείο είναι ότι χρησιμοποιεί το καλώδιο των 75 Ω για ευρείας ζώνης (broadband) μετάδοση με ρυθμό μετάδοσης 10Mbps.

Τα εξαρτήματα του τοπικού δικτύου αυτού είναι:

- **Thick Ομοαξονικό καλώδιο:** Το ομοαξονικό καλώδιο είναι αρκετά δύσκαμπτο και συνεπώς δύσκολο στην χρήση του. Αυτό το καλώδιο έχει χαρακτηριστική διάμετρο 1cm. Χρησιμοποιείται σε συνδεσμολογία Bus σαν καλώδιο κορμού (backbone). Ο τύπος συνδετήρα του καλωδίου που χρησιμοποιείται είναι RG-8 Coaxial.
- **Transceiver και Transceiver Tap ή MAU.** Είναι το εξάρτημα το οποίο έρχεται σε επαφή με το Thick Ομοαξονικό καλώδιο (MAU- Medium Attachment Unit). Αυτή η μονάδα είναι στην ουσία η μονάδα η οποία υλοποιεί την λειτουργία CSMA/CD. Συγκεκριμένα:
  - Εκπέμπει και λαμβάνει σήματα από το μέσο.
  - Ακροάται την παρουσία του σήματος δεδομένων στη γραμμή ή των συγκρούσεων πάνω στη γραμμή.
  - Επιπλέον ελέγχει την ηλεκτρική τάση. Η μονάδα αυτή διαθέτει ένα μικρό Buffer ο οποίος μπορεί να αποθηκεύσει το εκπεμπόμενο frame. Ο Transceiver ή MAU έχει ένα μηχανισμό, ο οποίος αγκαλιάζει (ή δαγκώνει) με μεταλλική προεξοχή το ομοαξονικό καλώδιο και έτσι πραγματοποιείται η ηλεκτρική επαφή. Ο μηχανισμός αυτός καλείται Transceiver Tap.
- **AUI καλώδιο (AUI = Attachment Unit Interface):** Είναι το καλώδιο με το οποίο συνδέεται ο Transceiver με το Σταθμό (κάρτα σταθμού (NIC)). Το συγκεκριμένο καλώδιο έχει 15 σύρματα και τα δύο άκρα του έχουν κονέκτορες (connectors) με 15 pin το καθένα (DB-15). Το καλώδιο αυτό επιτρέπει να φτάνει μέχρι 50m.
- **Terminator.** Ο Terminator είναι ηλεκτρική αντίσταση η οποία τοποθετείται στα άκρα του ομοαξονικού καλωδίου. Ο σκοπός της τερματικής αντίστασης, είναι να βοηθήσει στην απόσβεση των στάσιμων κυμάτων τα οποία δημιουργούνται πάνω στο ομοαξονικό καλώδιο. Η τιμή της αντίστασης τους πρέπει να είναι ίση με την τιμή της αντίστασης του καλωδίου για λόγους προσαρμογής.

- **NIC (Network Interface Card).** Είναι η κάρτα δικτύου η οποία βρίσκεται ενσωματωμένη σε κάθε σταθμό του δικτύου. Η κάρτα του σταθμού είναι εκείνη η οποία προετοιμάζει το πλαίσιο δεδομένων και έχει πάντα μία και μοναδική φυσική διεύθυνση η οποία είναι χρήσιμη για τη δρομολόγηση των πλαισίων δεδομένων.



**Εικόνα 10: Καλώδιο 10BASE5**

Η χρήση της αρχιτεκτονικής αυτής (10Base-5) υπόκειται σε κάποιους περιορισμούς όπως:

- Το 10Base-5 καλώδιο χρησιμοποιείται σε όχι μεγαλύτερα τμήματα των 500m.
- Κάθε τμήμα (segment) δε μπορεί να έχει περισσότερους από 100 Transceivers.
- Η απόσταση μεταξύ των transceivers δε μπορεί να είναι μεγαλύτερη των 2,5m.
- Το καλώδιο πρέπει να έχει γείωση.
- Όπως αναφέρθηκε έχει αντίσταση 75Ω. Οποιαδήποτε καμπύλη θα πρέπει να έχει ακτίνα το ελάχιστο 25,4m. Υπάρχει ομοαξονικό καλώδιο κίτρινου και πορτοκαλί χρώματος για τη χρήση αυτή. Το thick ομοαξονικό καλώδιο είναι ακριβό και δύσχρηστο και γι' αυτό δε χρησιμοποιείται συχνά. Παρ' όλα αυτά προτείνεται για χρήση σε δυσμενές περιβάλλον το οποίο για οποιοδήποτε λόγο παρουσιάζει θόρυβο.

#### ➤ **10BASE2: Thin wire**

Το τοπικό δίκτυο που περιγράφεται από τη σύμβαση IEEE 802.3 βασίζεται στο ομοαξονικό καλώδιο 10Base2 το οποίο χρησιμοποιείται για καλώδιο κορμού σε φυσική

τοπολογία Bus. Η αρχιτεκτονική η οποία σχηματίζεται με το καλώδιο αυτό και τους BNC-T Connectors λέγεται και daisy chain. Η ταχύτητα των δεδομένων είναι 10 Mbps. Η κωδικοποίηση του σήματος γίνεται σε μορφή Manchester.

Το βασικό πλεονέκτημα είναι ότι το δίκτυο αυτό είναι πολύ φθηνότερο σε σχέση με το προηγούμενο δίκτυο και το Thin ομοαξονικό καλώδιο (10Base2) είναι πιο εύχρηστο λόγω της ευκαμψίας του.

Μειονέκτημα είναι ότι το μέγιστο επιτρεπτό αυτόνομο τμήμα είναι πολύ μικρότερο 185 μέτρα από τα 500 μέτρα που είναι το μέγιστο επιτρεπτό αυτόνομο τμήμα στο 10Base5. Ακόμη πάνω στο λεπτό ομοαξονικό καλώδιο μπορούν να συνδεθούν λιγότεροι σταθμοί σε σχέση με το 10Base5 καλώδιο. Επιπλέον το δίκτυο αυτό είναι πιο ευάλωτο σε θορύβους.



**Εικόνα 11: Καλώδιο 10BASE2**

Τα εξαρτήματα του **10Base2** τα οποία απαιτούνται είναι:

- **Thin Ομοαξονικό καλώδιο (10Base2).** Το επιτρεπτό μέγιστο αυτόνομο τμήμα του καλωδίου αυτού είναι τα 185m και όχι 200m. Πάνω στο καλώδιο αυτό μπορούν να συνδεθούν μέχρι 30 σταθμοί για κάθε αυτόνομο τμήμα. Κάθε διασύνδεση πάνω στο καλώδιο μπορεί να απέχει από την προηγούμενη ή την επόμενη 0,5m. Η αντίσταση του καλωδίου είναι στα 50Ω, πρέπει δε να είναι γειωμένο και οποιαδήποτε καμπή να έχει ακτίνα στροφής, το λιγότερο 5cm. Ο τύπος συνδετήρα του καλωδίου που χρησιμοποιείται είναι RG-58 Coaxial.
- **BNC-T Connectors.** Οι συνδετήρες αυτοί έχουν σχήμα 'T' και διασύνδεουν ξεχωριστά τμήματα ομοαξονικού καλωδίου 10Base2. Όπως γίνεται αντιληπτό οι συνδετήρες αυτοί έχουν τρεις θύρες στις οποίες μπορεί να συνδεθεί καλώδιο.

- **NIC.** Είναι η κάρτα του σταθμού η οποία είναι ενσωματωμένη μέσα στο σταθμό και έχει τη μοναδική φυσική διεύθυνση, την οποία εξασφαλίζουν οι κατασκευαστές. Η διεύθυνση αυτή χρησιμεύει για τη δρομολόγηση των πακέτων.
- **Terminator.** Ο Terminator είναι ηλεκτρική αντίσταση η οποία τοποθετείται στα άκρα του ομοαξονικού καλωδίου τιμής 50Ω για τη συγκεκριμένη περίπτωση. Ο σκοπός της τερματικής αντίστασης είναι να βοηθήσει στην απόσβεση των στάσιμων κυμάτων τα οποία δημιουργούνται πάνω στο ομοαξονικό καλώδιο. Η τιμή της αντίστασής τους πρέπει να είναι ίση με την τιμή της αντίστασης του καλωδίου για λόγους προσαρμογής.

### ➤ **10BASE-T: Twisted-Pair Ethernet**

Το 1990, μια σειρά από πρωτοποριακές εργασίες έχουν ως αποτέλεσμα τη δημοσίευση του 10BASE-T από τη IEEE που αφορά την εισαγωγή συνεστραμμένων ζευγών καλωδίων και τοπολογίας αστέρα στις υλοποιήσεις Ethernet. Το δίκτυο αυτό χρησιμοποιεί διανομέα (hub) και κάθε σταθμός μπορεί να απέχει το μέγιστο 100m από το hub. Το hub μπορεί να θεωρηθεί σαν ένας πολλαπλός επαναλήπτης. Το καλώδιο το οποίο συνδέει το σταθμό με το hub είναι τύπου UTP καλώδιο το οποίο έχει 4 ζεύγη συρμάτων δηλαδή 8 σύρματα. Οι δύο άκρες των καλωδίων αυτών καταλήγουν σε συνδετήρες (connectors-RJ-45 jack).

Το δίκτυο αυτό βασίζεται στο κοινό τηλεφωνικό καλώδιο και όχι το κοινό ομοαξονικό καλώδιο. Η ταχύτητα του τοπικού δικτύου είναι 10 Mbps. Ακόμα η προσθήκη ενός νέου σταθμού είναι επίσης εύκολη, μια απλή σύνδεση ενός καλωδίου.



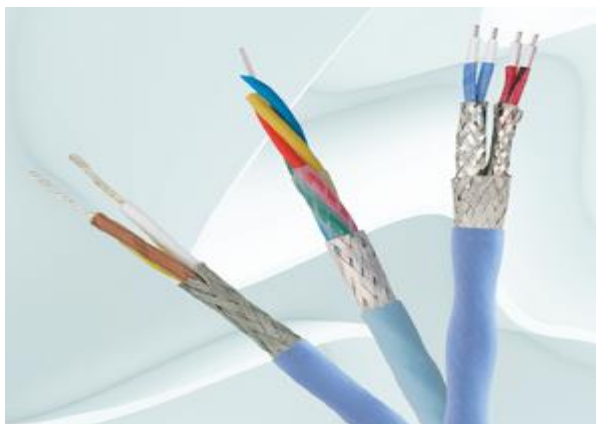
**Εικόνα 12: Καλώδιο 10BASE-T**

Τα εξαρτήματα του **10BASE-T** είναι:

- UTPκαλώδιο
- RJ-45 Connectors
- NIC
- Hubs/Switches/Repeaters

#### ➤ **100BASE-T**

Το Fast Ethernet ή το 100BASE-T παρέχει ταχύτητες μετάδοσης μέχρι 100 megabits ανά δευτερόλεπτο υποστηρίζοντας σταθμούς εργασίας με κάρτες 10BASE-T. Το πρότυπο 100BASE-T αποτελείται από πέντε διαφορετικές προδιαγραφές εξαρτημάτων. Αυτές περιλαμβάνουν το επίπεδο ελέγχου πρόσβασης στο μέσο (Media Access Control - MAC), την ανεξάρτητη διεπαφή (MII) και διαφορετικούς τύπους μέσου μετάδοσης (δισύρματο καλώδιο και οπτική ίνα) 100 BASE-TX, 100BASE-T4 και 100BASE-FX.



**Εικόνα 13: Καλώδιο 100BASE-T**

Το 100BASE-T είναι δίκτυο Ethernet το οποίο έχει υψηλότερη ταχύτητα μεταφοράς από το συμβατικό Ethernet. Το ωφέλιμο bandwidth κυμαίνεται μεταξύ 50-90% του ολικού. Το κύριο μειονέκτημα του, είναι ότι έχει μικρή έκταση δηλαδή 250 μέτρα όταν το συμβατικό μπορεί να επεκταθεί και μέχρι τα 2500 μέτρα. Το 100BASE-T δίκτυο επιτρέπει μέγιστο πλαίσιο δεδομένων μέχρι 1518 bytes.

Καταλήγοντας μπορούμε να πούμε ότι το 100BASE-T δίκτυο παρέχει αρκετό εύρος για μεταφορά πολυμεσικής πληροφορίας, αλλά δεν παρέχεται καμία εγγύηση για την καθυστέρηση του δικτύου. Είναι δυνατό να έχουμε διαδικασία multicasting στο δίκτυο αυτό. Δεν αποτελεί φυσικά την καλύτερη λύση για χρήση πολυμέσων. Είναι όμως άριστο για χρήση συμβατικών εφαρμογών.

### ➤ 1000BASE-T

Η υποστήριξη του καλωδίου UTP 5 από το Gigabit Ethernet κρίθηκε επιβεβλημένη. Οι δυσκολίες που παρουσίαζε η συγκεκριμένη μετάβαση αλλά και η ιδιαίτερη σημασία της οδήγησαν στην αποδέσμευση του όλου εγχειρήματος από την υπο-επιτροπή 802.3z και τη δημιουργία ξεχωριστής επιτροπής, της 802.3ad που ανέλαβε το σχεδιασμό του 1000BASE-T.



**Εικόνα 14: Καλώδιο 1000BASE-T**

Το αθωράκιστο συνεστραμμένο ζεύγος (UTP) είναι σήμερα το πλέον διαδεδομένο είδος καλωδίωσης παγκοσμίως. Ειδικά στα δίκτυα υψηλών ταχυτήτων κυριαρχεί το καλώδιο 4-ζευγών, 100 Ohm, UTP Category 5.

Το δίκτυο 1000BASE-T θα υποστηρίζει λειτουργία με καλώδιο 4-ζευγών, 100 Ohm, UTP 5 που συμβαδίζει με το πρότυπο ANSI/TIA/EIA-568-A ή κατασκευάζεται από υλικό σύμφωνα με το ISO/IEC 11801:1995 και διαθέτει τις επιδόσεις που ορίζονται στο ANSI/TIA/EIA-568-AANNEXE.

Η μετάδοση σε ρυθμούς 1000 Mb/s πάνω στο καλώδιο UTP 5 παρουσιάζει τις εξής δυσκολίες:

- ✓ Οι Ηλεκτρομαγνητικές Παρεμβολές
- ✓ Η εξασθένιση του σήματος
- ✓ Η απώλεια επιστροφής
- ✓ Η ηχώ
- ✓ Το crosstalk δηλ. τα ανεπιθύμητα σήματα που παράγονται από την αλληλεπίδραση των σημάτων μεταξύ δύο ζευγών.

#### ➤ **10BASE-F**

Η τυποποίηση αυτή έγινε το 1993 από την IEEE για βελτίωση ενός άλλου standard δικτύου, το οποίο υπήρχε και βασιζόταν στην οπτική ίνα FOIRL.

Η οπτική ίνα **FOIRL(Fiber Optic Inter-repeater Link)** είναι η πρώτη τυποποίηση οπτικής ίνας, η οποία έγινε το 1987. Η χρήση της οπτικής ίνας μας έδωσε τη δυνατότητα να επεκτείνουμε το δίκτυο Ethernet.

Το δίκτυο 10Base-F με χρήση οπτικής ίνας χρησιμοποιεί παλμούς φωτός για να στείλει Ethernet σήματα. Αυτή η μέθοδος έχει αρκετά πλεονεκτήματα. Το κυριότερο από αυτά είναι ότι ένα τμήμα οπτικής σύνδεσης μπορεί να μεταφέρει σήματα σε μεγαλύτερες αποστάσεις από ότι τα καλωδιακά δίκτυα (εκτός των οπτικών ινών). Για παράδειγμα, με ένα 10Base-F τμήμα οπτικής ίνας μπορεί να συνδεθεί ένα Ethernet hub σε αποστάσεις ως και 2Km. Ενώ τμήματα της οπτικής ίνας με half-duplex επικοινωνία μπορούν να συνδεθούν σε μεγαλύτερες αποστάσεις με χρήση μονότροπης οπτικής ίνας.

Με τη βοήθεια των FOIRL μπορούμε να διασυνδέουμε έναν επαναλήπτη ή ένα hub μέχρι 1Km απόσταση. Ακόμη όμως και με χρήση FOIRL δεν μπορεί η έκταση του δικτύου να είναι μεγαλύτερη των 2,5Km. Το πλήθος των επαναληπτών δεν μπορεί να ξεπερνά τους 4.

Η οπτική ίνα χρησιμοποιείται ως καλωδίωση κορμού σε ένα δομημένο σύστημα καλωδίωσης. Επιτρέπει τη διασύνδεση με οπτική ίνα διαφόρων Ethernet Hubs, τα οποία είναι τοποθετημένα σε κάθε όροφο ενός κτιρίου. Επίσης χρησιμοποιείται για μακρινές συνδέσεις. Οι αποστάσεις αυτών των συνδέσεων είναι πολύ μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες συνδέσεις με χρήση συνεστραμμένου ζεύγους καλωδίων (twisted-pair).



Επίσης τα δίκτυα με οπτική ίνα υποστηρίζουν υψηλότερες ταχύτητες σε σχέση με τα τοπικά κλασικά δίκτυα. Αυτό σημαίνει ότι το δίκτυο 10Base-F υποστηρίζει ταχύτητες 10Mbps σε Ethernet διαύλους, αλλά μπορεί να χρησιμοποιείται και σαν κανάλι επικοινωνίας σε Fast ή Gigabit τοπικά δίκτυα.



**Εικόνα 15: Καλώδιο 10BASE-F**

Υπάρχουν δύο είδη οπτικής σύνδεσης 10Mbps που βρίσκονται σε χρήση, το παλιό τμήμα οπτικής σύνδεσης μέσω εσωτερικού επαναλήπτη (repeater-FOIRL) και το νέο 10Base-FL τμήμα.

#### ➤ **100BASE-X**

Το δίκτυο 100BASE-X σχεδιάστηκε για χρήση υψηλότερης ποιότητας καλωδίου κατηγορίας 5. Και όπως φαίνεται από τα παραπάνω, μπορεί να χρησιμοποιηθεί STP καλώδιο και οπτικές ίνες. Και επειδή δεν είναι εκ των προτέρων προσδιορισμένο το μέσο εκπομπής, γι' αυτό έχει ονομαστεί και σαν 'X'. Η κωδικοποίηση που χρησιμοποιείται, είναι γνωστή σαν 4B5B. Σύμφωνα με την κωδικοποίηση αυτή γίνεται μετατροπή ομάδας 4 bits δεδομένων σε 5 bits δεδομένων. Η κωδικοποίηση αυτή χρησιμοποιείται σε ταχύτατα δίκτυα όπως για παράδειγμα στα Μητροπολιτικά δίκτυα FDDI. Το 100BASE-X έχει καθιερωθεί και αναπτυχθεί από την 3COM.

Εν κατακλείδι όμως πρακτικά έχουμε τις παρακάτω χαρακτηριστικές περιπτώσεις δικτύων:

- **100BASE-TX:** χρήση δύο ζευγών από καλής ποιότητας twisted-pair καλώδια.
- **100BASE-T4:** τέσσερα συνεστραμμένα ζεύγη καλωδίων κανονικής ποιότητας.
- **100BASE-FX:** καλώδια οπτικής ίνας

### 3.3 Δομικά Συστατικά

Είναι ο εξοπλισμός που απαιτείται για τη διευκόλυνση της επικοινωνίας σε ένα σύστημα. Ένα σύστημα Ethernet καθορίζεται, σε γενικά μεγάλο βαθμό, από τον εξοπλισμό που διαθέτει για να δημιουργήσει το δίκτυο που επιθυμεί αλλά και πόσα δίκτυα δημιουργούνται έτσι ώστε να μεταφερθούν τα πλαίσια Ethernet από δίκτυο σε δίκτυο.

**Repeater (επαναλήπτης):** Συσκευή που ουσιαστικά αναμεταδίδει (ενισχύει) το σήμα που κυκλοφορεί στο μέσο μετάδοσης και δίνει την δυνατότητα επέκτασης του μέσου μετάδοσης δύο τμημάτων του μέσου μετάδοσης. Συνεπώς οι επαναλήπτες είναι χρήσιμοι σε περιπτώσεις επέκτασης του Τοπικού Δικτύου. Στο δίκτυο η λειτουργία του επαναλήπτη δεν γίνεται αντιληπτή από τους άλλους κόμβους του δικτύου (διαφανής λειτουργία). Βασικά, αναφέρονται στο πρώτο επίπεδο του πρότυπου OSI (φυσικό επίπεδο) και συχνά έχουν ενσωματωμένες τις λειτουργίες του διακλαδωτή (hub), με πολλές θύρες σύνδεσης (όταν κάποιο σήμα λαμβάνεται από μία θύρα αναμεταδίδεται σε όλες τις άλλες).



**Εικόνα 16: Συσκευή Repeater**

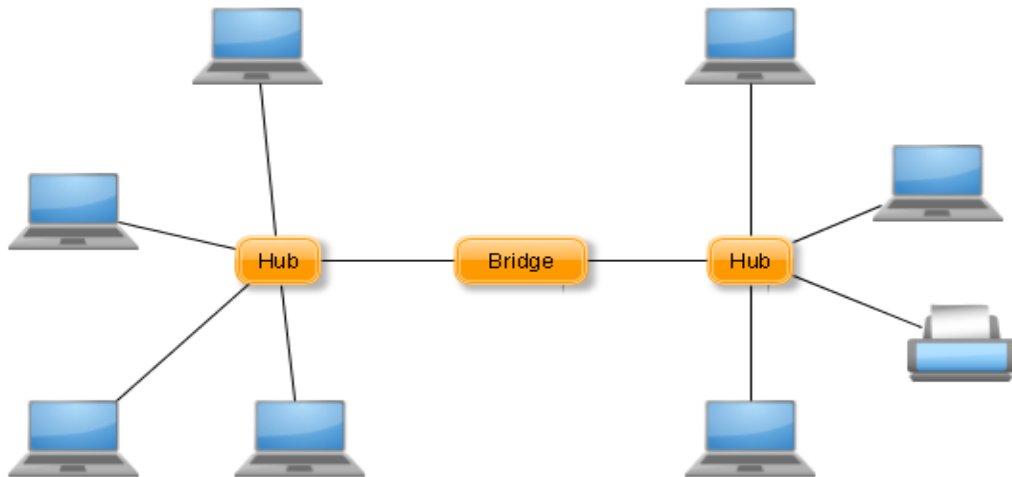
**Hub:** Το hub είναι συσκευή η οποία χρησιμοποιείται σε συνδεσμολογία αστέρα ή δενδροειδή τοπολογία. Το hub μπορεί να θεωρηθεί σαν επαναλήπτης με πολλές θύρες. Είναι βασικό εξάρτημα της καλωδιακής δομής του δικτύου. Η συνδεσμολογία αστέρα χρησιμοποιεί ένα hub, ενώ η δενδροειδής συνδεσμολογία χρησιμοποιεί ένα κεντρικό hub και ένα ή περισσότερα δευτερεύοντα hubs. Η δομή που ακολουθείται όταν χρησιμοποιούνται πολλά Hubs είναι ιεραρχική. Στην κορυφή έχουμε το κεντρικό hub και ακολουθούν τα υπόλοιπα διασυνδεδεμένα κατά ορόφους.



**Εικόνα 17: Συσκευή Hub**

Υπάρχουν hubs τα οποία χρησιμοποιούμε με καλώδια UTP και άλλα με καλώδια οπτικών ινών. Το hub είναι στην ουσία ένας επαναλήπτης, λαμβάνοντας ένα πακέτο δεδομένων το ενισχύει και το επανεκπέμπει προς όλες τις θύρες του ταυτόχρονα χωρίς κανένα ειδικό έλεγχο. Ένα βασικό χαρακτηριστικό του hub είναι ο αριθμός των θυρών τις οποίες έχει. Επίσης ένα δεύτερο χαρακτηριστικό που έχει είναι ο τύπος των θυρών δηλαδή αν προορίζονται για καλώδια UTP ή για οπτικές ίνες.

**Bridge:** Η γέφυρα είναι συσκευή που συνδέει σε δύο διαφορετικά δίκτυα (ίδια ή με διαφορετικές τεχνολογίες, φιλοσοφίες και τοπολογίες). Είναι το σημείο πρόσβασης από το ένα δίκτυο στο άλλο, που βρίσκονται σε κοντινή ή μακρινή απόσταση (από LAN σε LAN ή από LAN σε WAN). Επίσης είναι δυνατόν να είναι υπολογιστής με συγκεκριμένο λογισμικό (software) που αναλαμβάνει την μετάδοση των πληροφοριών από το ένα δίκτυο στο άλλο ή ειδική συσκευή. Λειτουργεί στα δύο πρώτα επίπεδα του πρότυπου OSI (physical & data link/σύνδεσης) και κάνει χρήση των φυσικών διευθύνσεων του υλικού (MAC address). Η διαφορά της γέφυρας από τον επαναλήπτη (και το διακλαδωτή) είναι ότι αποθηκεύει τα πλαίσια της πληροφορίας και στην συνέχεια τα προωθεί, κάνοντας κάποια στοιχειώδη επεξεργασία. Βασικά αναγνωρίζουν για ποιο δίκτυο προορίζονται τα δεδομένα και αναλαμβάνουν τις διαδικασίες προώθησης. Χρησιμοποιούνται για την διαίρεση κάποιου μεγάλου δικτύου ή για την ένωση τοπικών δικτύων που ήδη λειτουργούν.



**Εικόνα 18: Δίκτυο με χρήση γέφυρας**

**Switch (μεταγωγέας):** Πρόκειται ουσιαστικά για συγκεντρωτές / διακλαδωτές (πολλές θύρες σύνδεσης, οι οποίοι λειτουργούν και σαν γέφυρες (bridges) για να ενώσουν (ή διαχωρίσουν) πολλά διαφορετικά τοπικά δίκτυα. Χρησιμοποιούνται στην ανάπτυξη Τοπικών Δικτύων που καλύπτουν μεγάλες εκτάσεις, για την ένωση ομάδων υπο-δικτύων (που βρίσκονται για παράδειγμα σε διαφορετικά κτίρια) με κάποιο κεντρικό δίκτυο κορμού (backbone). Επιπλέον έχουν δυνατότητες ομαδοποίησης των κόμβων σε διαφορετικά νοητά υπο-δίκτυα (Virtual LANs). Επίσης έχουν την δυνατότητα να συνδέονται μεταξύ τους, ενώ σήμερα υπάρχουν μεταγωγείς που αναφέρονται και στο τρίτο επίπεδο του OSI (Δικτύου), προσφέροντας αυξημένες δυνατότητες ελέγχου, δρομολόγησης και ανάπτυξης ενός δικτύου.



**Εικόνα 19: Συσκευή Switch**

**Δρομολογητής (routers):** Οι δρομολογητές όταν συνδέουν το Τοπικό Δίκτυο με Δίκτυο Ευρείας περιοχής (WAN) κάνουν φαινομενικά την ίδια δουλειά με τα bridges δηλ. οι ικανότητες τους δεν εξαντλούνται μόνο στη λειτουργία δρομολόγησης, αλλά μπορούν να

επεκτείνονται και σε λειτουργίες γεφύρωσης. Έχουν όμως πιο σύνθετη λειτουργία προσφέροντας αυξημένες δυνατότητες δρομολόγησης και διαχείρισης της κυκλοφορίας των δεδομένων. Γενικότερα προσφέρουν υπηρεσίες διασύνδεσης, τόσο σε τοπικά δίκτυα, όσο και στα δίκτυα ευρείας ή αστικής περιοχής, αναζητώντας συχνά τη βέλτιστη διαδρομή. Χρησιμοποιούνται σε μεγάλα δίκτυα, όπου υπάρχουν αυξημένες ανάγκες ελέγχου και ανάπτυξης και δυνατότητες εναλλακτικών διαδρομών, που μπορούν να τις ακολουθήσουν τα δεδομένα προκειμένου να φτάσουν στον προορισμό τους. Λειτουργούν έως το τρίτο επίπεδο του πρότυπου OSI (Open Systems Interconnection). Αυτό σημαίνει ότι είναι σε θέση να αναγνωρίσουν το πρωτόκολλο επικοινωνίας κάθε δικτύου και το σύστημα διευθυνσιοδότησης που χρησιμοποιούν αυτά. Έχουν την δυνατότητα επιλογής της βέλτιστης διαδρομής και είναι σε θέση να κάνουν έλεγχο προσπέλασης και διαθεσιμότητας κάποιας διαδρομής. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι δρομολόγησης (πρωτόκολλα / αλγόριθμοι) που συνήθως στηρίζονται στις πληροφορίες που καταχωρούνται στον δρομολογητή (διευθύνσεις, τοπολογίες, προτεραιότητες, κατάλογοι πρόσβασης ή μη κλπ.) και σε στοιχεία που συλλέγονται κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του router. Γνωστά πρωτόκολλα δρομολόγησης είναι τα RIP, OSPF και BGP.



**Εικόνα 20: Συσκευή Router**

## 4. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ETHERNET

Η λειτουργία του Ethernet βασίζεται σε ένα σύνολο κανόνων. Οι κόμβοι επικοινωνούν ανταλλάσσοντας πλαίσια (frames). Το μήκος των πλαισίων μπορεί να μεταβάλλεται αλλά το ελάχιστο και το μέγιστο μήκος προσδιορίζονται ρητά από το πρωτόκολλο. Κάθε πλαίσιο περιλαμβάνει την διεύθυνση του αποστολέα και την διεύθυνση του παραλήπτη.

Μόλις φθάσει ένα αίτημα για αποστολή στο 2<sup>ο</sup> επίπεδο, το υπο-επίπεδο LLC προσθέτει τις πληροφορίες ελέγχου (π.χ. αριθμός bytes) και το υπο-επίπεδο MAC σχηματίζει το πλαίσιο προσθέτοντας την κατάλληλη πληροφορία στα αντίστοιχα πεδία. Για παράδειγμα “γεμίζει” τα πεδία preamble και start-of-frame delimiter και τα πεδία destination και source addresses.

Μετά την συναρμολόγηση του πλαισίου γίνεται η μετάδοση του σε ημι-αμφίδρομη ή πλήρως αμφίδρομη λειτουργία.

### 4.1 Πρόσβαση στο μέσο—The CSMA/CD Access Method

Για την πρόσβαση στο μέσο χρησιμοποιείται η τεχνολογία CSMA/CD (Carrier-Sense Multiple Access/ Collision Detection). Η τεχνολογία αυτή συνίσταται από τρία διαφορετικά μέρη:

- **Carrier-Sense:** Η κάρτα δικτύου της κάθε συνδεδεμένης στο δίκτυο συσκευής, “ακούει” το κανάλι για να ανιχνεύσει αλλαγές στην κατάσταση του και να αντιληφθεί τυχόν μετάδοση.
- **Multiple Access:** Όλες οι συσκευές έχουν πρόσβαση στο κανάλι (π.χ. καλώδιο) συνεχώς.
- **Collision Detection:** Αν συμβεί μια σύγκρουση (δηλαδή αν δυο τουλάχιστον σταθμοί επιχειρήσουν να στείλουν δεδομένα την ίδια χρονική στιγμή) αυτή θα γίνει αντιληπτή από τους εμπλεκόμενους κόμβους. Η επαναμετάδοση θα γίνει μετά από ένα τυχαίο χρονικό διάστημα.

#### 4.1.1 Half-Duplex Transmission

Τυπικά τα δίκτυα που στηρίζονται στην CSMA/CD τεχνολογία είναι ημι-αμφίδρομα, δηλαδή όταν μια συσκευή στέλνει δεδομένα δεν μπορεί και να λαμβάνει ταυτόχρονα. Σε μια τέτοια επικοινωνία θα πρέπει να διασφαλίζεται ότι οι σταθμοί αντιλαμβάνονται μια σύγκρουση και είναι σε θέση να ανακάμψουν από αυτή.

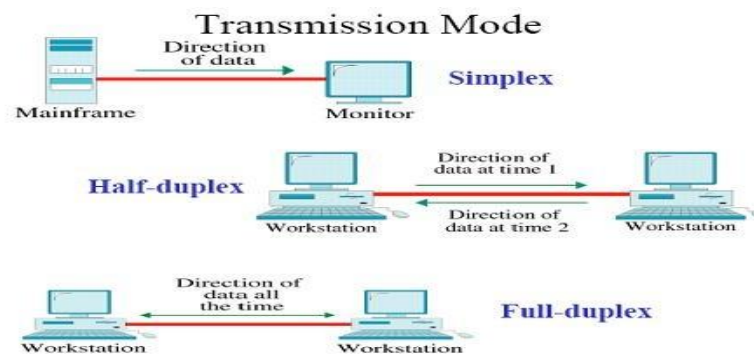
Στη half-duplex μετάδοση θα πρέπει να υπάρχει διαβεβαίωση ότι το σύστημα θα επανακάμψει μετά από μια σύγκρουση. Όπως είναι γνωστό, στη χειρότερη περίπτωση, ο

χρόνος για να γίνει αντιληπτή μια σύγκρουση είναι περίπου ίσος με το διπλάσιο του χρόνου διάδοσης του σήματος από τον ένα σταθμό στον άλλον (εδώ θεωρούμε ότι οι σταθμοί είναι οι πιο απομακρυσμένοι, είναι δηλαδή στα άκρα της διαμέτρου του δικτύου). Αυτός ο χρόνος ονομάζεται “slot time” και σχετίζεται με το ελάχιστο μήκος του πλαισίου και τη μέγιστη διάμετρο του δικτύου.

Στην περίπτωση του 10Mbps Ethernet γίνεται ένας συμβιβασμός για τις δυο αυτές παραμέτρους. Επιλέγεται ως μέγιστη διάμετρος του δικτύου 2.5Km και προσαρμόζεται ανάλογα το ελάχιστο μήκος του πλαισίου. Όταν όμως αυξάνεται ο ρυθμός μετάδοσης, όπως για παράδειγμα στο Fast Ethernet και το Gigabit Ethernet, η λύση είναι να μειωθεί η διάμετρος του δικτύου στα 200 και στα 20 μέτρα αντίστοιχα.

#### 4.1.2 Full-Duplex Transmission

Σε αυτή τη περίπτωση η μετάδοση και η λήψη συμβαίνουν ταυτόχρονα στο ίδιο καλώδιο μετάδοσης. Η πλήρης αμφίδρομη μετάδοση είναι πιο απλή από την ημι-αμφίδρομη. Επιπλέον είναι πιο αποτελεσματική καθώς διπλασιάζει το εύρος του καναλιού ενώ παράλληλα αυξάνει την διαθεσιμότητα του χρόνου για μετάδοση.



Εικόνα 21: Απεικόνιση Half and duplex transmission

Στην Εικόνα 21 παρατηρούμε πως λειτουργεί η ημι-αμφίδρομη μετάδοση καθώς και η πλήρης μετάδοση μεταξύ δυο τελικών σημείων.

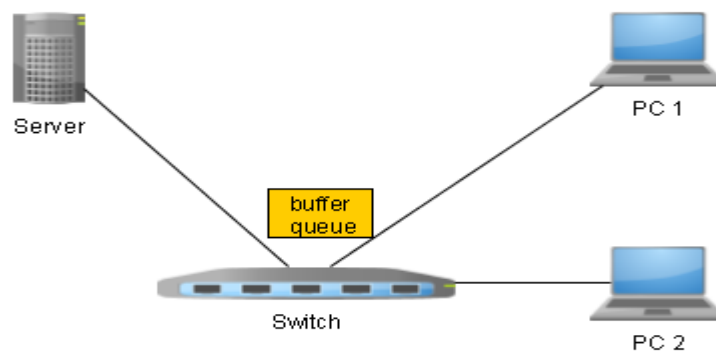
#### 4.1.3 Flow Control

Μια από τις βασικές απαιτήσεις που υπήρχαν από το δίκτυο 1 Gbps, ήταν να είναι συμβατό με τα υπάρχοντα κλασικά δίκτυα Ethernet. Αυτό πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο 802.3x με την οποία πετύχαμε ασφαλή ροή δεδομένων μεταξύ ενός τοπικού δικτύου 1 Gigabit Ethernet και ενός κλασικού Ethernet. Ο έλεγχος ροής (flow control) είναι απαραίτητος σε ένα δίκτυο, ειδικά για τεχνολογίες που λειτουργούν με διαφορετικές ταχύτητες. Όταν έχουμε έναν αργό σταθμό (π.χ. 10 Mbps), ο οποίος αποστέλλει δεδομένα προς ένα γρήγορο server (π.χ. 1 Gbps), τότε η επικοινωνία αυτή δεν αντιμετωπίζει κανένα πρόβλημα. Το αντίθετο όμως συμβαίνει, όταν ένας γρήγορος σταθμός αποστέλλει δεδομένα προς ένα αργό σταθμό, οπότε μπορεί εύκολα να υπερφορτώσει τον αργό σταθμό.

Η μέθοδος προσπέλασης CSMA/CD προσφέρει ένα τρόπο αντιμετώπισης παρόμοιων καταστάσεων, αφού οι συγκρούσεις που δημιουργούνται εμποδίζουν την υπερφόρτωση.

Στη λειτουργία full-duplex του Gigabit Ethernet, η μέθοδος προσπέλασης CSMA/CD απενεργοποιείται, οπότε πρέπει να χρησιμοποιηθεί κάποια άλλη μέθοδος ελέγχου ροής δεδομένων, ώστε να αποφευχθούν οι συγκρούσεις.

Στο Gigabit Ethernet αυτή η μέθοδος ορίστηκε από το πρότυπο 802.3x full-duplex/flow control. Η μέθοδος 802.3x αναπτύχθηκε ξεχωριστά από το δίκτυο Gigabit Ethernet και η χρήση της ορίζεται ως υποχρεωτική, σε full-duplex συνδέσεις.



**Εικόνα 22: Λειτουργία Flow Control**

Η λειτουργία του 802.3x έχει ως εξής: Όταν στη μία άκρη της σύνδεσης ο δέκτης δεν μπορεί να ανταποκριθεί στην κίνηση, τότε ο σταθμός δέκτης μπορεί να στείλει ένα ειδικό πλαίσιο PAUSE και έτσι ειδοποιεί τον σταθμό-πομπό να σταματήσει προσωρινά τη μετάδοση για κάποιο χρονικό διάστημα. Όταν ο πομπός σταματήσει να δέχεται PAUSE πλαίσια, τότε μετά από κάποιο χρονικό διάστημα συνεχίζει η μετάδοση από το σημείο που είχε σταματήσει. Τα PAUSE πλαίσια χρησιμοποιούν συγκεκριμένη διεύθυνση, ώστε να μην προωθούνται από τις γέφυρες και τα switches. Έτσι αποφεύγεται η παρεμβολή τους με τα μηνύματα ελέγχου ροής σε άλλα εξωτερικά σημεία του δικτύου. Στην Εικόνα 22 παρατηρούμε πως λειτουργεί το flow control.

#### **4.1.4 Carrier Extension**

Ο σχεδιασμός του κλασικού Ethernet (που λειτουργούσε μόνο σε κατάσταση half-duplex) όριζε ως μέγιστη απόσταση μεταξύ σταθμών τα 2 χιλιόμετρα. Ο περιορισμός αυτός έχει να κάνει με τη μέθοδο πρόσβασης CSMA/CD και το ελάχιστο μέγεθος πλαισίου που μπορεί η μέθοδος να εξυπηρετήσει (το οποίο στην περίπτωση του Ethernet είναι 64bytes). Σε περίπτωση σύγκρουσης θα πρέπει οι σταθμοί που εμπλέκονται να το μάθουν πριν την ολοκλήρωση της μετάδοσης. Εάν το μέγεθος του Collision Domain είναι μικρό, τότε το σήμα jam που θα στείλει το MAC υπο-επίπεδο, θα πρέπει να φθάσει έγκαιρα στους



ενδιαφερόμενους σταθμούς, έτσι ώστε αυτοί να αναμεταδώσουν το πλαίσιο. Εφόσον όμως λειτουργεί με 10-πλάσια ταχύτητα (100 Mbps έναντι 10 Mbps), τα πλαίσια απαιτούν 10 φορές λιγότερο χρόνο για να μεταδοθούν, οπότε για την ομαλή λειτουργία της μεθόδου CSMA/CD, το Collision Domain έπρεπε να μειωθεί ανάλογα στο υπο-πολλαπλάσιο.

Στην περίπτωση που θα είχαμε Gigabit Ethernet και εφόσον διατηρούνταν το ελάχιστο μέγεθος πλαισίου, η διάμετρος του δικτύου θα έπρεπε να μειωθεί κατά 10, δηλαδή στα 20 μέτρα! Φυσικά μια τόσο μικρή διάμετρος δικτύου θα καθιστούσε το πρότυπο Gigabit Ethernet πρακτικά άχρηστο. Στην προσπάθεια να διατηρηθεί η μέγιστη απόσταση μεταξύ των σταθμών στα 200 μέτρα, ορίστηκε μια τροποποίηση στο MAC η οποία ονομάστηκε *Carrier Extension*.

Η μέθοδος carrier extension λειτουργεί ως εξής: Όταν ένα πλαίσιο είναι μικρότερο των 512 Bytes τότε το MAC στέλνει ένα ειδικό σήμα που διαρκεί τόσο ώστε το πλαίσιο να φαίνεται στους άλλους σταθμούς ως πλαίσιο των 512 bytes, οπότε παρέχεται ο απαιτούμενος χρόνος για να ανιχνευθεί τυχόν σύγκρουση. Αυτή η τεχνική δεν επηρεάζει το ελάχιστο μήκος πλαισίου που παραμένει στα 64 bytes, αλλά απλώς μεταχειρίζεται διαφορετικά τα πλαίσια που είναι μικρότερα των 512 bytes..

Η βελτίωση carrier extension έχει ένα βασικό μειονέκτημα: η προέκταση δεν χρησιμοποιεί πραγματικά δεδομένα, αλλά μη πραγματικά δεδομένα, ενώ καταναλώνει bandwidth. Στη περίπτωση που η κυκλοφορία αποτελείται αποκλειστικά από πλαίσια των 64 bytes, τότε ο πραγματικός ρυθμός μετάδοσης του 1 Gigabit Ethernet πέφτει στα 120Mbps, δηλαδή μείωση της απόδοσης στο (120/1000)! Φυσικά κάτι τέτοιο είναι μάλλον ακραίο, όμως στα περισσότερα δίκτυα Ethernet τα πλαίσια έχουν μέγεθος 200-500bytes, οπότε η απόδοση αναμένεται να κινείται αρκετά χαμηλότερα από το 1Gbps.

#### **4.1.5 Frame bursting**

Με τη μέθοδο Carrier Extension που αναλύσαμε παραπάνω, αυτό που καταφέραμε ήταν να βελτιώσουμε την έκταση του δικτύου Gigabit Ethernet από τα 20m στα 200m αλλά, με αυτή τη παρέμβαση ο πραγματικός ρυθμός μετάδοσης των δεδομένων ελαττώθηκε.

Έτσι για την αντιμετώπιση και αυτού του προβλήματος έγινε μια ακόμα αλλαγή στο MAC υπο-επίπεδο η οποία ονομάστηκε Frame Bursting. Η τεχνική Frame bursting χρησιμοποιήθηκε για τη μετάδοση πολλών μικρών (<512bytes) πλαισίων μαζί με ένα

πλαίσιο, και συνεπώς τη δημιουργία ενός μεγαλύτερου πλαισίου. Το μέγεθος αυτού του νέου πλαισίου μπορεί να φθάσει το πολύ μέχρι 8192bytes.

Αν και η τεχνική αυτή θεωρητικά, αντισταθμίζει το χαμένο bandwidth λόγω του Carrier Extension, πολλές από τις εφαρμογές που ήδη υπάρχουν δεν θα εκμεταλλευτούν αυτό το γεγονός γιατί δεν σχεδιάστηκαν, για να λειτουργούν με αυτόν τον τρόπο. Οπότε χρησιμοποιείται κατά προτεραιότητα ο μηχανισμός Frame Bursting και όταν για οποιοδήποτε λόγο δεν μπορεί να σχηματιστεί κάποιο μεγάλο πλαίσιο, τότε ενεργοποιείται ο προηγούμενος μηχανισμός Carrier Extension.

Υπάρχουν βέβαια εφαρμογές τύπου client-server που λειτουργούν με τη λογική της μετάδοσης κάποιου μικρού πλαισίου και την αναμονή της απάντησης. Σε αυτές τις περιπτώσεις τα πλαίσια δεν μπορούν να προστεθούν σε Bursting Frame. Σε αυτήν την περίπτωση το Bursting μπορεί να γίνει σε συνδυασμό με πλαίσια άλλων εφαρμογών ή κόμβων. Η διαδικασία αυτή θα πρέπει να πραγματοποιείται από τον network server και η οποία έχει αυξημένη πολυπλοκότητα. Στην πραγματικότητα τη διαδικασία αυτή δεν την εφαρμόζει ο server του δικτύου, αν και είναι εφικτό, επειδή συνήθως οι σχεδιαστές των εφαρμογών δεν ασχολούνται με την επαναδημιουργία των προγραμμάτων τους και με θέματα που ανήκουν σε σχετικά χαμηλό επίπεδο μεταφοράς.

## 5. ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ OMNeT++

### 5.1 OMNeT++

Το OMNeT++ είναι ένα γενικό πλαίσιο για προσομοίωση υλοποιημένο σε C++. Χάρη στην αρχιτεκτονική του, μπορεί να επεκταθεί και να χρησιμοποιηθεί για την επίλυση διαφόρων προβλημάτων ή την υλοποίηση συστημάτων. Ως "Δίκτυο" εννοείται μια ευρύτερη έννοια που περιλαμβάνει ενσύρματα και ασύρματα δίκτυα επικοινωνιών, δίκτυα on-chip, δίκτυα αναμονής (τα περισσότερα δίκτυα έχουν περισσότερους από έναν καταχωρητές) και ούτω καθεξής. Υποστηρίζει λειτουργίες για διάφορους τομείς, όπως υποστήριξη δικτύων αισθητήρων, ασύρματα δίκτυα ad-hoc, πρωτόκολλα internet, μοντελοποίηση επιδόσεων, φωτονικά δίκτυα κ.λπ., που παρέχονται από πρότυπα πλαίσια, τα οποία αναπτύσσονται ως ανεξάρτητα έργα. Το OMNeT++ IDE το οποίο είναι βασισμένο στο περιβάλλον Eclipse, γραφικό περιβάλλον εκτέλεσης της προσομοίωσης και περιβάλλον γραμμής εντολών για την εκτέλεση των προσομοιώσεων. Υπάρχουν επεκτάσεις για προσομοίωση σε πραγματικό χρόνο, εξομοίωση δικτύου, ενσωμάτωση βάσεων δεδομένων, ολοκλήρωση SystemC και πολλές άλλες λειτουργίες.

Παρόλο που το OMNeT++ δεν είναι προσομοιωτής δικτύου, έχει αποκτήσει ευρεία δημοτικότητα ως πλατφόρμα προσομοίωσης δικτύου τόσο στην επιστημονική κοινότητα όσο και στις βιομηχανικές εγκαταστάσεις και οδήγησε στη δημιουργία μιας μεγάλης κοινότητας χρηστών.

Το OMNeT++ παρέχει αρχιτεκτονική εξαρτημάτων για μοντέλα. Τα συστατικά μέρη (modules) προγραμματίζονται σε C++, κατόπιν συναρμολογούνται σε μεγαλύτερα εξαρτήματα και μοντέλα χρησιμοποιώντας μια γλώσσα υψηλού επιπέδου (NED). Το OMNeT++ διαθέτει εκτεταμένη υποστήριξη GUI και, λόγω της αρθρωτής αρχιτεκτονικής του, ο πυρήνας προσομοίωσης (και τα μοντέλα) μπορεί να ενσωματωθεί εύκολα στις εφαρμογές.

Οι χρήστες επικοινωνούν μεταξύ τους στέλνοντας μηνύματα, τα οποία σε πραγματικές προσομοιώσεις μπορεί να αναπαριστά π.χ. ένα πλαίσιο ή ένα πακέτο σε ένα δίκτυο υπολογιστών. Ένα μήνυμα μπορεί να περιέχει αφηρημένα δεδομένα και στέλνεται είτε

μέσα από θύρες (gates) και συνδέσεις (connections) είτε κατευθείαν στον προορισμό τους. Όταν ένα μήνυμα στέλνεται από ένα module στον εαυτό του αυτό ονομάζεται self-message. Τα self-message χρησιμοποιούνται για να προγραμματιστούν μελλοντικά γεγονότα.

Οι θύρες είναι οι διασυνδέσεις εισόδου και εξόδου των modules. Υπάρχουν τρεις τύποι: input, output, και inout. Τα μηνύματα στέλνονται μέσω των output gates και φτάνουν στο module σε μια input gate. Δύο θύρες διαφορετικών ή ακόμα και ίδιων modules συνδέονται μεταξύ τους με μια σύνδεση. Σε μια σύνδεση μπορούν να αντιστοιχηθούν τρεις παράμετροι ώστε να είναι πιο ρεαλιστική η μοντελοποίηση του δικτύου:

- Propagation delay – Καθυστερήση διάδοσης, δηλαδή ο χρόνος που απαιτείται για να διαδοθεί το bit από το ένα άκρο έως το άλλο άκρο της σύνδεσης.
- Bit error rate – πιθανότητα σφάλματος στη μετάδοση.
- Data rate – ρυθμός μετάδοσης δεδομένων, καθορίζεται σε bits/sec.

Εξίσου σημαντικό είναι να κατανοήσουμε ότι στο OMNeT++, ένα μοντέλο αποτελείται από τα ακόλουθα συστατικά μέρη – αρχεία:

- Αρχεία NED: περιγράφουν την δομή των modules με τις παραμέτρους, τις θύρες, κ.τ.λ.
- Ορισμοί μηνυμάτων (.msg files). Χρησιμοποιούνται για τον ορισμό των τύπων των μηνυμάτων και των πεδίων τους. Το OMNeT++ τα μεταφράζει σε κλάσεις C++.
- Πηγαίος κώδικας των simple modules (αρχεία .h/.cc).

Οι γενικές αρχές λειτουργίας του προσομοιωτή είναι οι εξής:

- Τα .msg files μεταφράζονται σε κώδικα C++
- Όλα τα πηγαία αρχεία μεταγλωτίζονται
- Σύνδεση αυτών με τον πυρήνα προσομοίωσης και την βιβλιοθήκη της διασύνδεσης χρήστη
- Δημιουργία εκτελέσιμου αρχείου
- Φόρτωση αρχείων .ned και ανάγνωση του αρχείου διαμόρφωσης (.ini)
- Έναρξη προσομοίωσης

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης γράφονται σε αρχεία δεδομένων (vector files, scalar files) τα οποία μπορούν να αναλυθούν με τα εργαλεία του OMNeT++ ή με κάποιο άλλο λογισμικό.

Το OMNeT ++ εκτελείται σε Windows, Linux, Mac OS X και σε άλλα συστήματα που μοιάζουν με Unix. Το OMNeT++ διατίθεται online και είναι ελεύθερο για εγκατάσταση και ακαδημαϊκή χρήση στη σελίδα: <https://omnetpp.org/>.

## 5.2 Μελέτη απόδοσης Ethernet

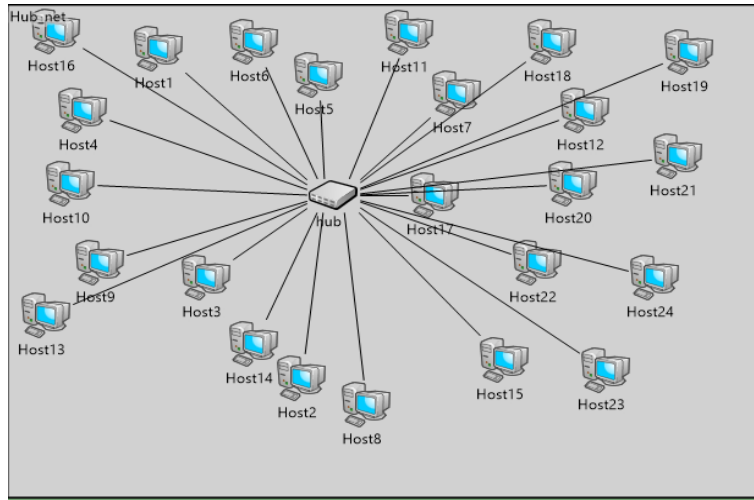
Στα πλαίσια αυτής της εργασίας μελετάμε την απόδοση του δικτύου Ethernet σε συγκεκριμένες συνθήκες και σενάρια. Για τη μελέτη χρησιμοποιήσαμε το INET, μια υλοποίηση ανοιχτού κώδικα που ενσωματώνεται στο OMNeT++ ως βιβλιοθήκη και παρέχει ένα σύνολο από υλοποιημένα μοντέλα και πρωτόκολλα δικτύων επικοινωνίας. Συγκεκριμένα εξετάζουμε τα ακόλουθα σενάρια:

1. Μελέτη συμπεριφοράς τοπικού δικτύου με χρήση Hub.
2. Μελέτη συμπεριφοράς τοπικού δικτύου με χρήση Switch.
3. Μελέτη συμπεριφοράς σε δίκτυο με Hub και Switch.

Για κάθε σενάριο προσδιορίζουμε το πλήθος των κόμβων, το πλήθος των συσκευών διασύνδεσης, το ρυθμό μετάδοσης και εξετάζουμε τη χρήση του καναλιού, την επίδραση της καθυστέρησης καθώς επίσης και τα πακέτα που χάνονται κατά την μετάδοση των πακέτων.

### 5.2.1 Μελέτη συμπεριφοράς τοπικού δικτύου με χρήση Hub

Αρχικά θεωρούμε ένα τοπικό δίκτυο Ethernet που ο αριθμός των σταθμών μεταβάλλεται από 10 έως 32. Για την φυσική διασύνδεση των σταθμών σε αυτή την περίπτωση επιλέγουμε hub. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω το hub αναπαράγει κάθε πλαίσιο που φθάνει σε μια θύρα του και το προωθεί σε όλες τις άλλες θύρες. Επιπλέον το hub αποτελεί ένα πεδίο συγκρούσεων. Στόχος είναι να εξετάσουμε το μέγεθος του προβλήματος των συγκρούσεων και τις επιπτώσεις που έχει στην απόδοση του δικτύου. Για παράδειγμα πως αυξάνεται η καθυστέρηση σε ένα τέτοιο περιβάλλον. Χρησιμοποιώντας το OMNeT++ και το INET δημιουργούμε το δίκτυο, όπως αυτό που απεικονίζεται στην Εικόνα 23 και συλλέγουμε στατιστικά για την καθυστέρηση, τη χρησιμοποίηση του καναλιού αλλά και την απώλεια πακέτων.



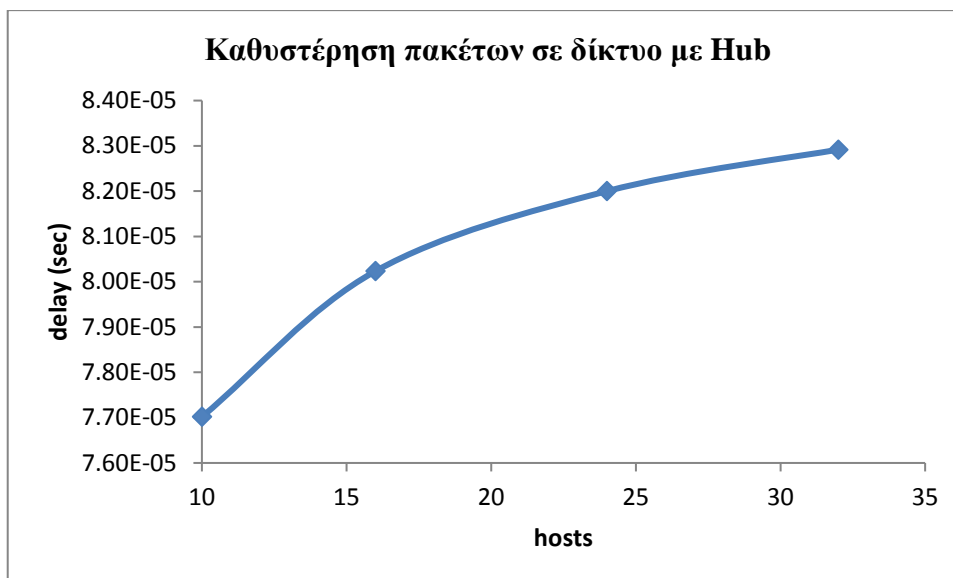
**Εικόνα 23: Τοπικό δίκτυο Ethernet 24 σταθμών με χρήση hub**

### Καθυστέρηση

Ως καθυστέρηση ορίζεται ο συνολικός χρόνος που απαιτείται για να μεταδοθεί ένα πλαίσιο από ένα σταθμό σε ένα άλλο σταθμό μέσα στο δίκτυο. Στον Πίνακα 1 συνοψίζονται τα αποτελέσματα της καθυστέρησης και στην Εικόνα 24 απεικονίζονται για δίκτυο με διαφορετικό αριθμό σταθμών. Όπως ήταν αναμενόμενο, η καθυστέρηση αυξάνεται καθώς αυξάνεται ο αριθμός των χρηστών. Όμως παρόλο που αυτή η αύξηση είναι αισθητή, δεν είναι ιδιαίτερα μεγάλη. Όπως διαπιστώνουμε από τα αποτελέσματα η προσθήκη 22 σταθμών σε ένα δίκτυο 10 σταθμών αυξάνει την καθυστέρηση μόλις κατά 0,6ms. Αυτό οφείλεται στην αύξηση των συγκρούσεων που αυξάνονται καθώς αυξάνεται ο αριθμός των χρηστών.

Hosts	Delay (ms)
10	0,077
16	0,080
24	0,082
32	0,083

**Πίνακας 1: Αποτελέσματα καθυστέρησης σε δίκτυο με hub 10,16,24 και 32 σταθμών αντίστοιχα**



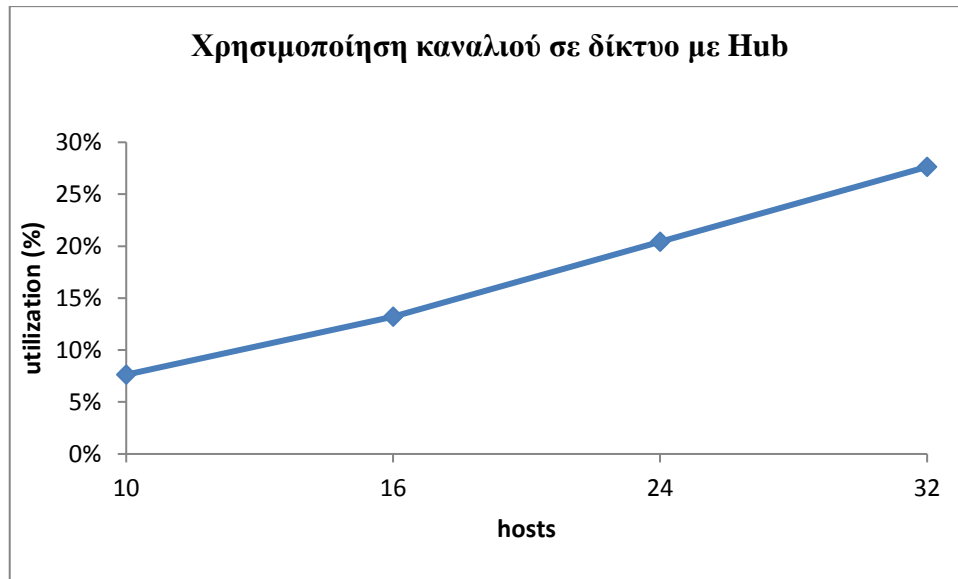
Εικόνα 24: Διάγραμμα καθυστέρησης πακέτων σε δίκτυο με hub

### Χρησιμοποίηση του καναλιού

Για τη συγκεκριμένη μελέτη θεωρούμε ότι οι σταθμοί μεταδίδουν με ρυθμό 100Mbps δηλαδή κάθε σταθμός μεταδίδει 100 εκατομμύρια bit κάθε δευτερόλεπτο ή καλύτερα χρειάζονται 0,01 μικροδευτερόλεπτα ( $\mu s$ ) για τη μετάδοση κάθε bit. Όπως παρατηρούμε και από τα αποτελέσματα που απεικονίζονται στον Πίνακα 2 και στην Εικόνα 27 το Utilization του καναλιού είναι καλύτερο όταν ο αριθμός των χρηστών είναι μικρός, και αυτό γιατί τότε έχουμε μικρό σχετικά αριθμό συγκρούσεων. Άλλη παράμετρος η οποία επηρεάζει τη χρησιμοποίηση του bandwidth είναι το μέγεθος του πακέτου. Το Utilization του καναλιού διαφέρει από δίκτυο σε δίκτυο. Όπως παρατηρούμε η χρησιμοποίηση του καναλιού κυμαίνεται από 7,6% περίπου έως και 27,6% που είναι η μέγιστη τιμή όταν συνδέσουμε στο hub 32 σταθμούς.

Host	Utilization (%)
10	7,6%
16	13,2%
24	20,4%
32	27,6%

Πίνακας 2: Αποτελέσματα χρησιμοποίησης καναλιού σε δίκτυο με hub 10,16,24 και 32 σταθμών αντίστοιχα



Εικόνα 25: Διάγραμμα χρησιμοποίησης καναλιού σε δίκτυο με χρήση hub

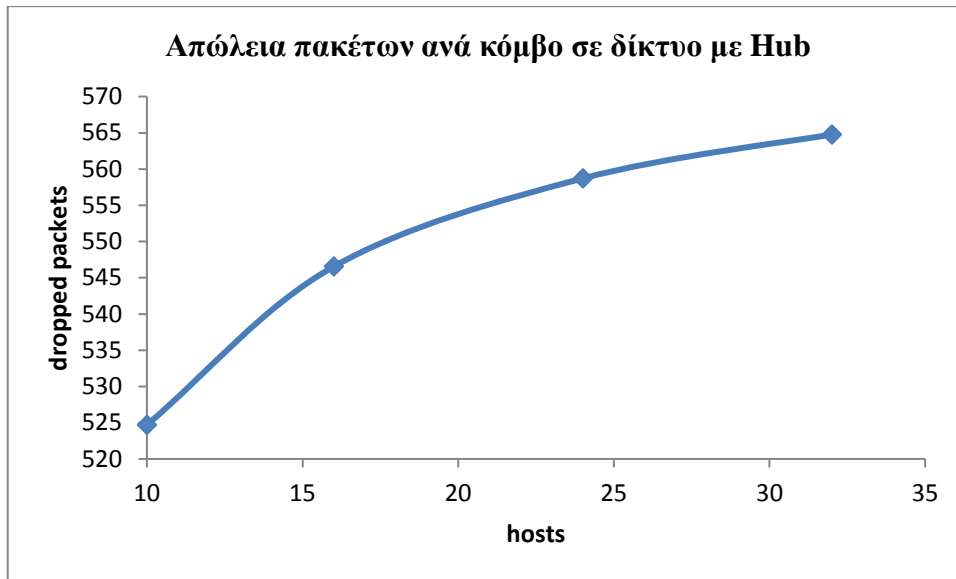
### Απώλεια πακέτων

Μια ακόμα περίπτωση που θα μελετηθεί είναι τα πακέτα που χάνονται κατά τη μετάδοση των μηνυμάτων. Όπως διαπιστώνουμε ο αριθμός των απωλειών αυξάνεται σημαντικά καθώς αυξάνεται ο αριθμός των σταθμών. Τα πακέτα χάνονται εξαιτίας των συγκρούσεων. Στον Πίνακα 3 παραθέτουμε τα αποτελέσματα για τα πακέτα και στην Εικόνα 26 απεικονίζεται το αντίστοιχο διάγραμμα.

Host	Dropped(packet)
10	524,7
16	546,54
24	558,71
32	564,77

Πίνακας 3: Αποτελέσματα απώλειας πακέτων σε δίκτυο με χρήση Hub 10,16,24 και 32 σταθμών αντίστοιχα

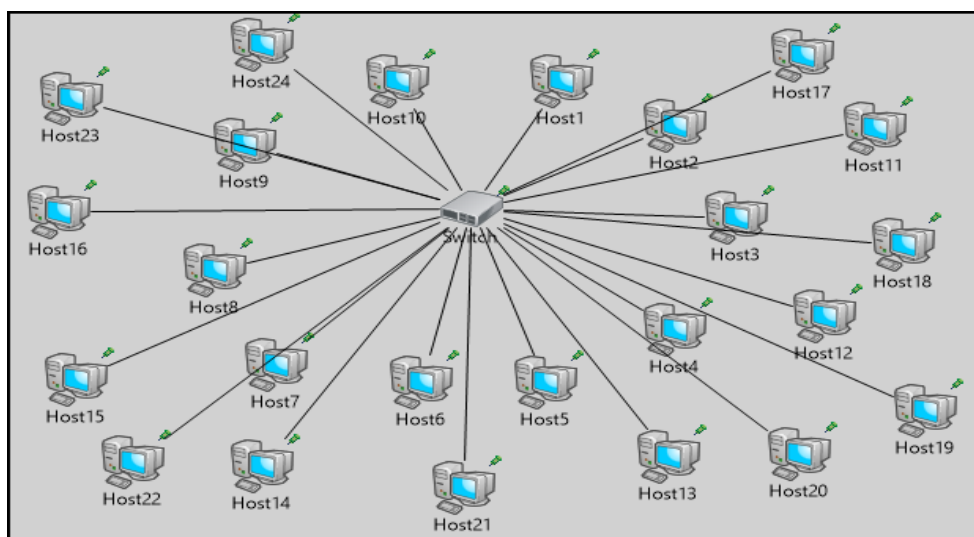




Εικόνα 26: Διάγραμμα απώλειας πακέτων ανά κόμβο σε δίκτυο με hub

### 5.2.2 Μελέτη συμπεριφοράς τοπικού δικτύου με χρήση Switch

Αρχικά και σε αυτή τη περίπτωση θεωρούμε ένα τοπικό δίκτυο Ethernet που ο αριθμός των σταθμών μεταβάλλεται από 10 έως 32. Για τη φυσική διασύνδεση των σταθμών σε αυτή την περίπτωση επιλέγουμε switch. Το switch, όπως και το hub, είναι μια συσκευή η οποία αναπαράγει κάθε πλαίσιο που φτάνει στη θύρα και το προωθεί μόνο στη θύρα που είναι συνδεδεμένος ο υπολογιστής για τον οποίο αυτό προορίζεται. Στόχος είναι να εξετάσουμε το μέγεθος του προβλήματος των συγκρούσεων αλλά και τις επιπτώσεις που έχει στην απόδοση του δικτύου. Για παράδειγμα πως αυξάνεται η καθυστέρηση σε ένα τέτοιο περιβάλλον. Χρησιμοποιώντας το OMNeT++ και το INET δημιουργούμε το δίκτυο, όπως και αυτό που απεικονίζεται στην Εικόνα 27 και συλλέγουμε στατιστικά για την καθυστέρηση, τη χρησιμοποίηση του καναλιού αλλά και την απώλεια πακέτων.



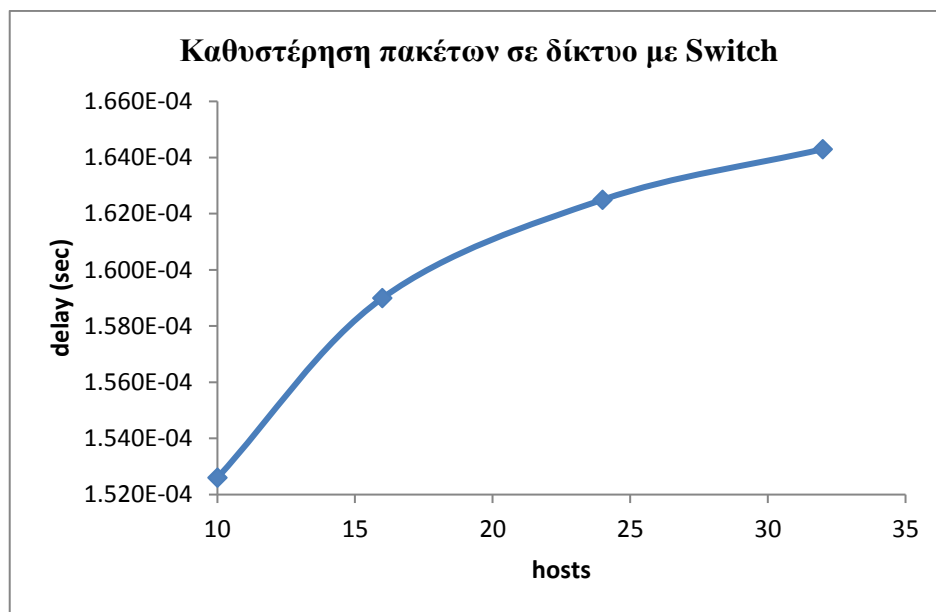
Εικόνα 27: Τοπικό δίκτυο Ethernet 24 σταθμών με χρήση Switch

## Καθυστέρηση

Ως καθυστέρηση, και σε αυτή τη περίπτωση, ορίζεται ο συνολικός χρόνος που απαιτείται για να μεταδοθεί ένα πλαίσιο από ένα σταθμό σε ένα άλλο σταθμό μέσα στο δίκτυο. Στον Πίνακα 4 συνοψίζονται τα αποτελέσματα της καθυστέρησης και στην Εικόνα 28 περιγράφονται γραφικά τα ίδια αποτελέσματα για δίκτυο με διαφορετικό αριθμό σταθμών. Όπως ήταν αναμενόμενο, και σε αυτή τη περίπτωση η καθυστέρηση αυξάνεται καθώς αυξάνεται ο αριθμός των χρηστών. Όμως αυτή η αύξηση δεν είναι αισθητή, δεν είναι ιδιαίτερα μεγάλη. Όπως διαπιστώνουμε από τα αποτελέσματα η προσθήκη 22 σταθμών σε ένα δίκτυο 10 σταθμών αυξάνει την καθυστέρηση μόλις κατά 11ms. Αυτό οφείλεται στην αύξηση των συγκρούσεων που αυξάνονται καθώς αυξάνεται ο αριθμός των χρηστών.

Host	Delay(μs)
10	153
16	159
24	163
32	164

**Πίνακας 4: Αποτελέσματα καθυστέρησης σε δίκτυο με switch 10,16,24 και 32 σταθμών αντίστοιχα**



**Εικόνα 28: Διάγραμμα καθυστέρησης πακέτων σε δίκτυο με Switch**

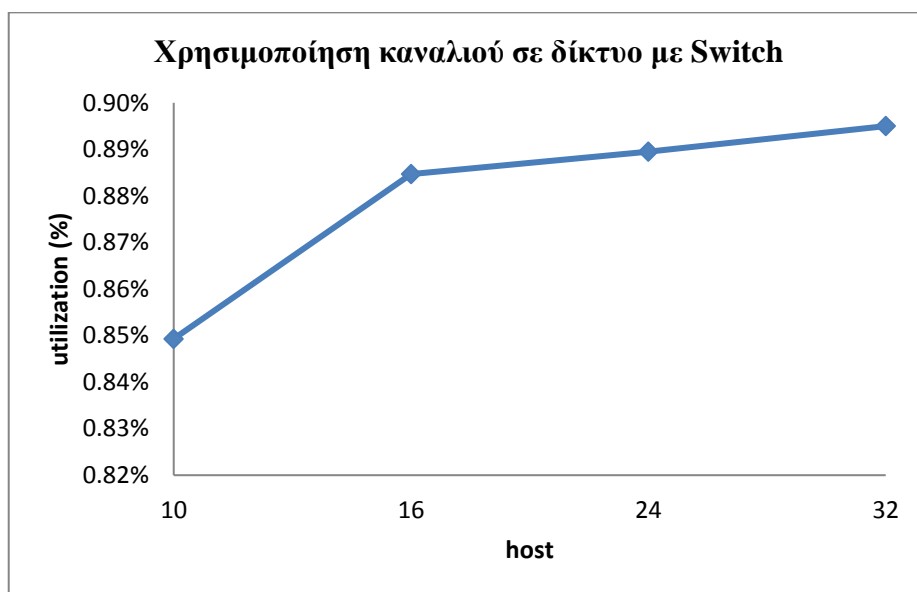
## Χρησιμοποίηση του καναλιού

Για τη συγκεκριμένη μελέτη θεωρούμε ότι οι σταθμοί μεταδίδουν με ρυθμό 100Mbps δηλαδή κάθε σταθμός μεταδίδει κάθε 0,01s. Όπως παρατηρούμε και από τα αποτελέσματα

που απεικονίζονται στον Πίνακα 5 και στην Εικόνα 29 το Utilization του καναλιού είναι η επί τοις εκατό χρησιμοποίηση του συνολικού bandwidth του συστήματος η οποία είναι καλύτερη όταν ο αριθμός των χρηστών είναι μικρός, και αυτό γιατί τότε έχουμε μικρό σχετικά αριθμό συγκρούσεων. Στο διάγραμμα βλέπουμε ότι η αλλαγή από τους 10 στους 16 χρήστες μας οδηγεί σε μια ανοδική πορεία της χρήσης του καναλιού. Αντίθετα όταν αυξάνουμε τους χρήστες από τους 16 στους 24 ή στην καλύτερη περίπτωση στους 32 η αύξηση υπάρχει αλλά δεν είναι στον ίδιο βαθμό που σημαίνει ότι όσους περισσότερους χρήστες έχουμε τόσο λιγότερη είναι και η χρήση του καναλιού διότι υπάρχει υπερφόρτωση και η απόδοσή του μειώνεται ή σταθεροποιείται σε ένα συγκεκριμένο ρυθμό.

Host	Utilization (%)
10	0,85
16	0,88
24	0,89
32	0,895

**Πίνακας 5: Αποτελέσματα χρησιμοποίησης καναλιού σε δίκτυο με switch 10,16,24 και 32 σταθμών αντίστοιχα**



**Εικόνα 29: Διάγραμμα χρησιμοποίησης καναλιού σε δίκτυο με Switch**

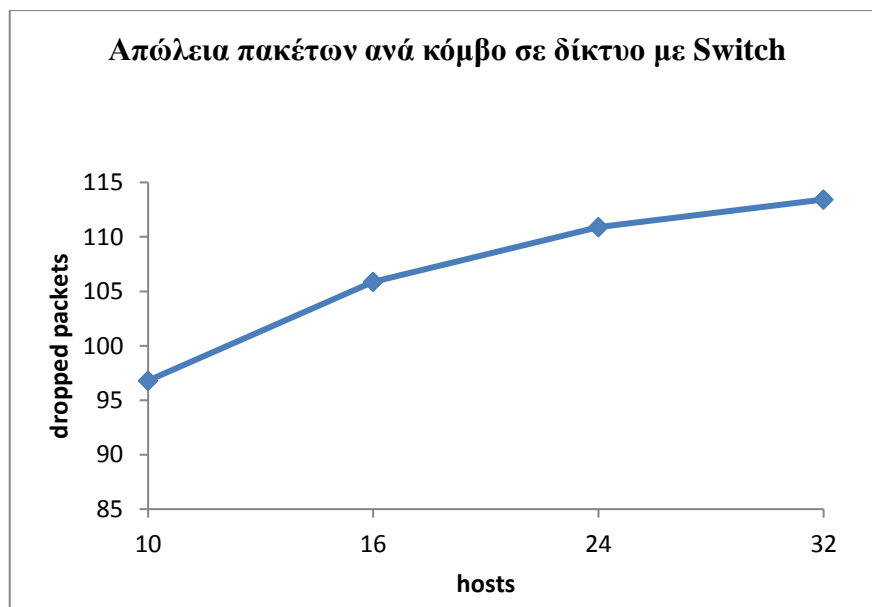
### **Απώλεια πακέτων**

Όπως διαπιστώνουμε ο αριθμός των απωλειών αυξάνεται σημαντικά καθώς αυξάνεται ο αριθμός των σταθμών. Τα πακέτα χάνονται εξαιτίας των συγκρούσεων. Στον Πίνακα 6 συνοψίζονται τα αποτελέσματα της απώλειας πακέτων και στην Εικόνα 30 απεικονίζονται γραφικά. Στο διάγραμμα παρατηρούμε ότι όσο αυξάνεται ο αριθμός των χρηστών τόσο περισσότερα πακέτα χάνονται. Όπως βλέπουμε για παράδειγμα όταν έχουμε 10 χρήστες στο δίκτυο μας τα πακέτα που χάνονται είναι περίπου 96 ενώ όταν βάζουμε 32 χρήστες στο δίκτυο μας τότε τα πακέτα που χάνονται φτάνουν τα 113. Αυτό σημαίνει ότι η

προσθήκη 22 σταθμών σε ένα δίκτυο 10 σταθμών αυξάνει την απώλεια των πακέτων κατά 16 περίπου πακέτα. Άρα καταλήγοντας διαπιστώνουμε ότι έχουμε λιγότερες συγκρούσεις σε σχέση με το hub.

Host	Dropped(packet)
10	96,8
16	105,87
24	110,91
32	113,43

**Πίνακας 6: Αποτελέσματα απώλειας πακέτων σε δίκτυο με switch 10,16,24 και 32 σταθμών αντίστοιχα**



**Εικόνα 30: Διάγραμμα απώλειας πακέτων ανά κόμβο σε δίκτυο με Switch**

### 5.2.3 Μελέτη συμπεριφοράς σε δίκτυο με Hub και Switch

Για τη συγκεκριμένη περίπτωση μελέτης μεταβάλλουμε τις ρυθμίσεις στο αρχείο διαμόρφωσης (.ini) του OMNeT++ και δημιουργούμε δύο σενάρια: ένα μικτής τοπολογίας (με hubκαι switch) και ένα που για την διασύνδεση χρησιμοποιούμε μόνο switch.

## Δίκτυο μικτής τοπολογίας

Αρχικά θα θεωρήσουμε ένα δίκτυο μικτής τοπολογίας που ο αριθμός των σταθμών μεταβάλλεται ανάλογα με το υπο-δίκτυο στο οποίο βρισκόμαστε. Για τη φυσική διασύνδεση επιλέξαμε Switch και Hub. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω τόσο το hub όσο και το switch αναπαράγουν τα πλαίσια και τα προωθούν στις θύρες με το δικό τους τρόπο κάθε φορά. Σκοπός της δημιουργίας αυτού του δικτύου είναι να εξετάσουμε το μέγεθος του προβλήματος σχετικά με τις συγκρούσεις αλλά και τις επιπτώσεις που έχει στην απόδοση του δικτύου.

Πιο αναλυτικά το δίκτυο μικτής τοπολογίας με χρήση hub και switch περιέχει 3700 υπολογιστές και 400 switch και hub. Το μοντέλο συνδυάζει διάφορες τεχνολογίες μετάδοσης, διάφορα μέσα μετάδοσης και διάφορες συσκευές διασύνδεσης, που συνδέονται διάφοροι κόμβοι (EtherHost). Στην τοπολογία που φαίνεται στην Εικόνα 31 το δίκτυο κορμού αποτελείται από 9 switch.

Μικρότερα LAN διασυνδέονται σε μεταγωγέα backbone. Ανάλογα με το μέγεθος τους τα LAN διακρίνονται σε δίκτυα μικρής, μεσαίας και μεγάλης κλίμακας. Ένα δίκτυο μικρής κλίμακας αποτελείται από ένα hub, κόμβους (EtherHost). Το δίκτυο μεσαίας κλίμακας αποτελείται από switch και hub και κόμβους που συνδέονται σε αυτό. Και τέλος ένα δίκτυο μεγάλης κλίμακας αποτελείται από hub, switch και κόμβους. Τα switch μπορεί να συνδέονται με καλώδιο χαλκού και σχηματίζουν το δίκτυο κορμού.

Το EtherHost περιλαμβάνει μια θύρα Ethernet η οποία επιτρέπει την επικοινωνία με το δίκτυο Ethernet. Αυτό το μοντέλο υποδοχής δεν περιέχει πρωτόκολλα υψηλού επιπέδου (IP, TCP). Στο αρχείο διαμόρφωσης ρυθμίζεται η χρήση ημιαμφίδρομης επικοινωνίας MAC (CSMA/CD). Επίσης περιλαμβάνει το LLC υπο-επίπεδο και το MAC υπο-επίπεδο του επιπέδου OSI που βρίσκεται στο δεύτερο επίπεδο εφαρμογής καθώς επίσης και μια ουρά. Η ουρά δίνει στα πλαίσια PAUSE υψηλότερη προτεραιότητα και μπορεί να παραμετροποιηθεί για την εξυπηρέτηση και άλλων πλαισίων.

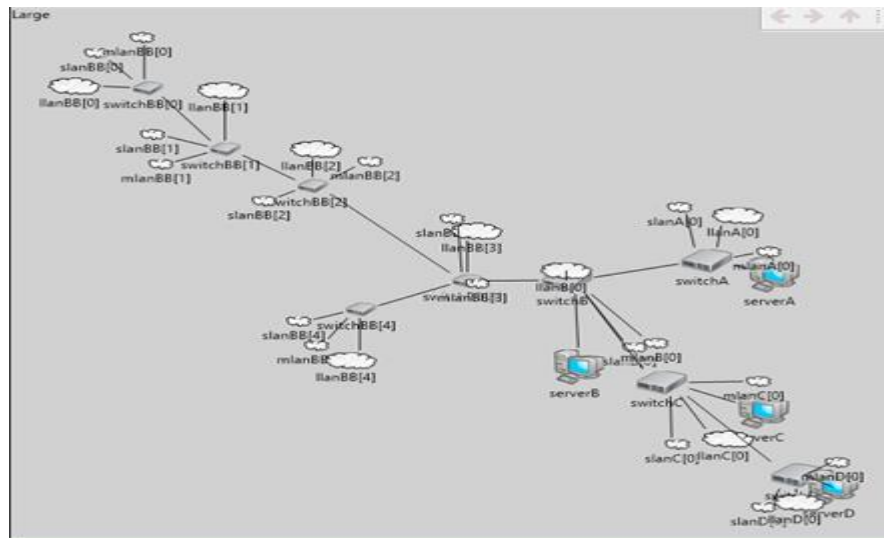
Το EtherHub αποτελεί ένα γενικό μοντέλο κόμβου καλωδίωσης. Οι πύλες ethg[i] αντιπροσωπεύουν τις θύρες. Τα μηνύματα που φτάνουν σε μια θύρα μεταδίδονται σε κάθε άλλη θύρα. Για να λειτουργήσει σωστά όμως θα πρέπει να έχουν και τον ίδιο ρυθμό μετάδοσης.

Επιτρέπεται η δυναμική αποσύνδεση/επανασύνδεση των θυρών του hub, αλλά και η αλλαγή του μεγέθους του ethg[] για προσθήκη ή αφαίρεση θυρών. Ωστόσο το μοντέλο ελέγχει μόνο την ισοδυναμία των δεδομένων εισόδου/εξόδου κατά την εκκίνηση.

Επίσης στο δίκτυο υπάρχουν 4 servers: serverA, serverB, serverC, serverD που ο καθένας συνδέεται σε έναν μεταγωγέα του δικτύου. Οι κόμβοι εκτελούν μια εφαρμογή πελάτη και επιλέγουν για την επικοινωνία τους έναν από τους servers.

Ο φόρτος του δικτύου καθορίζεται από την συχνότητα των αιτημάτων για μετάδοση, και υποθέτουμε ότι αυτά ακολουθούν μια εκθετική κατανομή με μέσο όρο 2 αιτήματα ανά

δευτερόλεπτο. Τα 2 αιτήματα/sec μερικές φορές έχουν ως αποτέλεσμα την υπερφόρτωση των μεταγωγών (κορμού) και είναι η αιτία απώλειας πλαισίων.



**Εικόνα 31: Τοπικό δίκτυο μικτής τοπολογίας με χρήση Hub και switch για κάθε server**

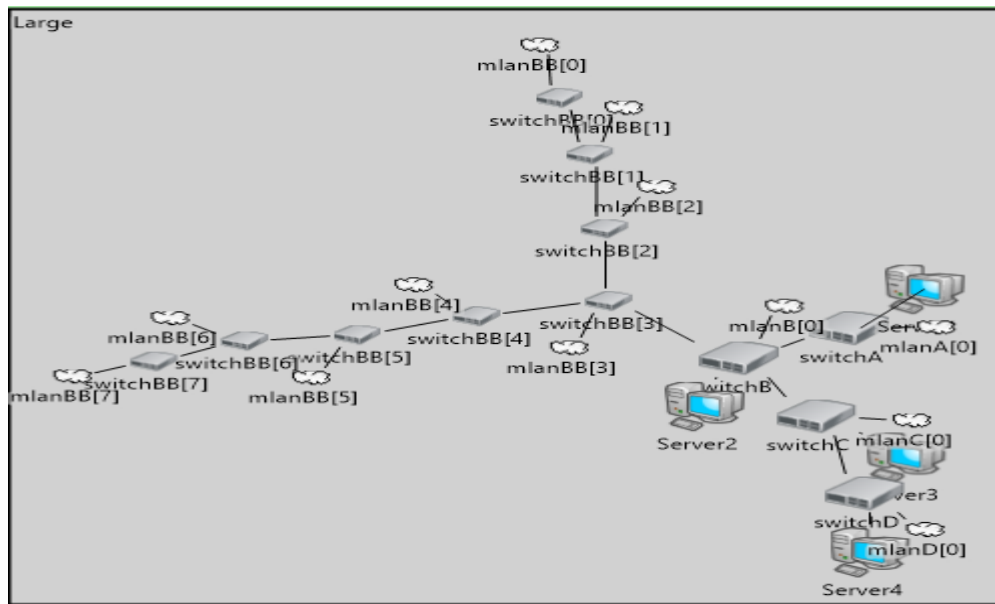
### Δίκτυο μόνο με switch

Για το δίκτυο αυτό θεωρούμε ως συσκευές διασύνδεσης μόνο switch. Στόχος της δημιουργίας και σε αυτό το δίκτυο είναι να εξετάσουμε το μέγεθος του προβλήματος σχετικά με τις συγκρούσεις αλλά και τις επιπτώσεις που έχει στην απόδοση του δικτύου αν χρησιμοποιούμε μόνο switch. Για παράδειγμα αν υπάρχει καθυστέρηση στους servers του δικτύου και αν η απώλεια των πακέτων είναι υπολογίσιμη.

Πιο αναλυτικά το δίκτυο με χρήση μόνο switch περιέχει 5000 υπολογιστές και 560 switch. Η τοπολογία του δικτύου φαίνεται στην Εικόνα 32 και υπάρχει μια αλυσίδα από 12 switch που αποτελούν το δίκτυο του κορμού.

Στη συνέχεια υπάρχουν και LAN μεσαίας κλίμακας. Στο δίκτυο υπάρχουν ακόμα 4 servers: Server1, Server2, Server3 και Server4 που ο καθένας συνδέεται σε ένα μεταγωγέα.

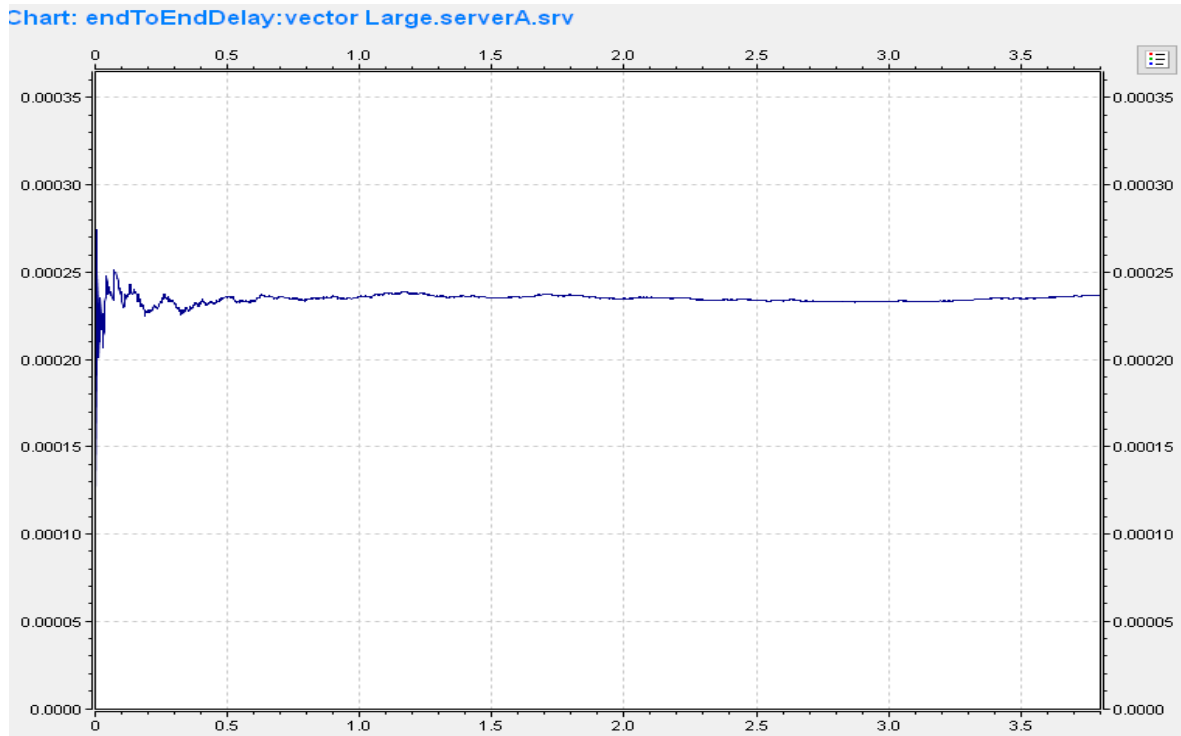
Δημιουργούμε τα δίκτυα με τη χρήση του OMNeT++ και του INET και συλλέγουμε στατιστικά στοιχεία για την καθυστέρηση στους servers του δικτύου καθώς επίσης και τα πακέτα που χάνονται διότι δεν βρίσκουν τον προορισμό τους.



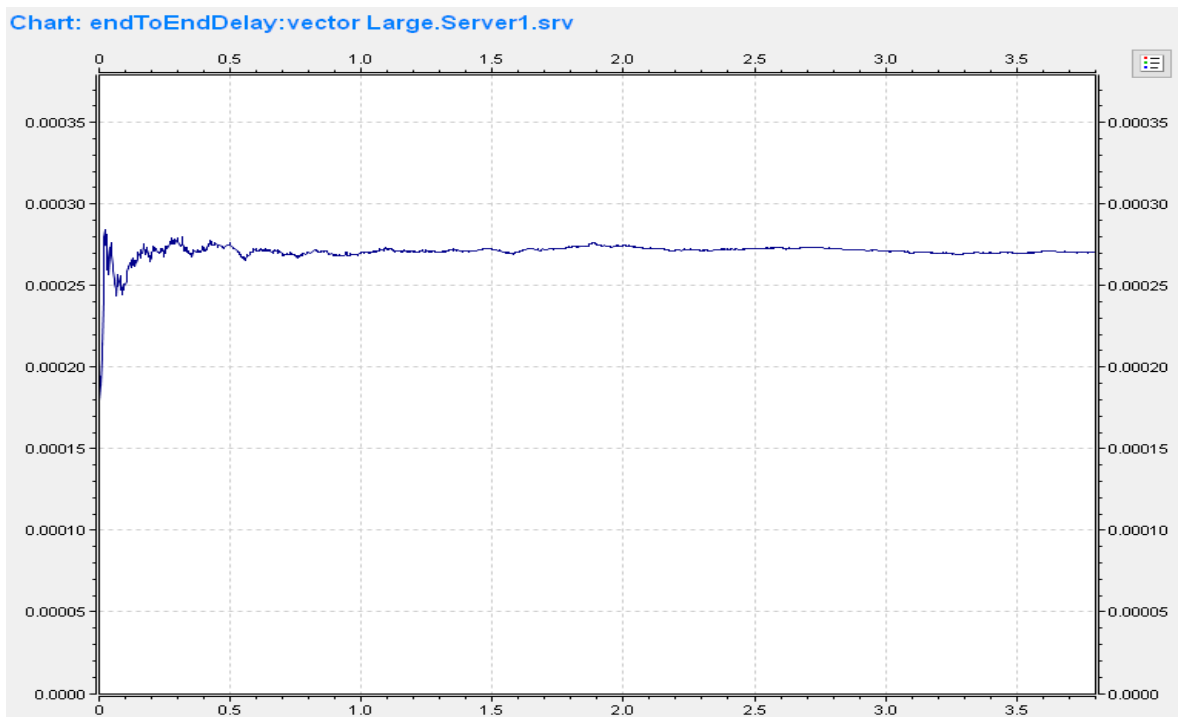
**Εικόνα 32: Τοπικό Large δίκτυο με χρήση Switch σχετικά με κάθε server**

### Καθυστέρηση

Ως καθυστέρηση και σε αυτή τη περίπτωση ορίζεται ο συνολικός χρόνος που απαιτείται για να μεταδοθεί ένα πλαίσιο από ένα σταθμό σε ένα άλλο σταθμό μέσα στο δίκτυο. Στην Εικόνα 33 και στην Εικόνα 34 αντίστοιχα απεικονίζεται γραφικά η καθυστέρηση για κάθε δίκτυο που δημιουργήσαμε. Η καθυστέρηση μετριέται σε sec. Στην Εικόνα 33 και στο δίκτυο μικτής τοπολογίας παρατηρούμε ότι στα πρώτα sec η καθυστέρηση στους κόμβους έχει κάποιες διακυμάνσεις έως ότου αρχίσει να σταθεροποιείται στα 2,4ms με τη πάροδο του χρόνου. Η γραφική παράσταση που βλέπουμε στην εικόνα αντιστοιχεί στον serverA, ο οποίος είναι και ο μόνος που έχει καθυστέρηση για τη συγκεκριμένη περίπτωση. Τέλος βλέπουμε και την καθυστέρηση στο δίκτυο που χρησιμοποιήσαμε μόνο switch για να μπορέσουμε να καταλάβουμε αν υπάρχει διαφορά στα δυο δίκτυα. Στην Εικόνα 34 παρατηρούμε ότι η καθυστέρηση μετριέται σε σχέση με το χρόνο δηλαδή έχει μονάδα μέτρησης τα sec. Και εδώ παρατηρούμε ότι μόνο ένας server έχει καθυστέρηση και αυτός είναι ο serverA. Και σε αυτό το δίκτυο βλέπουμε ότι στα πρώτα sec η καθυστέρηση αυξομειώνεται με συγκεκριμένο ρυθμό και έπειτα αρχίζει να σταθεροποιείται στα 2,7ms μέχρι να επέλθει το τέλος της προσομοίωσης.



**Εικόνα 33: Διάγραμμα καθυστέρησης στο δίκτυο με χρήση Hub και Switch για κάθε server**

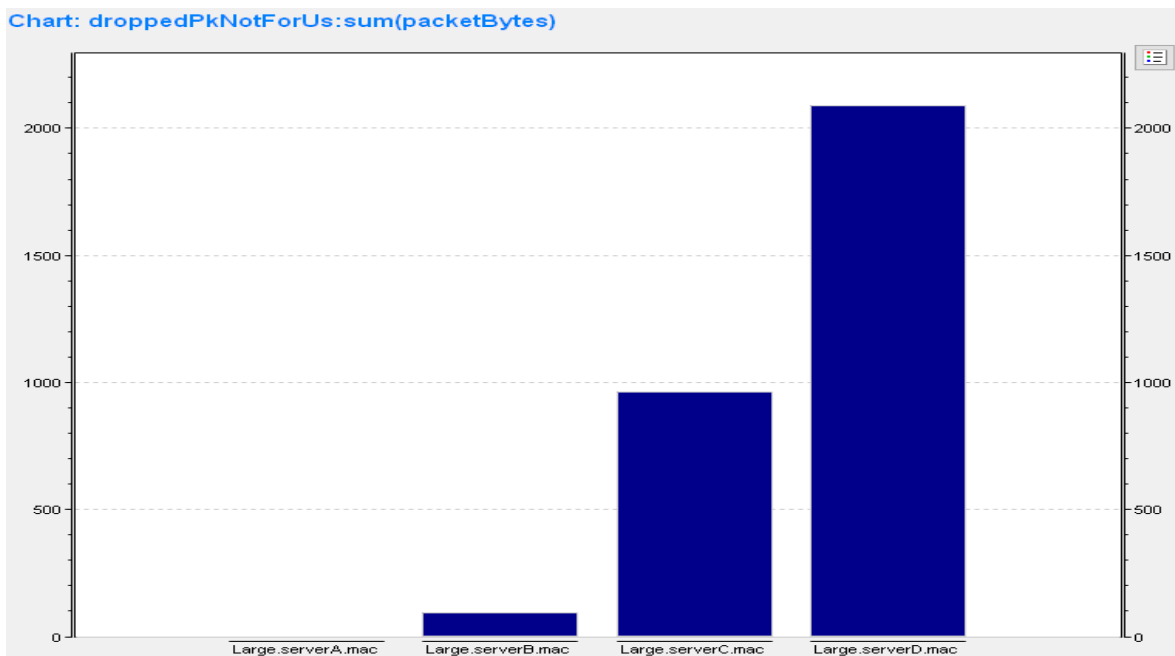


**Εικόνα 34: Διάγραμμα καθυστέρησης σε τοπικό δίκτυο Large με χρήση Switch για κάθε server του δικτύου**



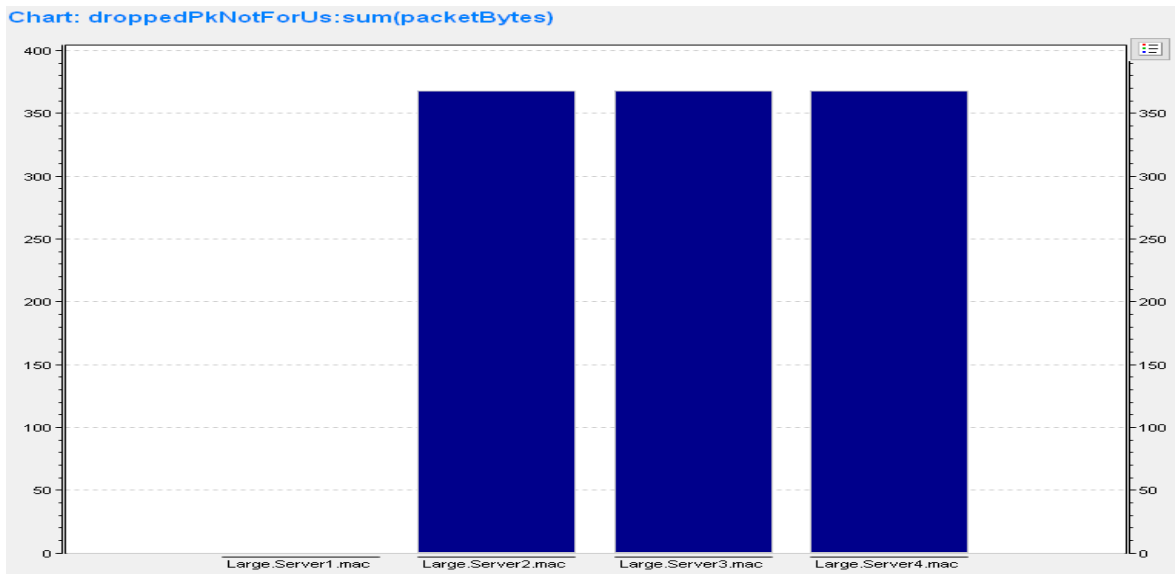
## Απώλεια πακέτων

Όπως διαπιστώνουμε, ο αριθμός των απωλειών είναι σημαντικός στα δυο δίκτυα καθώς έχουμε μεγάλο αριθμό σταθμών. Στο συγκεκριμένο δίκτυο μετράμε τα πακέτα που δεν έχουν καταφέρει να εντοπίσουν τον προορισμό τους. Πρώτα βλέπουμε στην Εικόνα 35 που αφορά το δίκτυο μικτής τοπολογίας ότι ο server A δεν έχει καθόλου απώλειες πακέτων. Από την άλλη ο ServerD έχει τις μεγαλύτερες απώλειες σε πακέτα που δεν βρίσκουν τον προορισμό τους και ακολουθεί ο serverC με λιγότερες και έπειτα ο serverB με πιο λίγες ακόμα.



Εικόνα 35: Διάγραμμα απώλειας πακέτων στο δίκτυο με Hub και Switch για κάθε server (serverA, serverB, serverC, serverD)

Στη συνέχεια θα δούμε τα πακέτα που δεν βρίσκουν προορισμό από το δίκτυο με μόνη συσκευή διασύνδεσης το switch. Εδώ παρατηρούμε ότι ο Server A δεν έχει απώλειες πακέτων και οι άλλοι τρεις servers (Server1, Server2, Server3) έχουν απώλειες και μάλιστα ίδιας τάξης.



Εικόνα 36: Διάγραμμα απώλειας πακέτων στο δίκτυο με Switch για κάθε server

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στα πλαίσια αυτής της εργασίας μελετήσαμε τα δίκτυα Ethernet που βασίζονται στο πρότυπο IEEE 802.3. Η τεχνολογία αυτή είναι ευρέως αποδεκτή και χρησιμοποιείται στην υλοποίηση των σημερινών δικτύων για περιορισμένη γεωγραφική έκταση (π.χ. γραφεία, οργανισμούς, συγκρότημα κτιρίων). Πρόκειται για μια τεχνολογία που επιτρέπει την διαλειτουργικότητα διαφορετικών συσκευών και μέσων μετάδοσης ενώ παράλληλα η χρήση της έχει χαμηλό κόστος, είναι αποδοτική, ενώ επιτρέπει τη μετάβαση σε δίκτυα με υψηλότερες ταχύτητες.

Σε αυτή την εργασία, για να διερευνήσουμε και να αναλύσουμε την απόδοση δικτύων Ethernet, χρησιμοποιήσαμε το πλαίσιο προσομοίωσης OMNeT++ και το εργαλείο INET. Συγκεκριμένα εξετάσαμε τη συμπεριφορά του δικτύου με συσκευές διασύνδεσης hub, switch ή και συνδυαστικά.

Όπως διαπιστώσαμε από την πειραματική μελέτη, τα hubs εισάγουν μεγαλύτερη καθυστέρηση σε σχέση με τα switch. Επίσης η απώλεια των πακέτων είναι μεγαλύτερη ενώ χρησιμοποιούν περισσότερο από το εύρος του καναλιού. Τα αποτελέσματα αυτά συνάδουν με τα θεωρητικά αποτελέσματα καθώς μια συσκευή hub αναπαράγει και προωθεί τα πακέτα σε όλες τις εξόδους της με αποτέλεσμα να συμβαίνουν συγκρούσεις.

Επιπλέον, από την πειραματική μελέτη διαπιστώσαμε, ότι ο αριθμός των χρηστών, επηρεάζει την απόδοση του δικτύου: όσο αυξάνονται οι χρήστες τόσο αυξάνονται οι καθυστερήσεις αλλά και οι απώλειες λόγω συγκρούσεων.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Avallone, E. A., I. T. Baumeister, and Ali Sadegh. *Marks' Standard Handbook for Mechanical Engineers. 10.* New York: McGraw-Hill, 2006
2. Bruhn, Manfred, and Dominck Georgi. *Services marketing: Managing the service value chain.* Pearson Education, 2006.
3. L. Peterson and B. S. Davie, "Δίκτυα Υπολογιστών: Μια προσέγγιση από τη σκοπιά των συστημάτων", 4η Αμερικανική έκδοση, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, 2009.
4. OMNeT++, *Installation Guide*, Andras Varga 2014, ανάκτηση στις 20/03/2017 από <https://omnetpp.org/doc/omnetpp/InstallGuide.pdf>
5. Pioper, B. "Internetworking Technology Overview." (1999).
6. Rodriguez, Adolfo, et al. *TCP/IP Tutorial and Technical overview.* Saddle River, New Jersey: Prentice Hall, 2002.
7. Ryyänänen, Jussi. "Routed End-to-End Ethernet Network Proof of Concept." *Master's thesis, Aalto University School of Science and Technology, Department of Communications and Networking, Espoo (2008).*
8. Simmons, Michael. "Ethernet theory of operation." *Microchip Technology Inc., Application Note AN1120 (2008).*
9. Stallings, William, and Mounita Mitra Manna. *Data and computer communications. Vol. 6.* Englewood Cliffs, NJ: Prentice hall, 1997.
10. Tanenbaum, Andrew S. "Computer networks, 4-th edition." ed: Prentice Hall (2003).
11. Varga, Andras. "Omnet++ user manual." *OMNeT++ Discrete Event Simulation System. Available at: <http://www.omnetpp.org/doc/manual/usman.html> (2010).*
12. Μαδεμλής Ιωάννης, *Σημειώσεις Δίκτυα Υπολογιστών I, ΤΕΙ Σερρών*
13. Μαργαρίτη Σπυριδούλα / Στεργίου Ελευθέριος, "Τοπικά & Αστικά Δίκτυα (Lan-Man)", *Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών, 2007*
14. Πομπόρτσος, Α. "Εισαγωγή στις νέες τεχνολογίες επικοινωνιών." *Εκδόσεις Τζιόλα. Θεσσαλονίκη (1997).*
15. Ρίζος Ε. Γεώργιος, *Σημειώσεις Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα, ΤΕΙ Ηπείρου, (2016)*
16. Στεργίου Ελευθέριος, *Σημειώσεις Δίκτυα Υψηλών Ταχυτήτων, ΤΕΙ Ηπείρου, (2010)*



