



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΒΙΟΙΑΤΡΙΚΗ

``Προσωπικά, τοπικά, μητροπολιτικά και ευρείας
εμβέλειας δίκτυα Η/Υ: Αρχιτεκτονική, εξέλιξη και
εφαρμογές σε συστήματα τηλεπικοινωνιών``

ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ ΚΑΝΔΗΛΑΡΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
Επιβλέπων
Dr ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΦΟΥΡΛΑΣ

Λαμία, 2017



UNIVERSITY OF THESSALY

SCHOOL OF SCIENCE

INFORMATICS AND COMPUTATIONAL BIOMEDICINE

**` Personal, Local, Metropolitan and Broadband
Computer Networks: Architecture, Development
and Applications in Telecommunication Systems ` `**

ANASTASIOS KANDILARIS

Master thesis

Dr GEORGIOS FOURLAS

Lamia 2017



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΒΙΟΙΑΤΡΙΚΗ
ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ**

**«ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗΝ ΑΣΦΑΛΕΙΑ, ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ
ΜΕΓΑΛΟΥ ΟΓΚΟΥ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ»**

ΎΠροσωπικά, τοπικά, μητροπολιτικά και ευρείας
εμβέλειας δίκτυα Η/Υ: Αρχιτεκτονική, εξέλιξη και
εφαρμογές σε συστήματα τηλεπικοινωνιών

ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ ΚΑΝΔΗΛΑΡΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Επιβλέπων
Dr ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΦΟΥΡΛΑΣ**

Λαμία, 2017

«Υπεύθυνη Δήλωση μη λογοκλοπής και ανάληψης προσωπικής ευθύνης»

Με πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων, και γνωρίζοντας τις συνέπειες της λογοκλοπής, δηλώνω υπεύθυνα και ενυπογράφως ότι η παρούσα εργασία με τίτλο [«τίτλος εργασίας»] αποτελεί προϊόν αυστηρά προσωπικής εργασίας και όλες οι πηγές από τις οποίες χρησιμοποίησα δεδομένα, ιδέες, φράσεις, προτάσεις ή λέξεις, είτε επακριβώς (όπως υπάρχουν στο πρωτότυπο ή μεταφρασμένες) είτε με παράφραση, έχουν δηλωθεί κατάλληλα και ευδιάκριτα στο κείμενο με την κατάλληλη παραπομπή και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή. Αναλαμβάνω πλήρως, ατομικά και προσωπικά, όλες τις νομικές και διοικητικές συνέπειες που δύναται να προκύψουν στην περίπτωση κατά την οποία αποδειχθεί, διαχρονικά, ότι η εργασία αυτή ή τμήμα της δεν μου ανήκει διότι είναι προϊόν λογοκλοπής.

Ο ΔΗΛΩΝ

Ημερομηνία

Υπογραφή

``Προσωπικά, τοπικά, μητροπολιτικά και ευρείας
εμβέλειας δίκτυα Η/Υ: Αρχιτεκτονική, εξέλιξη και
εφαρμογές σε συστήματα τηλεπικοινωνιών``

ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ ΚΑΝΔΗΛΑΡΗΣ

Τριμελής Επιτροπή:

ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΦΟΥΡΛΑΣ, (επιβλέπων)

ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΣΤΑΜΟΥΛΗΣ

ΘΑΝΑΣΗΣ ΛΟΥΚΟΠΟΥΛΟΣ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Διπλωματική Εργασία:

``Προσωπικά, τοπικά, μητροπολιτικά και ευρείας
εμβέλειας δίκτυα Η/Υ: Αρχιτεκτονική, εξέλιξη και
εφαρμογές σε συστήματα τηλεπικοινωνιών``

Νοέμβριος 2017

Όνοματεπώνυμο φοιτητή: Αναστάσιος Κανδηλάρης

Επιβλέπων καθηγητής: Dr Γεώργιος Φούρλας

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Σχήματα, γραφήματα και πίνακες	4
Περίληψη εργασίας	7
Abstract	8
Κεφάλαιο 1	9
Εισαγωγή και βασικές έννοιες Δικτύων Υπολογιστών	9
1.1 Ορισμός δικτύου υπολογιστών	9
1.2 Διασύνδεση δικτύου υπολογιστών	12
1.3 Το μοντέλο του OSI	16
1.4 Ασύρματα δίκτυα υπολογιστών	19
Κεφάλαιο 2	24
Βασικά στοιχεία μετάδοσης στις επικοινωνίες Δικτύων	24
2.1 Γενικά	24
2.2 Μετάδοση δεδομένων	26
2.3 Πλάτος και περιοδικότητα σημάτων	27
2.4 Οι επικοινωνίες δεδομένων στο Διαδίκτυο	30
Κεφάλαιο 3	32
Δίκτυα μεγάλης γεωγραφικής έκτασης: ευρείας περιοχής και μητροπολιτικά	32
3.1 Η ανάγκη για την κάλυψη μεγάλων περιοχών	32
3.2 Οι τεχνικές απαιτήσεις στα ευρεία και μητροπολιτικά δίκτυα	35
3.3 Τα δίκτυα ευρείας περιοχής	37
3.4 Τα μητροπολιτικά δίκτυα	39

3.5 Τεχνολογίες σύνδεσης και πρόσβασης	42
3.6 Τα πρωτόκολλα πρόσβασης	45
Κεφάλαιο 4	59
Προσωπικά και τοπικά δίκτυα επικοινωνιών	59
4.1 Επισκόπηση	59
4.2 Ασύρματα δίκτυα 802.11x	61
4.3 Ασύρματα Δίκτυα Τοπικής Εμβέλειας (WLANs)	63
4.4 Ασύρματα Δίκτυα Προσωπικής Εμβέλειας (WPANs)	66
4.5 Η τεχνολογία του πρότυπου Bluetooth	68
Κεφάλαιο 5	70
Γενικά συμπεράσματα	70
5.1 Απόδοση δικτύου υπολογιστών	70
5.2 Πρακτικά μειονεκτήματα δικτύων	71
Βιβλιογραφία (References)	74

ΣΧΗΜΑΤΑ, ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ & ΠΙΝΑΚΕΣ

Σχήμα 1: Δίκτυο υπολογιστών με τρεις βασικές συνδεσμολογίες	9
Σχήμα 2: Παράδειγμα δικτύωσης και τεχνολογίας ενός απλού δικτύου	10
Σχήμα 3: Αναπαράσταση κοινωνικού δικτύου σε σχολείο	12
Σχήμα 4: Το μοντέλο πελάτη-εξυπηρετητή	13
Σχήμα 5: Διάδοση σημάτων και πακέτων σε ένα δίκτυο	15
Σχήμα 6: Επικοινωνία χρηστών σε πολλαπλά δίκτυα	15
Σχήμα 7: Η συνεργασία των διαφόρων επιπέδων στο μοντέλο OSI	18
Σχήμα 8: Παράδειγμα πρωτοκόλλων σε κάθε επίπεδο	18
Σχήμα 9: Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα	20
Σχήμα 10: Παράδειγμα ενός ολοκληρωμένου δικτύου	21
Σχήμα 11: Περιοχή ακτινοβολίας κεραίας κατευθυντικού τύπου	23
Σχήμα 12: Αύξηση στο εύρος ζώνης την περίοδο 1983-2013	25
Σχήμα 13: Σχέση πρωτοκόλλων ανά επίπεδο	26
Σχήμα 14: Τα στάδια του σήματος στην επικοινωνία δικτύων	26
Σχήμα 15: Συνεχές και διακριτό σήμα	28
Σχήμα 16: Γραφική παράσταση τριών σημάτων με τις αντίστοιχες συνιστώσες	29
Πίνακας 1: Αριθμός συνδρομητών την δεκαετία 2005-2015	30
Σχήμα 17: Τοπικά και μητροπολιτικά δίκτυα επικοινωνιών σε ευρεία πρόσβαση	33
Πίνακας 2: Τύποι αρχείων, χρόνος λήψης και ταχύτητα σύνδεσης	34
Σχήμα 18: Πρόσβαση ταχυτήτων ADSL και VDSL	35
Σχήμα 19: Παράδειγμα επί μέρους στοιχείων ενός μητροπολιτικού δικτύου	37

Σχήμα 20: Απλή αναπαράσταση ενός δικτύου ευρείας περιοχής	38
Σχήμα 21: Αναπαράσταση μητροπολιτικού δικτύου με ATM και SONET/SDH	39
Σχήμα 22: Αναπαράσταση μητροπολιτικού δικτύου με IP over DWDM	40
Σχήμα 23: Η επέκταση του μητροπολιτικού δικτύου της Σπάρτης	41
Σχήμα 24: Οι κόμβοι του μητροπολιτικού δικτύου της Σπάρτης	41
Σχήμα 25: Δίκτυο κορμού και επί μέρους δίκτυα	42
Σχήμα 26: Περίπτωση δικτύου που συνδέει μικρότερα δίκτυα επικοινωνιών	43
Σχήμα 27: Η εξέλιξη στα ασύρματα δίκτυα επικοινωνιών	45
Σχήμα 28: Το πλαίσιο SDH βασικού τύπου STM-1	46
Σχήμα 29: Η δομή του πλαισίου SDH	47
Πίνακας 3: Εύρος ζώνης στο SONET/SDH	48
Πίνακας 4: Τύποι Gigabit Ethernet	49
Σχήμα 30: Τιμή/απόδοση ενός δικτύου 10 GbE σε σχέση με SONET/SDH	50
Σχήμα 31: Κάρτα δικτύου 1000 BASE-T	51
Σχήμα 32: Σχηματική αναπαράσταση βασικού Gigabit Ethernet	53
Σχήμα 33: Δομή πλαισίου User-network interface για ATM επικοινωνίες	55
Σχήμα 34: Παράδειγμα επικοινωνίας συστημάτων ATM	56
Σχήμα 35: Παράδειγμα σύνδεσης με πρωτόκολλο Διαδικτύου (IP)	57
Πίνακας 5: Τα βασικότερα top-level domain	58
Σχήμα 36: Τοπικό ενσύρματο δίκτυο Ethernet	60
Σχήμα 37: Συσκευή με πομπό και δέκτη Bluetooth	61
Πίνακας 6: Το πακέτο πρότυπων του IEEE 802.11	61

Σχήμα 38: Εύρος ζώνης καναλιών στο πρότυπο IEEE 802.11b	62
Σχήμα 39: Βασική και πολλαπλή πρόσβαση WLAN	64
Σχήμα 40: Εγκατάσταση για πρόσβαση μέσω WLAN	65
Σχήμα 41: Πρότυπα IEEE 802 και ομάδες εργασιών 802.15	66
Σχήμα 42: Περιοχές εμβέλειας με piconet σε ένα WPAN	67
Πίνακας 7: Τεχνικά χαρακτηριστικά Bluetooth και IEEE 802.15x	68

ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Τα δίκτυα υπολογιστών (Computer Networks) είναι τεχνολογικές εγκαταστάσεις που συνδέουν τους χρήστες και ένα πλήθος συσκευών μεταξύ τους. Η τεχνολογία επικοινωνιών (Communication Technology) αποτελεί βασικό επιστημονικό πεδίο των Ηλεκτρονικών Μηχανικών, της Πληροφορικής και της Επιστήμης Υπολογιστών. Η παρούσα εργασία μελετά τις βασικές έννοιες των δικτύων υπολογιστών και περιγράφει τις τεχνολογίες επικοινωνιών στις υπάρχουσες γεωγραφικές εμβέλειες και συγκεκριμένα στα προσωπικά δίκτυα ή Personal Area Networks (PANs), στα δίκτυα τοπικής εμβέλειας ή Local Area Networks (LANs), στα μητροπολιτικά δίκτυα ή Metropolitan Area Networks (MANs) καθώς και στα δίκτυα ευρείας περιοχής ή Wide Area Networks (WANs). Η διπλωματική περιλαμβάνει θεμελιώδεις έννοιες των δικτύων υπολογιστών, θέματα σχεδιασμού, μαθηματικές και φυσικές ιδιότητες αυτών, καθώς και μια ολοκληρωμένη παρουσίαση της αρχιτεκτονικής τους στα διάφορα επίπεδα. Παρατίθενται, επίσης, κάποιες τεχνικές προδιαγραφές καθώς και πλήρης μελέτη και ανάλυση του κάθε είδους δικτύου.

ABSTRACT

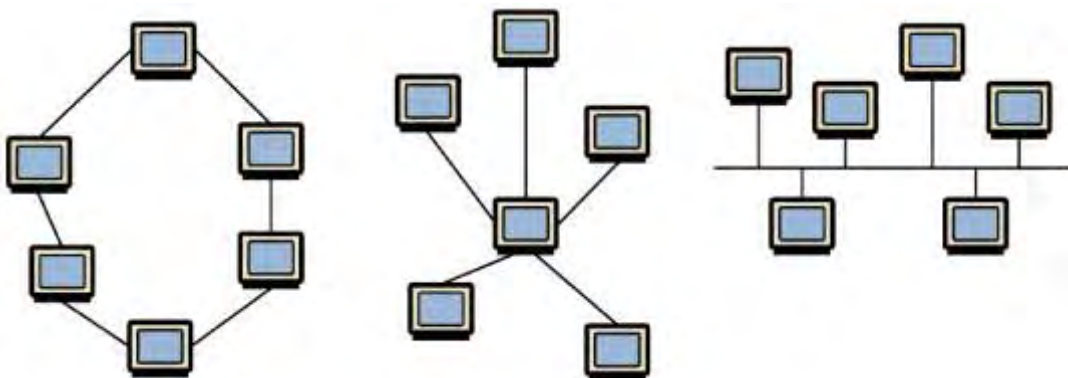
Computer networks are infrastructures that connect devices and users to support a wide range of modern applications. Networking technology has become a major field in Electronic Engineering, Information Theory and Computer Science, while the hardware equipment is spanning across small and wide areas. This project outlines the basics of computer networks and provides a thorough description of communication technologies at different geographical levels and specifically in Personal Area Networks (PANs), Local Area Networks (LANs), Metropolitan Area Networks (MANs) and Wide Area Networks (WANs). The structure of this dissertation includes definitions of elementary networking principles, design issues, physical and mathematical properties, as well as a complete understanding of their architecture. Some technical specifications are presented and a further analysis of each networking type is described.

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή και βασικές έννοιες Δικτύων Υπολογιστών

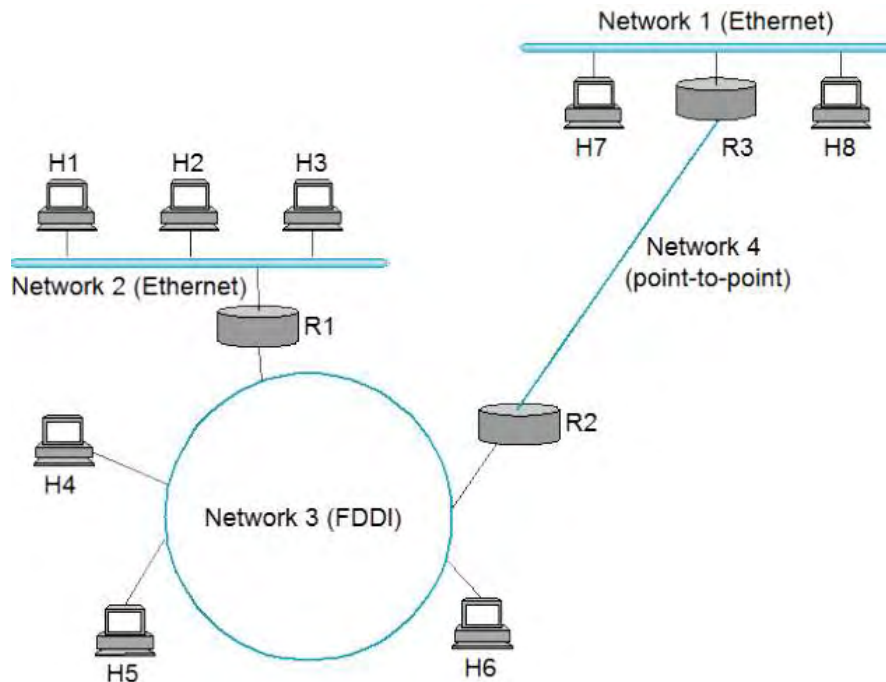
1.1 Ορισμός δικτύου υπολογιστών

Δίκτυο ηλεκτρονικών υπολογιστών (computer network) είναι ένα δίκτυο που αποτελείται από ηλεκτρονικούς υπολογιστές και διάφορες συσκευές που συνδέονται μεταξύ τους. Γενικά, το δίκτυο υπολογιστών ορίζεται και εναλλακτικά ως το σύστημα επικοινωνίας εκείνο το οποίο είναι ικανό να συνδέσει δύο ή περισσότερες ανεξάρτητες συσκευές που πιθανώς να περιέχουν και περιφερειακά συστήματα, όπως για παράδειγμα πλήρη υπολογιστικά συστήματα, εκτυπωτές, οθόνες, κινητές συσκευές, συστήματα πολυμέσων και άλλες παρόμοιες συσκευές. [1, 2, 3, 4, 5]. Η διασύνδεση του κάθε υπολογιστή με άλλον υπολογιστή ή ομάδα υπολογιστών ή και με άλλες παράπλευρες συσκευές εξαρτάται από το μέσο που υπάρχει μεταξύ τους και είναι ενσύρματης ή ασύρματης φύσεως, π.χ. μέσω καλωδίων ή μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων που διαδίδονται στον αέρα. Παρακάτω φαίνεται το διάγραμμα τριών βασικών δομών συνδεσμολογίας ενός δικτύου υπολογιστών που επικοινωνούν μεταξύ τους και μπορεί να είναι δακτυλίου (ring), αστέρα (star) και διαύλου (bus) αντίστοιχα. Το κύριο μειονέκτημα της συνδεσμολογίας δακτυλίου έναντι των άλλων συνδέσεων είναι ότι αν κάποιος κόμβος βρεθεί εκτός σύνδεσης, τότε η επικοινωνία και των άλλων κόμβων διακόπτεται.



Σχήμα 1: Δίκτυο υπολογιστών με τρεις βασικές συνδεσμολογίες [6]

Όσον αφορά τη διαδικτύωση της συνδεσμολογίας, αυτή μπορεί να είναι πολλών και διαφορετικών τεχνολογιών αναλόγως και το μέσο διάδοσης αλλά και τον ευρύτερο σκοπό, όπως για παράδειγμα το Ethernet και η τεχνολογία Token Ring. Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται μια πιο λεπτομερής σύνδεση διαφόρων τεχνολογιών δικτύων υπολογιστών και τον τρόπο που αυτά διασυνδέονται μεταξύ τους με δρομολογητές (routers).



Σχήμα 2: Παράδειγμα δικτύωσης και τεχνολογίας ενός απλού δικτύου [7]

Η τεχνολογία διαδικτύωσης εξαρτάται επίσης και από τις γεωγραφικές διαστάσεις του δικτύου, οι οποίες αποτελούν καθοριστικό παράγοντα στη επιλογή της τεχνολογίας. Με αυτό το κριτήριο συναντούμε ως επί το πλείστον τέσσερα διαφορετικά είδη εμβέλειας και είναι τα παρακάτω, αρχίζοντας από το πιο μικρό ως προς την γεωγραφική κάλυψη και πηγαίνοντας προς το πιο ευρείας περιοχής.

1) Δίκτυο προσωπικής εμβέλειας: Personal Area Network (PAN):

Αυτά τα δίκτυα μπορούν να υποστηρίξουν πολύ μικρές εμβέλειες, κυρίως μέχρι λίγα μέτρα, και συνήθως προορίζονται για εφαρμογές προσωπικού χαρακτήρα,

όπως ασύρματες συσκευές κινητών τηλεφώνων, μηχανήματα ιατρικής υποστήριξης ατόμων κλπ.

2) Δίκτυο τοπικής εμβέλειας: Local Area Network (LAN):

Τα τοπικά δίκτυα αντιπροσωπεύουν ένα μεγάλο μέρος των εφαρμογών που επιθυμούν συνδέσεις σε κτίρια ή και ομάδες κτιρίων και εγκαταστάσεις επιχειρήσεων. Αφορούν υπολογιστικές συσκευές που έχουν πρόσβαση από ένα κοινό δωμάτιο έως και μια περιοχή που εκτείνεται σε εύρος λίγων χιλιομέτρων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιων συνδέσεων είναι τα πανεπιστήμια.

3) Δίκτυο μητροπολιτικής εμβέλειας: Metropolitan Area Network (MAN):

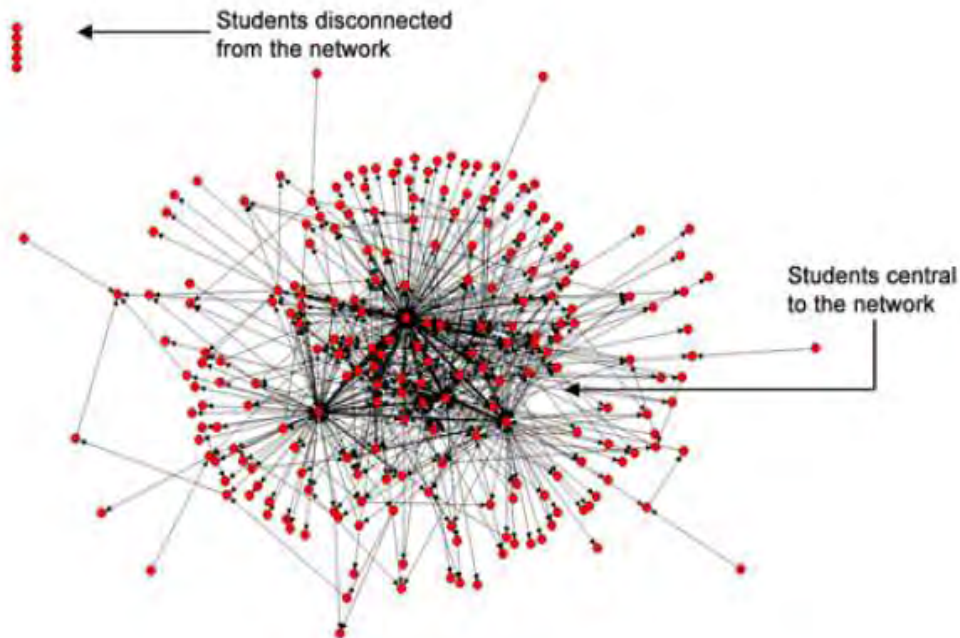
Το μητροπολιτικό δίκτυο επεκτείνεται μέχρι και τα όρια μιας τυπικής πόλεως. Χαρακτηριστικό παράδειγμα μητροπολιτικών συνδέσεων είναι οι οργανισμοί που είναι εγκαταστημένοι στην ίδια πόλη αλλά και τα δημόσια δίκτυα των δήμων και κοινοτήτων.

4) Δίκτυο ευρείας εμβέλειας: Wide Area Network (WAN):

Τέτοια δίκτυα διαθέτουν αρκετά μεγάλη εμβέλεια και είναι προορισμένα για να καλύψουν ανάγκες σε ομάδες πόλεων μέχρι και σε επίπεδο χωρών. Είναι γνωστό ότι τα δίκτυα ευρείας εμβέλειας αφορούν κυρίως παρόχους διαδικτυακών συνδέσεων, δορυφορικές ζεύξεις, δίκτυα τηλεφωνικών συνδέσεων, διασύνδεση τραπεζών και γενικά υποστηρίζουν ανάγκες μέχρι μιας ολόκληρης ηπείρου. Να σημειωθεί ότι τα δίκτυα ευρείας εμβέλειας μπορούν να ενσωματώσουν τα προηγούμενα είδη δικτύων επειδή η μεγάλη περιοχή εξυπηρέτησης που διαθέτουν καλύπτει ούτως ή άλλως όλα τα μικρότερης εμβέλειας. Το μεγαλύτερο δίκτυο υπολογιστών αυτή τη στιγμή σε παγκόσμιο επίπεδο είναι το Διαδίκτυο (Internet) και ορίζεται ως ένα δίκτυο αποτελούμενο από πολλά δίκτυα [1]. Καθώς η λειτουργία και η δομή του Διαδικτύου είναι αρκετά πολύπλοκα θέματα, θα αναλυθούν εκτενώς πιο κάτω σε αντίστοιχο κεφάλαιο.

Συνολικά για όλες τις παραπάνω περιπτώσεις, συναντούμε είδη δικτύων υπολογιστών που είναι περισσότερο ή λιγότερο διαδεδομένα. Πέρα από τις κλασσικές εφαρμογές τους, την τελευταία δεκαετία τα δίκτυα έχουν ευρείες εφαρμογές σε επίπεδο ατομικών επικοινωνιών σε όλο τον πλανήτη. Μια τέτοια περίπτωση που ολοένα και εξελίσσεται είναι η κοινωνική δικτύωση με τα γνωστά μέσα (facebook, LinkedIn, Tweeter κλπ.), με

την πρόσβαση των χρηστών να γίνεται με απομακρυσμένες διαδικασίες. Στη επόμενη εικόνα φαίνεται η σχηματική αναπαράσταση χρηστών που είναι συνδεδεμένοι σε κοινωνικά δίκτυα και μεμονομένων περιπτώσεων που δεν έχουν πρόσβαση, δείχνοντας πλέον αποκομμένοι από το σύνολο.



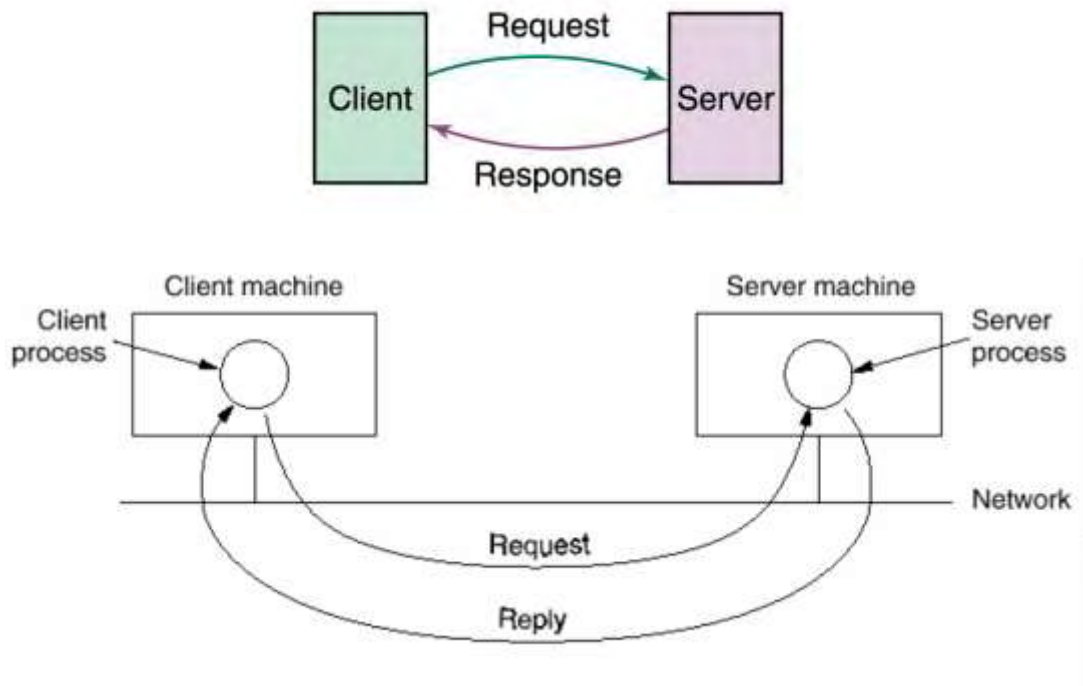
Σχήμα 3: Αναπαράσταση κοινωνικού δικτύου σε σχολείο [8]

1.2 Διασύνδεση δικτύου υπολογιστών

Είναι γνωστό ότι η δομή της επικοινωνίας σε πολλά δίκτυα υπολογιστών έχει ως αρχή λειτουργίας το μοντέλο του πελάτη-εξυπηρετητή (client-server model). Αυτό το μοντέλο έχει ως βασική προϋπόθεση την αμφίδρομη επικοινωνία και περιγράφεται αρχικά από τις διαδικασίες που αφορά την αίτηση του πελάτη προς τον εξυπηρετητή και έπειτα την ανταπόκριση του τελευταίου στο αίτημα του πρώτου. Το πόσο άμεση είναι αυτή η ανταπόκριση εξαρτάται κυρίως από τους επόμενους παράγοντες:

- I. Το μέσο σύνδεσης (διάφοροι τύποι καλωδίων, αέρας)
- II. Την ταχύτητα πρόσβασης (συνήθως σε Mbps ή Gbps)
- III. Το μέγεθος της αίτησης (αρχείου, εφαρμογής) σε Bytes και τα πολλαπλάσια αυτών όπως Megabytes (MB), Gigabytes (GB)

- IV. Άλλους παράγοντες, όπως αξιοπιστία δεδομένων, ποιότητα υπηρεσιών, ασφάλεια δεδομένων από αλλοίωση, αναβάθμιση συστήματος κλπ



Σχήμα 4: Το μοντέλο πελάτη-εξυπηρετητή [6, 9]

Κατά τη διαδικασία της σύνδεσης, επιτυγχάνεται η επικοινωνία μεταξύ των δυο αυτών οντοτήτων που ως σκοπό έχει την ικανοποίηση του αιτήματος του πελάτη μέσα σε ανεκτά χρονικά πλαίσια. Η πρόσβαση του πελάτη στα συστήματα και τις υπηρεσίες του εξυπηρετητή αρχικά ξεκινάει από το φυσικό μέσο που είναι το κατώτατο για να φτάσει τελικά στο μέσο της εφαρμογής, δηλαδή στο πιο υψηλό επίπεδο των υπολογιστικών διαδικασιών. Το φυσικό μέσο είναι τα εξαρτήματα των ηλεκτρονικών πλακετών του υπολογιστή (τρανζίστορ, πυκνωτές, καλώδια κλπ) και το υψηλότερο επίπεδο είναι το τελικό αποτέλεσμα σε οπτική αναπαράσταση με το κατάλληλο λογισμικό (π.χ. περιηγητής Διαδικτύου, εφαρμογές λειτουργικών συστημάτων). Παρόλα αυτά, οι διαδικασίες που συντελούνται τόσο μέσα στον ίδιο τον υπολογιστή ή άλλη συσκευή (για παράδειγμα ένα κινητό τηλέφωνο ή άλλη φορητή συσκευή) όσο και σε όλα τα μέσα διάδοσης (ηλεκτρομαγνητικά κύματα, καλώδια χαλκού ή οπτικών ινών) είναι αρκετά

πολύπλοκες και για αυτό έχουν διααιρεθεί σε επί μέρους επτά ``στρώματα`` ως εξής, αντιπροσωπεύοντας το μοντέλο του OSI:

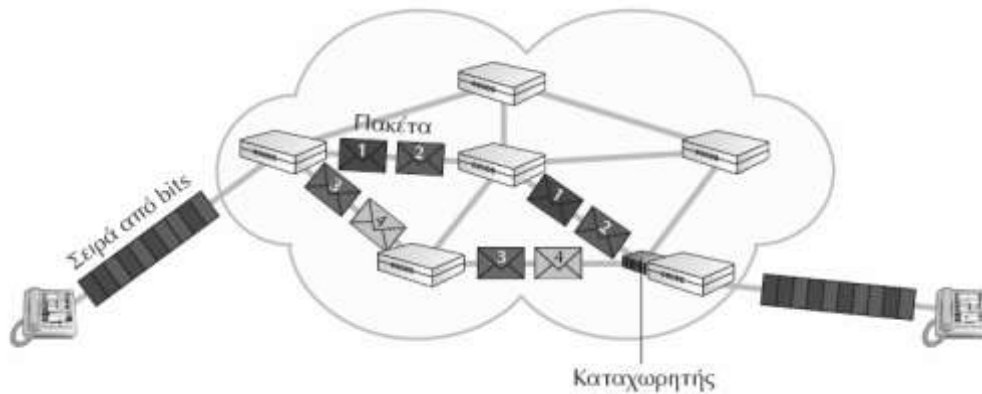
1. Φυσικό (Physical layer)
2. Σύνδεσης Δεδομένων (Data link layer)
3. Δικτύου (Network layer)
4. Μεταφοράς (Transmission layer)
5. Συνόδου (Session layer)
6. Παρουσίασης (Presentation layer)
7. Εφαρμογής (Application layer)

Περαιτέρω για αυτό το μοντέλο παραθέτουμε στην επόμενη ενότητα. Την ίδια στιγμή, για να επιτευχθούν οι παραπάνω διαδικασίες ανά στρώμα, θα πρέπει να υπάρχουν οι κατάλληλες υποδομές όσον αφορά το μέρος του δικτύου, δηλαδή από τη στιγμή που το σήμα περνάει στο φυσικό μέσο διάδοσης είτε ενσύρματα μέσω καλωδίων είτε με ασύρματο τρόπο με τη βοήθεια ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Τα θεμελιώδη συστατικά μέρη που αποτελούν ένα τυπικό δίκτυο υπολογιστών είναι τα εξής [5, 10]:

- Οι κόμβοι του δικτύου (nodes)
- Οι διανομείς (hubs)
- Οι επαναλήπτες (repeaters)
- Οι γέφυρες (bridges)
- Οι δρομολογητές (routers)
- Οι κάρτες δικτύου (network cards)

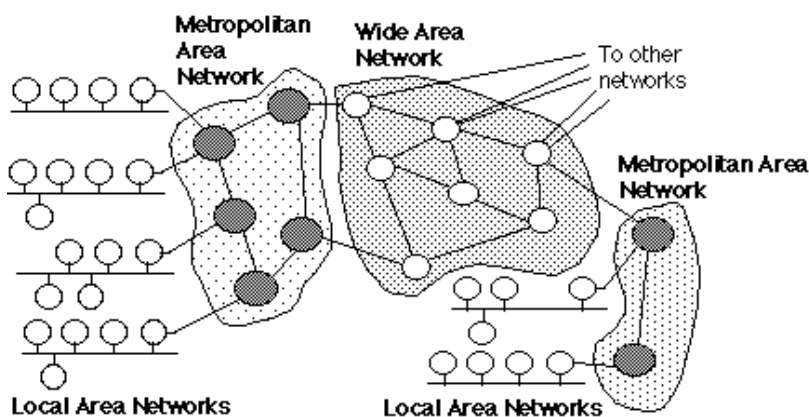
Τα παραπάνω αποτελούν τα βασικά στοιχεία ενός δικτύου υπολογιστών αλλά δεν περιορίζεται η σύσταση ενός επικοινωνιακού συστήματος, όπως θα δούμε, μόνο σε αυτά. Μπορεί μεν, για παράδειγμα, οι δρομολογητές και οι διανομείς σημάτων να είναι υψίστης λειτουργικότητας για το δίκτυο, αλλά η καρδιά του επιπέδου μεταφοράς δεδομένων βρίσκεται στα κατώτερα στρώματα όπου κυριαρχούν η μετάδοση των πακέτων στους κόμβους και η δρομολόγησή τους σε διευθύνσεις διαδικτύου. Αυτές οι λειτουργίες επιτυγχάνονται με χρήση κατακερματισμού πακέτων που στην οσία γίνεται με τη χρήση δυαδικών ψηφίων (binary digits, bits) 0 και 1, μήκους δυο, τεσσάρων, οκτώ, δεκαέξι κλπ ψηφίων, δηλαδή δυνάμεων του 2.

Στην επόμενη εικόνα φαίνεται ένα σύστημα μετάδοσης πακέτων σε ένα σύγχρονο τηλεφωνικό δίκτυο, όπου τα δεδομένα εξ' αρχής κωδικοποιούνται σε ακολουθίες με δυαδικά ψηφία (bit streams) μηδενικών και άσων.



Σχήμα 5: Διάδοση σημάτων και πακέτων σε ένα δίκτυο [9]

Παρόλο που σε όλα τα στάδια μεταφοράς των πακέτων υπάρχουν οι δυαδικές ακολουθίες, αυτές δεν αλλάζουν τη σύστασή τους όσον αφορά το είδος του δικτύου από όπου θα περάσουν [4, 11, 12]. Το αμέσως επόμενο σχήμα απεικονίζει την ιεραρχική δομή επικοινωνίας χρηστών από το μικρότερο σε εμβέλεια δίκτυο (τοπικό) μέχρι και το εκτεταμένης γεωγραφικής έκτασης (ευρείας περιοχής). Η τεχνολογία και δομή των δικτύων αυτών θα αναλυθούν εκτενώς στα επόμενα κεφάλαια αυτής της εργασίας.



Σχήμα 6: Επικοινωνία χρηστών σε πολλαπλά δίκτυα [13]

Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί ότι η ταχύτητα στη μετάδοση δεδομένων για πακέτα που περνούν από διαφορετικού είδους δικτυακές δομές, δεν παραμένει αναγκαστικά η ίδια (ή περίπου ίδια όσον αφορά σε θεωρητικό επίπεδο) αλλά μεταβάλλεται συνεχώς ανάλογα με την τεχνολογία, τη σύσταση και το φόρτο του εκάστοτε δικτύου. Αυτή η μεταβολή στην ταχύτητα πρόσβασης είναι δυνατόν να επηρεάσει την ποιότητα υπηρεσιών του δικτύου, που γίνεται αντιληπτή από την πλευρά του πελάτη, κυρίως σε υπηρεσίες πραγματικού χρόνου ή σε εφαρμογές μεγάλων όγκων δεδομένων, όπως για παράδειγμα σε πολυμεσικές (multimedia) εφαρμογές.

1.3 Το μοντέλο του OSI

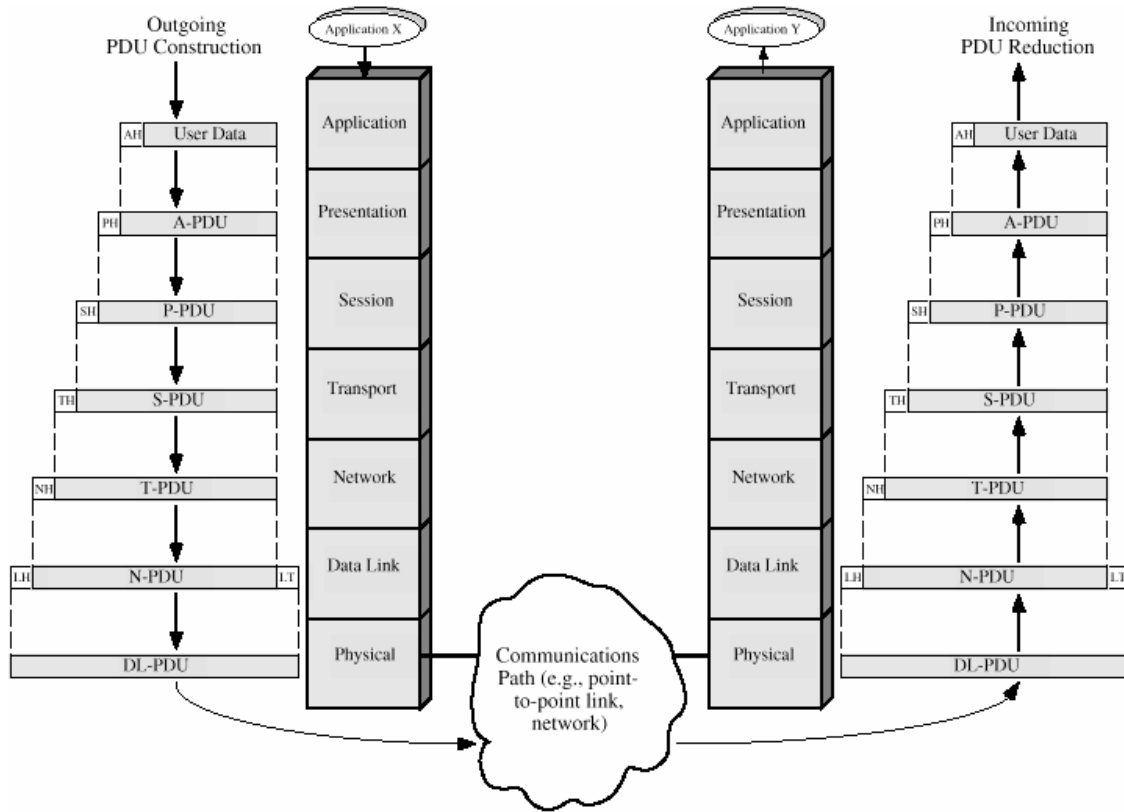
Το μοντέλο αυτό αναπτύχθηκε σε πρώτη φάση από τον Οργανισμό Διεθνών Προτύπων που αναλαμβάνει πιστοποιήσεις ISO (International Standards Organization), και ήταν το πρώτο στάδιο για την αναπαράσταση της προτυποποίησης των πρωτοκόλλων τα οποία συναντούμε σε όλα τα επίπεδα του OSI. Αυτό το μοντέλο ονομάζεται μοντέλο αναφοράς OSI ως ακρωνύμιο των λέξεων Open Systems Interconnection του ISO, διότι αναφέρεται σε ανοικτά συστήματα, που σημαίνει ότι προορίζεται για επικοινωνίες ανοικτές ως προς άλλα συστήματα [14, 15].

Στο μοντέλο συναντούμε επτά στρώματα (layers), όπως προαναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα, που το καθένα από τα οποία επιτελεί ειδικές λειτουργίες. Κάθε επίπεδο επικοινωνεί με αυτά που βρίσκονται αμέσως στο παραπάνω και παρακάτω επίπεδό του. Τα ψηλά στρώματα ασχολούνται με λειτουργίες στο επίπεδο των χρηστών που χειρίζονται τις εφαρμογές ή/και λογισμικά των υπολογιστών και συσκευών, ενώ τα τελευταία επίπεδα έχουν ως μοναδικό σκοπό τη μεταφορά δεδομένων και πακέτων στο δίκτυο. Πιο συνοπτικά, η λειτουργία των επιπέδων ξεκινώντας από τις εφαρμογές (δηλαδή από αυτό που είναι πιο κατανοητό στο χρήστη), είναι η εξής:

- Application layer: Στο στρώμα αυτό καθορίζονται όλα τα εν μέρει υποστρώματα της επικοινωνίας, τα χαρακτηριστικά των εφαρμογών, η ποιότητα του λογισμικού και τα λοιπά στοιχεία ως προς την φύση και τον προορισμό των εκάστοτε δεδομένων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτού του επιπέδου είναι τα λογισμικά εφαρμογών και οι περιηγητές του Διαδικτύου.

- **Presentation layer:** Εδώ ανήκουν τα λειτουργικά συστήματα των υπολογιστών (operating systems) όπως τα Windows, Linux, Android κλπ. Σε αυτό το επίπεδο, γίνεται κάποιου είδους μετατροπή των δεδομένων του παραπάνω στρώματος σε μιας άλλης κατάλληλης μορφής για να περάσει αμέσως παρακάτω.
- **Session layer:** Εδώ ενώνονται όλες οι εφαρμογές των παραπάνω επιπέδων αλλά και η καθοδήγησή τους ώστε να είναι συνεχώς συντονισμένες σε παράλληλο και κατακεκομμένο επίπεδο.
- **Transport layer:** Εδώ πραγματοποιείται η διαχείριση στις τερματικές (end-to-end) επικοινωνίες, δηλαδή η διασφάλιση της σωστής επικοινωνίας στα αντίστοιχα τμήματα που βρίσκονται στους πελάτες και στους εξυπηρετητές.
- **Networking layer:** Το υπόστρωμα του δικτύου (Networking) είναι υπεύθυνο για την δρομολόγηση των πακέτων αλλά και για την περαιτέρω προώθησή τους.
- **Data link layer:** Σε αυτή τη φάση της επικοινωνίας γίνεται ο συγχρονισμός του φυσικού επιπέδου (το πιο κάτω στρώμα). Εδώ επιτυγχάνεται και ο αντίστοιχος έλεγχος της δομής των δεδομένων (data control).
- **Physical layer:** Η βασική αποστολή αυτού του στρώματος είναι η μετάδοση σημάτων (αναλογικών, ψηφιακών) στα μέρη των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων ή πλακετών σε επίπεδο ηλεκτρικών και μηχανικών ταλαντώσεων/σημάτων. Εδώ συμμετέχει οτιδήποτε υλικό υπάρχει επάνω στα κυκλώματα και σε μέρη πλακετών όπως επεξεργαστές, τρανζίστορ, τσιπάκια μνήμης και επεξεργασίας, αντιστάσεις, πυκνωτές, πηνία, ηλεκτρονικές δίοδοι, τροφοδοτικά ισχύος κλπ.

Στο επόμενο γράφημα (σχήμα 7) μπορούμε να παρατηρήσουμε πώς τα διάφορα επίπεδα ενώνονται με τα αμέσως προηγούμενα και επόμενα και ότι ουσιαστικά η λειτουργία στο μέρος του πελάτη που αιτείται (αριστερά – outgoing) πραγματοποιείται και στο μέρος του εξυπηρετητή (δεξιά – ingoing) αλλά με αντίθετη φορά. Ενώ στο σχήμα 8 βλέπουμε παραδείγματα πρωτοκόλλων που μπορεί να υπάρχουν σε κάθε επίπεδο του μοντέλου. Από εδώ μπορούμε να καταλάβουμε τη συνεργασία των επιπέδων και πως αυτά μπορούν να δώσουν μια ολοκληρωμένη αίτηση του πελάτη, όπως για παράδειγμα η ανάγνωση ηλεκτρονικού ταχυδρομείου (email) και η περιήγηση στον παγκόσμιο ιστό (web browsing) με χρήση του wide world web.



Σχήμα 7: Η συνεργασία των διαφόρων επιπέδων στο μοντέλο OSI [9]

Open Systems Interconnection (OSI) Reference Model						
Upper Layers			Lower Layers			
Application Layer (7)	Presentation Layer (6)	Session Layer (5)	Transport Layer (4)	Network Layer (3)	Data Link Layer (2)	Physical Layer (1)
E-mail	POP/SMTP	POP/25	Transmission Control Protocol (TCP)	Internet Protocol Version 6	SLIP, PPP	RS-X, CAT 1
Newsgroups	Usenet	532		Internet Protocol Version 4		ISDN
Web Applications	HTTP	80	User Datagram Protocol (UDP)		802.2 SNAP	ADSL
File Transfer	FTP	20/21				ATM
Host Sessions	Telnet	23				FDDI
Directory Services	DNS	53				CAT 1-5
Network Mgt.	SNMP	161/162			Ethernet II	Coaxial Cables
File Services	NFS	RPC Portmapper				

Σχήμα 8: Παράδειγμα πρωτοκόλλων σε κάθε επίπεδο [15]

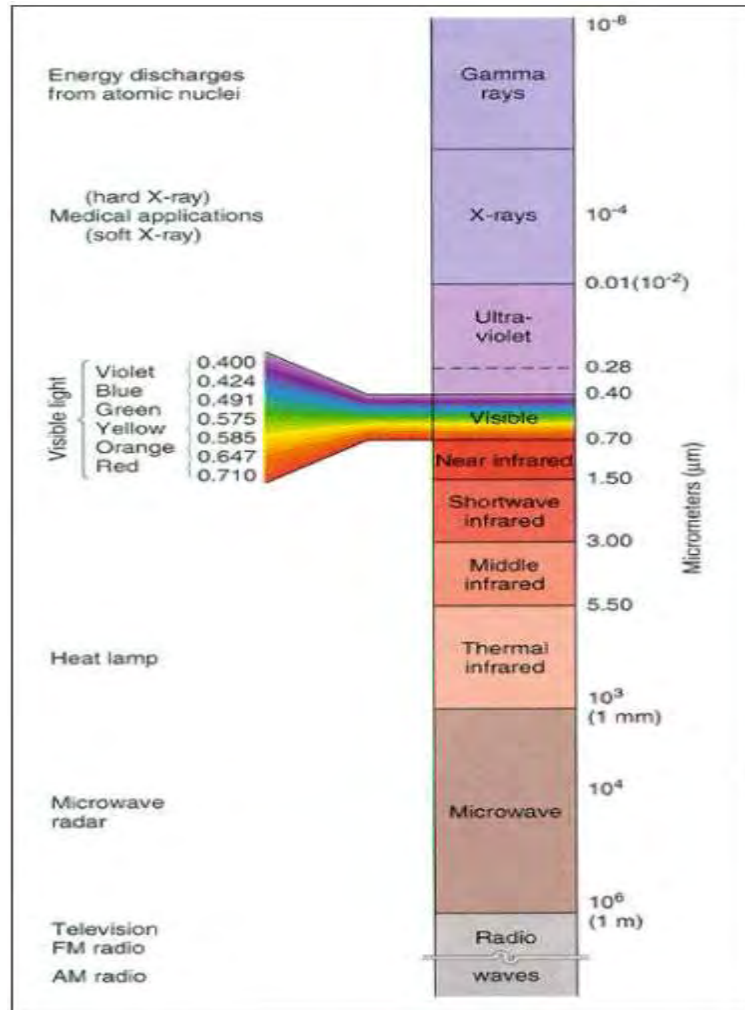
1.4 Ασύρματα δίκτυα υπολογιστών

Οι ασύρματες επικοινωνίες (wireless communications) δεδομένων έχουν εξελιχθεί ραγδαία την τελευταία δεκαετία. Παλαιότερα έως και τις αρχές της δεκαετίας του 2000 οι πρόσβαση σε κάποιο δίκτυο επικοινωνιών – από τοπικής εμβέλειας μέχρι και ευρείας όπως το Διαδίκτυο – γίνονταν συνήθως με κάποιο ενσύρματο μέσο μετάδοσης, δηλαδή με καλώδια. Ενώ η τεχνολογία εκείνη την περίοδο επέτρεπε αρκετά μεγάλες ταχύτητες (της τάξεως αρκετών Mbps) , η πρόσβαση με ασύρματο τρόπο δεν είχε ακόμη εισάγει τέτοιου είδους ταχύτητες, ούτε καν υπήρχε η δυνατότητα κάποιος να συνδεθεί στο Διαδίκτυο μέσω σταθμών βάσης κινητών επικοινωνιών, εκτός εξαιρέσεων για ειδικούς σκοπούς. Αργότερα όμως, οι υποδομές αυξήθηκαν και σε υλικό αλλά και σε επίπεδο γεωγραφικής κάλυψης και συνεχίζονται να αυξάνονται μέχρι και σήμερα [16].

Στα πλαίσια αυτών των δυνατοτήτων έπρεπε να χρησιμοποιηθούν και οι ανάλογες τεχνολογίες. Οι παροχείς υπηρεσιών Διαδικτύου ή αλλιώς ISPs (Internet Service Providers) προχώρησαν σε τέτοιου είδους αναπροσαρμογές και έτσι προστέθηκαν τα ασύρματα μέσα επικοινωνίας, δηλαδή μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων στην ανάλογη περιοχή του φάσματος. Στην παρακάτω εικόνα (σχήμα 9) βλέπουμε το διάγραμμα όλου του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος από τις μικρότερες έως και τις μεγαλύτερες συχνότητες και τα αντίστοιχα μήκη κύματος που αυτές λειτουργούν με τον αντίστοιχο μαθηματικό τύπο (1) που συνδέει τα δυο αυτά μεγέθη:

$$f = c/\lambda \quad (1)$$

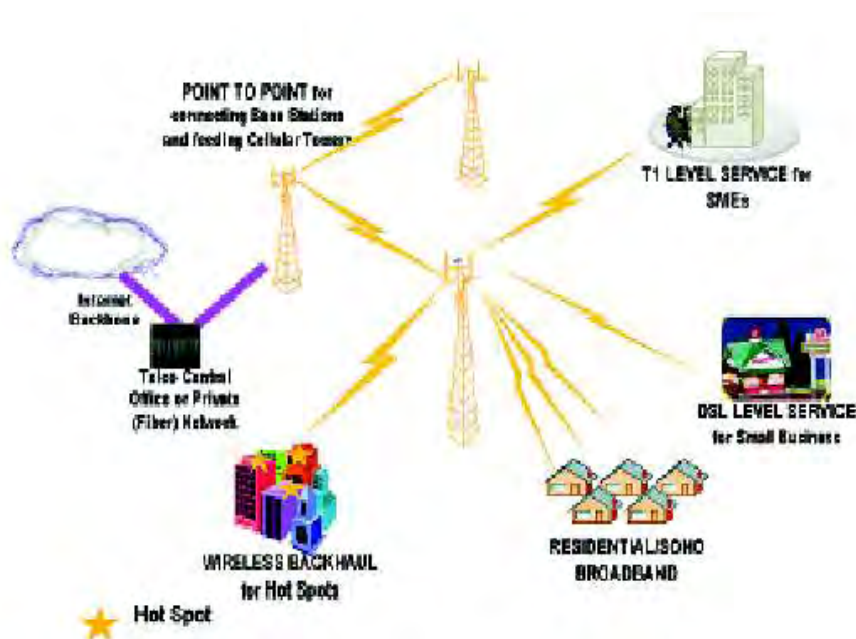
Όπου c είναι η διάδοση της ταχύτητας του φωτός (προσεγγιστικά 300000 km/sec), λ είναι το μήκος κύματος σε πολλαπλάσια ή υποπολλαπλάσια του μέτρου και f είναι η συχνότητα εκπομπής σε Hz. Οι επικοινωνίες στα ασύρματα δίκτυα λειτουργούν συνήθως στην περιοχή των μικροκυμάτων (microwave band) αλλά και στην πιο κατώτερη περιοχή των ραδιοκυμάτων FM και AM. Η σχέση (1) αν επιλυθεί ως προς λ μας δίνει το αντίστοιχο μήκος κύματος που λειτουργεί η επικοινωνία, δηλαδή $\lambda = c/f$, και εκφράζεται συνήθως σε υποπολλαπλάσια του μέτρου, δηλαδή σε mm, μm , nm ή pm. Σημειώνεται ότι 1 μέτρο (1m) = 10^3 mm = 10^6 μm = 10^9 nm 10^{12} pm.



Σχήμα 9: Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα [17]

Οι εταιρίες κινητής τηλεφωνίας καθώς και οι διάφοροι πάροχοι Διαδικτυακών υπηρεσιών είναι αρμόδιοι για την εγκατάσταση σταθμών βάσεων και λοιπών αναγκαίων υποδομών σε επίπεδο χωρών και όχι μόνο. Σε γενικές γραμμές οι χρήστες και οι συνδρομητές των υπηρεσιών που χρησιμοποιούν και ενσύρματες αλλά και ασύρματες επικοινωνίες σε όλο τον πλανήτη αυξάνονται κάθε χρόνο [18, 19, 20, 21]. Σε αυτή την αύξηση, λοιπόν, των δικτυακών υποδομών συντέλεσε και η αντίστοιχη αύξηση των συνδρομητών ασυρμάτων δικτύων και Διαδικτύου, η οποία προστέθηκε στις ήδη υπάρχουσες ενσύρματες υποδομές. Παρόλα αυτά, η πρόσβαση χρηστών σε οτιδήποτε δίκτυο ή δίκτυα δεν είναι απαραίτητα ενός είδους εμβέλειας, όπως είναι γνωστό, αλλά ούτε και περνάει μέσα από ένα και μόνο συγκεκριμένο ασύρματο ή ενσύρματο μέσο

μετάδοσης και υποδομών. Η πρόσβαση, δηλαδή, είναι στις περισσότερες εφαρμογές ετερογενής (heterogeneous) το οποίο σημαίνει ότι από την αρχή της αίτησης του πελάτη έως και το τελικό αποτέλεσμα, η δρομολόγηση του σήματος υφίσταται διάφορες επεξεργασίες και ενδέχεται να περάσει από ένα μέχρι και αρκετά είδη δικτύων. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται ένα παράδειγμα ενός ετερογενούς δικτύου, το οποίο μεν έχει σαν κορμό (backbone) ασύρματες υποδομές που λειτουργούν με σταθμούς βάσης αλλά τα μέρη που συνδέονται σε αυτό μπορεί να είναι διαφόρων εφαρμογών και εμβέλειας.



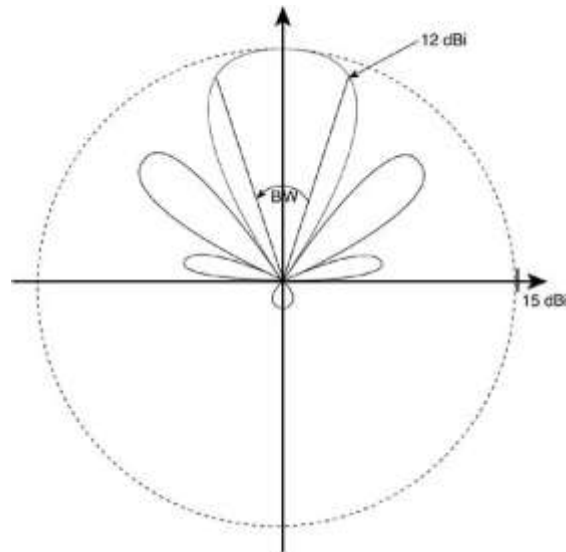
Σχήμα 10: Παράδειγμα ενός ολοκληρωμένου δικτύου [22]

Στα ασύρματα δίκτυα κορμού, οι σταθμοί βάσεων είναι το κύριο μέρος των υποδομών και οι αποστάσεις που αυτοί οι σταθμοί πρέπει να τοποθετηθούν γεωγραφικά εξαρτάται από την περιοχή που θέλουμε να καλύψουμε, καθώς και από τον αριθμό των πιθανών συνδρομητών αλλά και από την ισχύ του σήματος κατά την εκπομπή. Αυτό όσον αφορά μεγάλες εκτάσεις, δηλαδή συνήθως σε επίπεδο ευρείας ή μητροπολιτικής εμβέλειας. Στα μικρότερα επίπεδα των τοπικών και προσωπικών δικτύων, η πρόσβαση έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά και καθορίζεται από την τεχνολογία, την ταχύτητα και τα πρωτόκολλα σύνδεσης. Τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση δεδομένων σε τέτοια ασύρματα δίκτυα υπολογιστών, ανήκουν κυρίως στα πρότυπα IEEE 802.11, 802.15 και 802.16, το καθένα με διάφορες εκδόσεις και βελτιώσεις όσον αφορά την ποιότητα

υπηρεσιών αλλά και αρχιτεκτονική των υποδομών τους. Ενώ οι τεχνολογίες αυτές υπάρχουν τις τελευταίες δεκαετίες, οι υπηρεσίες που προσφέρουν βελτιώνονται συνεχώς. Τα κύρια πλεονεκτήματα των προτύπων στα τοπικά και προσωπικά ασύρματα δίκτυα μπορούμε να τα συνοψίσουμε ως εξής:

- **Υψηλές ταχύτητες μετάδοσης:** Με τις αναβαθμισμένες τεχνολογίες στις κεραίες των σημείων πρόσβασης, τους ασφαλείς τρόπου κωδικοποίησης και επεξεργασίας σήματος, επιτυγχάνονται ταχύτητες έως και της τάξης των 63Mbps. Αυτό βέβαια σε θεωρητικό επίπεδο, διότι πρακτικά η πρόσβαση έχει διάφορους παράγοντες που καθορίζουν το ρυθμό πρόσβασης.
- **Κλιμάκωση μετάδοσης:** Μια επικοινωνία μπορεί να πραγματοποιηθεί σε πολλές ζώνες των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, και σε συχνότητες συνήθως από 1,25 ως 20 MHz. Με αυτό τον τρόπο είναι δυνατόν να μεγιστοποιηθεί το εύρος ζώνης σε συνδυασμό με γεωγραφικά μέρη που έχουν λίγους κατοίκους, ενώ σε μεγάλες πόλεις όπου απαιτείται πυκνή κατανομή σημάτων γίνεται μεγιστοποίηση στη χωρητικότητα που πρέπει να αποδοθούν στους χρήστες.
- **Κινητικότητα:** Είναι μια υπηρεσία που βελτιώνει την σταθεροποίηση του σήματος ακόμη και αν ο χρήστης κινείται σε μεγάλες ταχύτητες με κάποιο μεταφορικό μέσο και χωρίς να μειωθεί το επίπεδο των υπηρεσιών της πρόσβασης που παρέχονται στο χρήστη. Αυτό ισχύει είτε γιατί το σήμα πρέπει να υποστεί κάποιου είδους μεταπομπής από τον ένα σταθμό βάσης προς κάποιον διπλανό για τη μη διακοπή της επικοινωνίας, είτε γιατί ο χρήστης βρίσκεται σε μεταφορικό μέσο που κινείται με εξαιρετικά μεγάλες ταχύτητες.

Στην τελευταία περίπτωση όσον αφορά την κινητικότητα του σήματος, οι ποιότητα αλλά και η δυνατότητα μεταπομπής εξαρτώνται από το διάγραμμα ακτινοβολίας της κεραίας του σταθμού βάσεως. Συνήθως τοποθετούνται κατευθυντικές κεραίες για να επιτύχουν την κατανομή σήματος σε μεγάλες ισχύς και σε συγκεκριμένες περιοχές, ώστε για παράδειγμα να μην υπάρχει απώλεια ισχύος προς σημεία που δεν χρειάζονται ύπαρξη σήματος (π.χ. δύσβατες περιοχές σε μεγάλα υψόμετρα). Στο σχήμα 11 φαίνεται το διάγραμμα ακτινοβολίας μιας κατευθυντικής κεραίας όπου περισσότερη προσοχή δίνεται στην εκπομπή σήματος σε διασπορά 180 μοιρών.



Σχήμα 11: Περιοχή ακτινοβολίας κεραίας κατευθυντικού τύπου [17]

Στο διάγραμμα αυτό μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι περίπου το 95% του σήματος έχει τη μέγιστη ισχύ του στο πρώτο μισό του διαστήματος επιπέδου. Σε αυτή την περιοχή μάλιστα, το 50% της εμβέλειας βρίσκεται συμμετρικά στις 90 μοίρες με τη μορφή περίπου ελλειψοειδούς, που σημαίνει ότι αυτή η κεραία μπορεί να τοποθετηθεί σε μια πόλη που η οικοδόμησή της έχει ανάλογο σχήμα. Σε κάθε περίπτωση, παρόλα αυτά, αυτό που συναντάμε συνήθως είναι συστοιχίες κεραιών (κατευθυντικών και μη) με απώτερο σκοπό την κάλυψη περιοχών στο 100% ακόμη και σε μη κατοικημένες τοποθεσίες, ώστε να προβλεφθεί εκ των προτέρων και η περίπτωση όπου λ.χ. οι οικισμοί μιας πόλης ενδέχεται στο μέλλον να μην έχουν ομοιόμορφη κατανομή στο χώρο αλλά να οικοδομηθούν διάσπαρτα χωρίς κάποιο συγκεκριμένο πολεοδομικό πρότυπο. Τα τελευταία χρόνια οι εταιρίες παροχής κινητών επικοινωνιών έχουν φροντίσει ώστε πέρα από τα μεγάλα αστικά κέντρα να υπάρχει σχεδόν πλήρης κάλυψη σήματος ακόμη και σε περιοχές όπου πρώτα ήταν αδύνατη η πρόσβαση σύνδεσης.

Κεφάλαιο 2

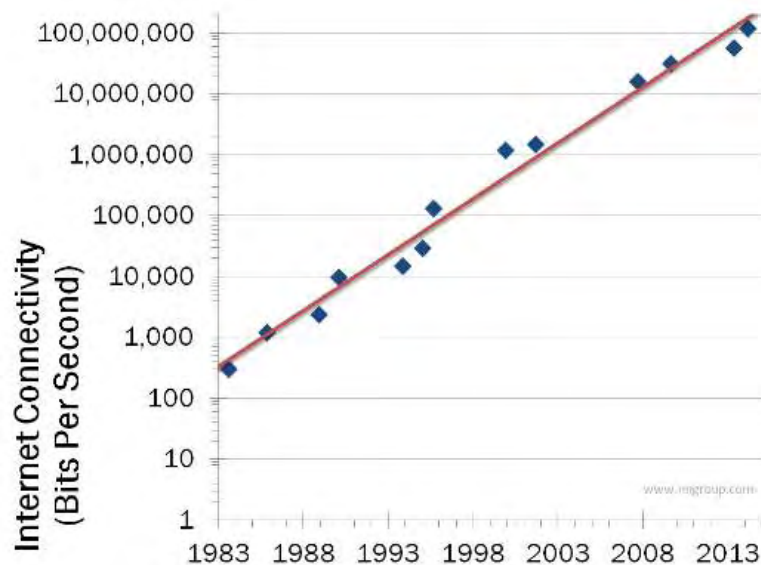
Βασικά στοιχεία μετάδοσης στις επικοινωνίες Δικτύων

2.1 Γενικά

Τα τηλεπικοινωνιακά συστήματα των προγενέστερων δεκαετιών αποτελούν τη βάση για τις υποδομές των ενσύρματων αλλά και ασύρματων δικτύων των νεότερων γενεών, καθώς και την περίπτωση συνεχόμενης αναβάθμισής τους. Η εξέλιξή τους επιφέρει ολοένα και πιο προηγμένες υπηρεσίες στους συνδρομητές και για το λόγο αυτό εφαρμόζονται κάποια πρότυπα επικοινωνιών που προτάσσονται ανάλογα με την τεχνολογία και την εμβέλεια εκπομπής. Έτσι, υπάρχουν συγκεκριμένοι οργανισμοί που θεσπίζουν κάποιους κανόνες και πρότυπα όσον αφορά την πρόσβαση χρηστών, τον αριθμό συνδρομητών, τον τρόπο σύνδεσής τους στο δίκτυο και ένας τέτοιος οργανισμός είναι και ο Διεθνής Οργανισμός Τηλεπικοινωνιών (International Telecommunications Unit ή ITU) [23].

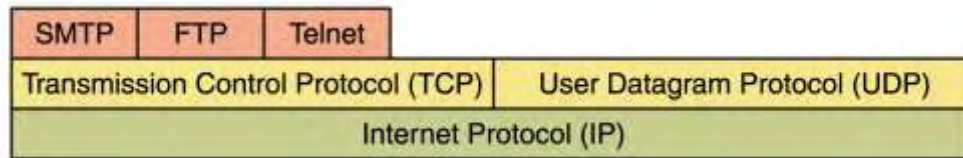
Εκτός από τα στάνταρ πρότυπα, οι τεχνολογίες των ασυρμάτων δικτύων – πέρα από την γεωγραφική έκταση που μπορούν να καλύψουν – εξελίσσονται και σε επίπεδο αρχιτεκτονικής, ταχυτήτων, εύρους ζώνης και υποστήριξης όγκου χρηστών. Για το λόγο αυτό θεσπίζονται οι γενιές δικτύων (network generation) και ιστορικά είναι από πρώτης γενιάς (first generation, 1G) έως και πέμπτης γενιάς (fifth generation, 5G), με την τελευταία να βρίσκεται και σε πειραματικό στάδιο αλλά και σε στάδιο εφαρμογής από κάποιους παρόχους τηλεπικοινωνιών κυρίως στην Ασία. Εδικά για την περίπτωση της συνεχόμενης αύξησης του εύρους ζώνης, έχει υπολογιστεί ότι με το γνωστό κανόνα του Nielsen (Nielsen's law of bandwidth), το εύρος ζώνης που προσφέρουν οι μεγάλοι πάροχοι Διαδικτυακών συνδέσεων αυξάνεται περίπου κατά 50% κάθε χρόνο [24, 25]. Σε αυτό το ποσοστό αύξησης έχει συντελέσει βέβαια όχι μόνο η αύξηση που παρατηρείται στον αριθμό των συνδρομητών αλλά και η ανάγκη για προσβάσεις σε πολυμεσικές εφαρμογές πραγματικού χρόνου (real-time streaming), όπως για παράδειγμα η προβολή ταινιών από ιστοσελίδες που προσφέρουν εξαιρετική ποιότητα μετάδοσης εικόνας και

ήχου. Πέρα από τις εφαρμογές πραγματικού χρόνου, υπάρχουν συγκεκριμένοι ιστότοποι στο Διαδίκτυο που είναι πηγές κίνησης υπερβολικά μεγάλου όγκου δεδομένων όπως είναι το YouTube και το Netflix [26]. Στην αμέσως επόμενη εικόνα παρατηρούμε το ρυθμό αύξησης του διαθέσιμου εύρους ζώνης από της αρχές της δεκαετίας του 1980 με βάση τον κανόνα του Nielsen. Τα μπλε τετράγωνα είναι οι πραγματικές τιμές και η ευθεία κόκκινη γραμμή είναι η καλύτερη δυνατή προσαρμογή σε ημιλογαριθμική κλίμακα. Ο κάθετος άξονας απεικονίζεται σε καθαρά λογαριθμική κλίμακα ενώ ο οριζόντιος είναι γραμμικός (ο συνδυασμό τους ονομάζεται ημιλογαριθμική κλίμακα).



Σχήμα 12: Αύξηση στο εύρος ζώνης την περίοδο 1983-2013 [24]

Τα διάφορα πρωτόκολλα που παίζουν ρόλο στο εύρος ζώνης και τις τεχνικές μετάδοσης των σημάτων βρίσκονται στα επίπεδα του πρωτοκόλλου ελέγχου μετάδοσης ή Transmission Control Protocol/Internet Protocol (TCP/IP) αλλά και σε τοπικό επίπεδο στις κάρτες Ethernet οι οποίες ενσωματώνονται μέσα στο υλικό των ηλεκτρονικών υπολογιστών [27, 28]. Το πρωτόκολλο TCP/IP ελέγχει όλη τη ροή δεδομένων και επάνω σε αυτό συνδέονται στενά και άλλα πρωτόκολλα στα πιο ανώτερα επίπεδα, όπως για παράδειγμα το πρωτόκολλο μετάδοσης αρχείων ή File Transfer Protocol (FTP) αλλά και τα βασικά πρωτόκολλα ηλεκτρονικού ταχυδρομείου ή Simple Mail Transfer Protocol (SMTP).



Σχήμα 13: Σχέση πρωτοκόλλων ανά επίπεδο [6]

2.2 Μετάδοση δεδομένων

Η μεταφορά των πληροφοριών σε ενσύρματα και ασύρματα δίκτυα είναι διαφορετική μεταξύ τους ως προς τον τρόπο μετάδοσης των σημάτων σε μαθηματικό επίπεδο. Παρόλα αυτά η γενική αναπαράσταση της επικοινωνίας ανά στάδιο μπορεί να δοθεί με το παρακάτω μπλοκ διάγραμμα, όπου σαφώς ξεχωρίζουν τα βασικά συστατικά ενός τηλεπικοινωνιακού συστήματος. Ασχέτως από το μέσο διάδοσης του σήματος (εναέρια, καλώδια), μια τυπική επικοινωνία περιέχει τις φάσεις της διαμόρφωσης και αποδιαμόρφωσης καθώς και της κωδικοποίησης και αποκωδικοποίησης αντίστοιχα, για τη σωστή αναπαράσταση του σήματος (σχήμα 14).



Σχήμα 14: Τα θεμελιώδη στάδια του σήματος στην επικοινωνία δικτύων [29]

Για να μεταδοθεί σωστά το σήμα, η διαδικασία περιέχει δύο κύριες τεχνικές, την μετάδοση στενής ζώνης που είναι πιο χαμηλού κόστους και την μετάδοση εξάπλωσης φάσματος. Η μετάδοση στενής ζώνης είναι η πλέον παραδοσιακή μέθοδος, αλλά παράλληλα μειονεκτεί στο ότι προσφέρει χαμηλή αξιοπιστία. Η μέθοδος αυτή, από την άλλη, συμπεριλαμβάνει τις κλασικές μεθόδους διαμόρφωσης με φέρουσα συχνότητα (carrier frequency) και εκτός των άλλων μπορεί να ενσωματώσει διαμόρφωση πλάτους ή Amplitude Modulation (AM) και διαμόρφωση συχνότητας ή Frequency Modulation (FM) για αναλογικές επικοινωνίες. Για ψηφιακές τεχνικές μετάδοσης χρησιμοποιούνται

επιπλέον ψηφιακές διαμορφώσεις όπως η Frequency Shift Keying (FSK), η Amplitude Shift Keying (ASK) και η Phase Shift Keying (PSK).

Η τεχνική εξάπλωσης φάσματος είναι περισσότερο εξελιγμένη, προσφέρει υψηλή ποιότητα αλλά με αυξημένο κόστος σε σχέση με την πρώτη μέθοδο. Η μετάδοση σήματος εδώ έχει ως βασική αρχή τη διαμόρφωση της πληροφορίας με έναν ενσωματωμένο και προσαρμοσμένο στα δεδομένα κώδικα, που δίνει τη δυνατότητα πρόσβασης με μεγάλο ρυθμό δεδομένων. Οι μέθοδοι της μετάδοσης με αυτή την τεχνική διαιρούνται συνήθως σε δυο υπομεθόδους. Στην πρώτη, το εκπεμπόμενο εύρος διαιρείται σε υποζώνες με διαφορετικές συχνότητες, που η καθεμία διαθέτει και το ανάλογο εύρος. Η μέθοδος αυτή είναι γνωστή ως Frequency Hopping (FH). Στη διαδικασία αυτή και ο πομπός αλλά και η αντίστοιχη μεριά του δέκτη πρέπει να βρίσκουν κοινή επικοινωνία σε διαφορετική συχνότητα φέροντος κύματος και ανά ίδια χρονικά διαστήματα. Το πλεονέκτημα εδώ έχει να κάνει με θέματα ασφαλείας, όπου μια τυχόν απόπειρα υποκλοπής σήματος δεν είναι δυνατή λόγω των συχνών εναλλαγών των συχνοτήτων [22]. Η δεύτερη υπομέθοδος της εξάπλωσης φάσματος στηρίζεται στην κρυπτογράφηση των δυαδικών ακολουθιών (δηλαδή ροές δεδομένων σε επίπεδο 0 και 1) που στην ουσία μετατρέπουν το αρχικό σήμα σε ένα άλλο τελείως διαφορετικό. Η τεχνική ονομάζεται Direct Sequence (DS) και το πλεονέκτημα είναι η ασφαλής μεταφορά δεδομένων στη επικοινωνία των δικτύων. Ωστόσο από μαθηματική πλευράς, όλες ανεξαιρέτως οι επικοινωνίες δικτύων έχουν κάποια κοινά χαρακτηριστικά που θα δούμε στη συνέχεια.

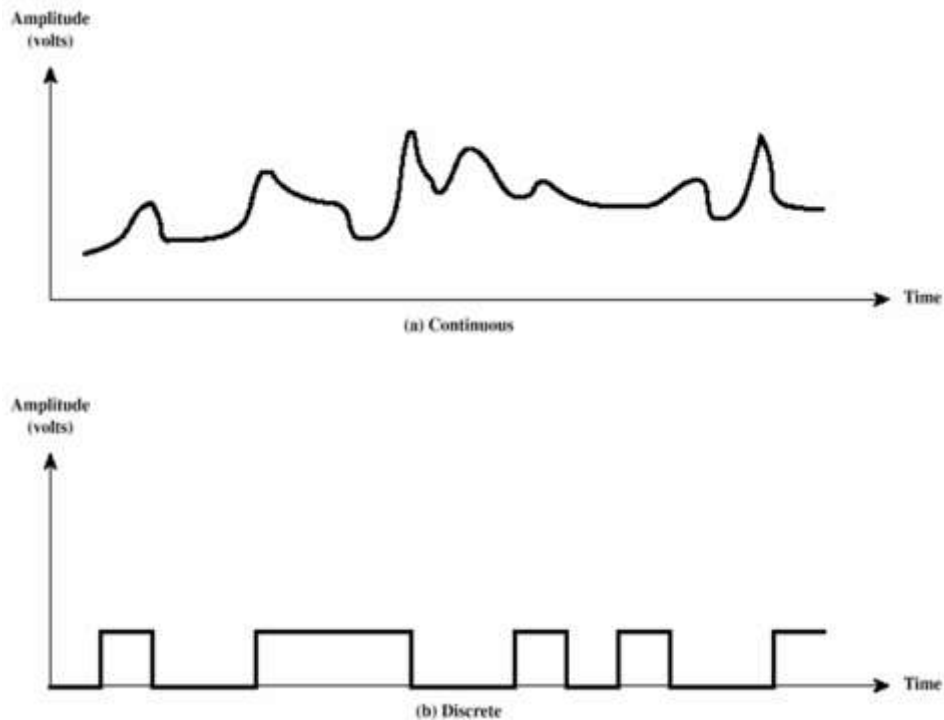
2.3 Πλάτος και περιοδικότητα σημάτων

Στο επίπεδο της μετάδοσης και επεξεργασίας των δεδομένων, τα σήματα αποτελούνται από συνεχής (continuous) και διακριτές (discrete) μορφές δεδομένων, που χαρακτηρίζονται επίσης από το αν είναι περιοδικά σήματα ή όχι. Στην περίπτωση των περιοδικών σημάτων η σχέση που συνδέει το πλάτος B του σήματος συναρτήσει του χρόνου t δίνεται από τον παρακάτω τύπο (2):

$$Y(t) = B \cdot \sin(2\pi ft + \theta) \quad (2)$$

Όπου f είναι η συχνότητα και θ η διαφορά φάσης του σήματος σε σχέση με το θεμελιώδες ημιτονικό $\sin(2\pi ft)$.

Στο επόμενο γράφημα βλέπουμε ένα παράδειγμα ενός συνεχούς σήματος και ενός διακριτού, όπου ξεχωρίζει η «σταθερότητα» του πλάτους στο διακριτό.



Σχήμα 15: Συνεχές και διακριτό σήμα [9]

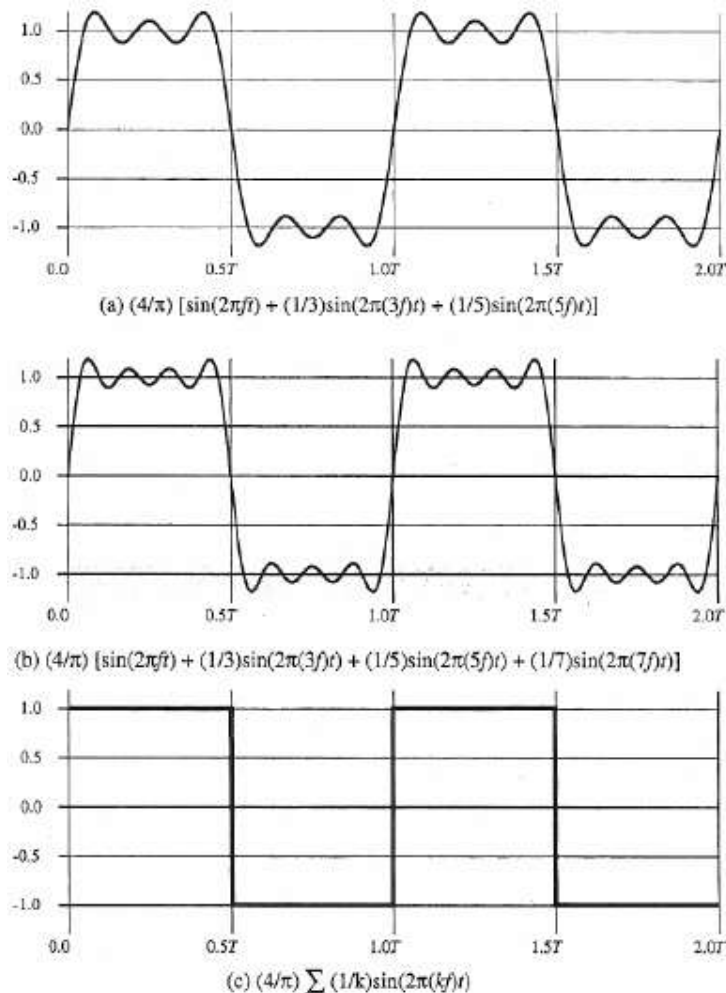
Κάθε περιοδικό σήμα χαρακτηρίζεται από τη μορφή και την σχέση που το περιγράφει, αν δηλαδή είναι ημιτονοειδές, τετραγωνικών παλμών, κυματοειδούς συνάρτησης κλπ. Τα ημιτονικά σήματα της μορφής $\sin(2\pi ft)$ βρίσκουν ευρείες εφαρμογές στις επικοινωνίες δεδομένων και χαρακτηρίζονται από θεμελιώδεις αρχές στην αναλογική και ψηφιακή επεξεργασία σημάτων. Η αναλυτική αναπαράσταση των σημάτων αυτών εκφράζει από τη μια μεριά την μαθηματική τους υπόσταση αλλά παράλληλα μας επιτρέπει να διευρύνουμε τη γνώση μας για αυτά ώστε να χρησιμοποιηθούν προς όφελος των επικοινωνιών. Έτσι, χαρακτηριστικό γνώρισμα των σημάτων είναι οι συνιστώσες και οι αρμονικές που προκύπτουν από το αρχικό σήμα και που μπορούν να περιγραφούν με μαθηματικό τρόπο κατά ανάλυση Fourier. Για παράδειγμα, έστω ότι έχουμε ένα σήμα βασικής ζώνης της παρακάτω γενικής μορφής:

$$Y(t) = (\kappa/\pi) \cdot (\sin(2\pi ft) + B \cdot \sin(2\pi Nft)) \quad (3)$$

Τότε οι συνιστώσες που προκύπτουν από αυτό το σήμα είναι πολλαπλάσια της θεμελιώδους συχνότητας και προστίθενται στο αρχικό σήμα. Στην ανάλυση στο πεδίο του χρόνου στο παρακάτω παράδειγμα (σχήμα 16), η κάθε συνιστώσα ολοένα και μικραίνει σε περίοδο (1/3, 1/5, 1/7 κλπ) ενώ παράλληλα αυξάνεται η συνιστώσα της (f, 3f, 5f κλπ) ακολουθώντας την παρακάτω γενική μορφή:

$$T = 1/(3+2\kappa), \quad \kappa \in \mathbb{N} \setminus \{0, 1, 2, 3, \dots\} \quad (4)$$

$$F = (2\kappa+1)f, \quad \kappa \in \mathbb{N} \setminus \{0, 1, 2, 3, \dots\} \quad (5)$$



Σχήμα 16: Γραφική παράσταση τριών σημάτων με τις αντίστοιχες συνιστώσες [9]

Στην περίπτωση που θελήσουμε να εφαρμόσουμε ανάλυση Fourier στο πεδίο των συχνοτήτων, θα παρατηρήσουμε ότι κάθε φορά που μεταβαίνουμε στην επόμενη συνιστώσα με βάση τον τύπο (5), το πλάτος αυτής μειώνεται συνεχώς. Παρόλα αυτά δε θα επεκταθούμε στο θέμα αυτό μιας και εδώ χρειάζονται εκτεταμένες γνώσεις μαθηματικών και ανάλυσης σημάτων.

2.4 Οι επικοινωνίες δεδομένων στο Διαδίκτυο

Στις δυο προηγούμενες ενότητες είδαμε παραδείγματα μετάδοσης μεμονωμένων σημάτων και πώς αυτά περιγράφονται από τις βασικές αρχές. Στο Διαδίκτυο, που είναι το μεγαλύτερο, ακριβότερο και πολυπλοκότερο δίκτυο υπολογιστών στον κόσμο, τα σήματα αυτά ενδέχεται να είναι της τάξεως των δισεκατομμυρίων ανά δευτερόλεπτο και θεωρείται πλέον δεδομένο ότι αυτά έχουν περιγραφεί πλήρως. Επειδή το διαδίκτυο αποτελείται από πολλά δίκτυα υπολογιστών, τα τελευταία μελετώνται συνήθως σε μεγάλη κλίμακα, είτε ως προς την εμβέλειά τους είτε ως προς τον όγκο των δεδομένων. Τα χρηματικά κεφάλαια που απαιτούνται για την εγκατάσταση υποδομών, υλικού και λογισμικού στηρίζονται κυρίως σε προβλέψεις εκ των προτέρων από ειδικούς ώστε οι εταιρίες να γνωρίζουν τις απαιτήσεις σε εύρος ζώνης ώστε να επενδύσουν κατάλληλα [30]. Κύριο ρόλο για αυτά τα θέματα έχει η αύξηση, όπως προαναφέραμε, των συνδρομητών σε παγκόσμιο επίπεδο στο οποίο ο Διεθνής Οργανισμός Τηλεπικοινωνιών (ITU) έχει στατιστικά στοιχεία χρήσιμα που είναι για τους τηλεπικοινωνιακούς φορείς [31]. Ο παρακάτω πίνακας δείχνει τα επίσημα στοιχεία χρηστών του πλανήτη στις αναπτυγμένες και αναπτυσσόμενες χώρες καθώς και σε συνολικό επίπεδο. Φαίνεται καθαρά η αυξανόμενη τάση του αριθμού των συνδρομητών από έτος σε έτος και ο αριθμός αναπαρίσταται σε εκατομμύρια.

Developed/ Developing Countries	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015*
Developed	616	649	719	753	776	824	841	921	961	997	1035
Developing	408	502	645	808	974	1195	1383	1573	1743	1940	2139
World	1024	1151	1365	1561	1751	2019	2224	2494	2705	2937	3174

Πίνακας 1: Αριθμός συνδρομητών την δεκαετία 2005-2015 [31]

Η ανάγκη για τον προσδιορισμό συνδρομητών και του όγκου δεδομένων αφορά όχι μόνο σε δίκτυα ευρείας εμβέλειας, μεγάλους παρόχους τηλεπικοινωνιών ή μεγάλα ερευνητικά κέντρα, αλλά και δίκτυα πιο τοπικού επιπέδου για την κάλυψη π.χ. αναγκών των εργαζομένων και φοιτητών για ένα μεγάλο Πανεπιστήμιο. Ωστόσο το Διαδίκτυο στη συνολική του μορφή είναι δύσκολο να καταγράψει το εκατό τοις εκατό όλης της κίνησης και μάλιστα σε όλα τα επί μέρους δίκτυα και αυτό κυρίως λόγω της κατανεμημένης φύσεώς του. Τα δεδομένα εισέρχονται και εξέρχονται σε κόμβους, διανομείς και δρομολογητές που υπάρχουν σε όλες τις υποδομές ανεξαρτήτως χώρας και ηπείρου. Για παράδειγμα, αίτημα πελάτη στην Ελλάδα για αναπαραγωγή αρχείου πολυμέσων από εξυπηρετητή στις Ηνωμένες Πολιτείες ενδέχεται να περάσει από πάρα πολλά επίπεδα και από πολλές χώρες μέχρι το σήμα (το αίτημά του δηλαδή) να φθάσει αναλλοίωτο στην άλλη χώρα και να επιστρέψει με το σωστό αποτέλεσμα στον προσωπικό του υπολογιστή ή την συσκευή του. Η επιστήμη που κυρίως ασχολείται με τέτοια θέματα διαδικτυακής κίνησης και επεξεργασίας δεδομένων κατά τη μεταφορά ονομάζεται Internet traffic engineering και αποτελείται από άλλους πολλούς κλάδους. Στην Αμερική υπάρχει ένας τέτοιος αντίστοιχος οργανισμός με την επωνυμία Center for Applied Internet Data Analysis (CAIDA) και βρίσκεται στις Ηνωμένες Πολιτείες [32]. Τόσο η επιστήμη αυτή όσο και τα αντικείμενα που μελετούν τα δίκτυα υπολογιστών από πολλές πλευρές, συμβάλλουν στην εξέλιξη των υποδομών, υπηρεσιών, ασφάλειας και μετάδοσης δεδομένων.

Κεφάλαιο 3

Δίκτυα μεγάλης γεωγραφικής έκτασης: ευρείας περιοχής και μητροπολιτικά

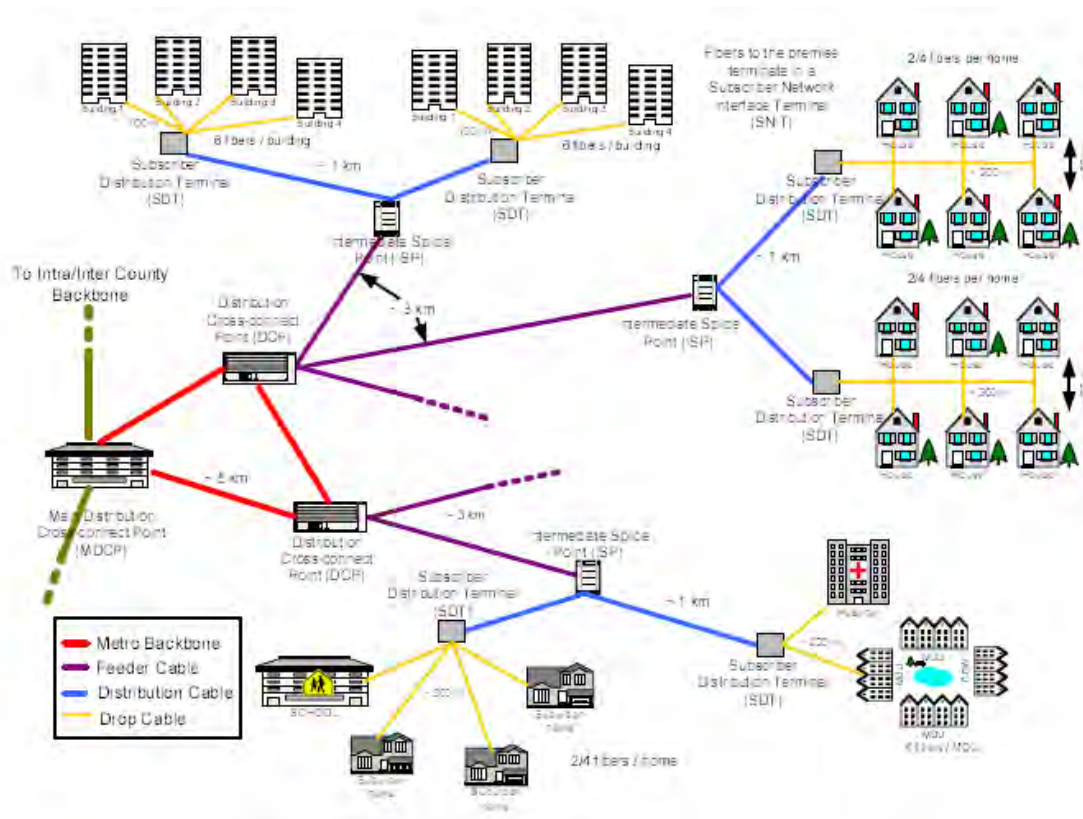
3.1 Η ανάγκη για την κάλυψη μεγάλων περιοχών

Ένα μητροπολιτικό δίκτυο ή Metropolitan Area Network (MAN) είναι ένα από τα πολλά υπάρχοντα είδη δικτύων υπολογιστών και μπορεί η εμβέλειά τους να κυμαίνεται από κάποια χιλιόμετρα μέχρι και σε επίπεδο κάλυψης παροχέα Διαδικτυακών υπηρεσιών (ISP), συνδυάζοντας κατά αυτό τον τρόπο και δίκτυα τοπικής εμβέλειας [33]. Η κάλυψη που προσφέρουν τα δίκτυα μητροπολιτικής εμβέλειας είναι δυνατόν όχι μόνο να συνδέουν πολλά τοπικά δίκτυα μαζί αλλά και να παρέχουν σε αυτά άμεση πρόσβαση στα ευρείας εμβέλειας δίκτυα που είναι σαφώς μεγαλύτερης κάλυψης. Από την άλλη, ένα δίκτυο ευρείας περιοχής ή Wide Area Network (WAN) εκτείνεται ακόμη περισσότερο, δηλαδή σε επίπεδο χωρών και ηπείρων, και μπορεί να ενσωματώσει τα μικρότερα δίκτυα που είναι τα μητροπολιτικά και τα τοπικού επιπέδου [34, 35]. Θα μπορούσαμε δηλαδή να περιγράψουμε το μητροπολιτικό δίκτυο ως «μεσάζων» μεταξύ των τοπικών δικτύων και δικτύων ευρείας περιοχής και με δυνατότητες σύνδεσης πολλών τοπικών δικτύων ταυτόχρονα και ανεξάρτητα από τις εταιρίες παροχών Διαδικτυακών υπηρεσιών.

Τα δίκτυα μητροπολιτικών περιοχών κάλυψης είναι, με άλλα λόγια, ευρυζωνικά δίκτυα που συνήθως εγκαθίστανται σε πόλεις με παροχή πρόσβασης πολιτών, εταιριών και δήμων μεταξύ αυτών αλλά και γενικά με δυνατότητα πρόσβασης και στο Διαδίκτυο. Ειδικά για την περίπτωση των δήμων, παρέχεται ένα πλήθος δυνατοτήτων και διαφορών υπηρεσιών και μερικά από αυτά είναι και τα παρακάτω [36]:

- Πιο γρήγορο και φθηνότερο Διαδίκτυο
- Ηλεκτρονικές συναλλαγές
- Δυνατότητα απασχόλησης εξ' αποστάσεως
- Τηλεδιασκέψεις χωρίς κόστος, με εικόνα και ήχο

Ωστόσο, η γεωγραφική κάλυψη που παρέχουν τα δίκτυα μητροπολιτικών περιοχών και πέρα των δικών τους ορίων δεν σημαίνει απαραίτητα ότι οι τεχνολογίες πρόσβασης θα πρέπει να είναι διαφορετικές σε περίπτωση ετερογενούς διαμοιρασμού του σήματος. Για παράδειγμα τα δίκτυα κορμού των δικτύων ευρείας περιοχής καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος της κίνησης αλλά και του όγκου δεδομένων, και για το λόγο αυτό προσφέρουν πολύ μεγάλες ταχύτητες. Η πρόσβαση από τα δίκτυα τοπικής εμβέλειας προς τα ευρείας γίνεται μεν σε μικρότερες ταχύτητες αλλά από τη στιγμή που το σήμα επεκταθεί γεωγραφικά σε ευρείας, το εύρος ζώνης αυξάνει σύμφωνα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά της ευρείας κάλυψης τη στιγμή εκείνη. Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε την αρχιτεκτονική πολλών τοπικών και μητροπολιτικών δικτύων ενωμένα μεταξύ τους. Το κάθε κομμάτι υποστηρίζει συγκεκριμένο εύρος ταχυτήτων που διαμοιράζεται και ανάλογα με τον αριθμό των συνδρομητών που είναι ικανό να υποστηρίξει.



Σχήμα 17: Τοπικά και μητροπολιτικά δίκτυα επικοινωνιών σε ευρεία πρόσβαση [37]

Όσο προχωρούμε παραπάνω, δηλαδή προς τα δίκτυα ευρείας περιοχής, οι ταχύτητες πρόσβασης αυξάνουν και κυμαίνονται της τάξεως από 1 έως μερικά Gigabit per second

(1 Gbps = 10^9 bps). Αντίθετα οι προσβάσεις τοπικού χαρακτήρα, π.χ. μέσω ασύρματου οικιακού δρομολογητή (wireless router) ή εξωτερικής κεραίας μικρής εμβέλειας ενός δικτύου δήμου, ανέρχονται της τάξεως αρκετών δεκάδων Megabit per second (1 Mbps = 10^6 bps). Έτσι, επιτυγχάνεται μια ετερογενής δομή προσβάσεων προς όφελος των συνδρομητών μέχρι και σε παγκόσμιο επίπεδο που μπορεί να υποστηρίξει τεράστιους όγκους δεδομένων μέχρι και κάποια Exabyte ανά χρόνο [38]. Σημειώνεται ότι 1 EB = 10^{18} Bytes. Σε αυτήν την κλίμακα ο όγκος πληροφοριών, επειδή είναι τεράστιος, έχει αντίκτυπο όχι μόνο στους παρόχους τηλεπικοινωνιών και Διαδικτυακών υπηρεσιών αλλά και στον ίδιο το χρήστη με την έννοια της ποιότητας και εμπειρίας (quality of service, quality of experience).

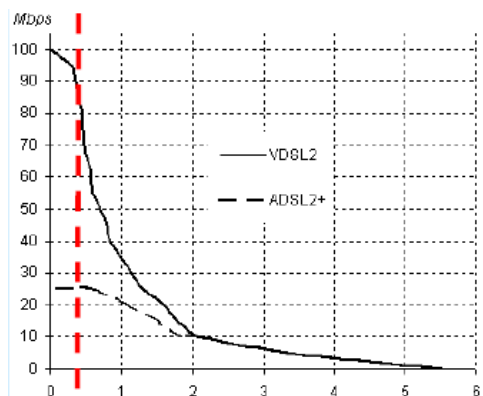
Ο χρόνος πλοήγησης στο Διαδίκτυο εξαρτάται από τον όγκο δεδομένων της εφαρμογής αλλά και από την ταχύτητα που κάποιο αρχείο «κατεβαίνει» (κοινώς download). Ενδεικτικά, σε μια σύνδεση μερικών Megabit/sec για να γίνει ολοκληρωμένη λήψη ενός απλού αρχείου μερικών Megabytes (MB) χρειάζονται κάποια λεπτά της ώρας, ενώ το ίδιο αρχείο σε μια ευρυζωνική σύνδεση σε δίκτυο ευρείας εμβέλειας είναι δυνατόν να πετύχει τη λήψη σε μερικά δευτερόλεπτα, τουλάχιστον θεωρητικά. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται και άλλα τέτοια παραδείγματα για την κατανόηση του χρόνου λήψης συναρτήσει του όγκου δεδομένων της εφαρμογής ή του αρχείου. Οι τύποι αρχείων, ανάλογα με την εφαρμογή που προορίζονται, έχουν κάποια MB όγκου. Εάν η πρόσβαση είναι χαμηλής ταχύτητας όχι μόνο θα αργήσει κατά πολύ η λήψη, αλλά ενδέχεται και να δώσει «σφάλμα κατεβάσματος» (downloading error) και να διακοπεί τελείως. Αντίθετα, οι προσβάσεις κορμού εγγυώνται σχεδόν πάντα μια αρκετά καλή ποιότητα στις ταχύτητες σύνδεσης που προσφέρουν.

File Type	File Size	1.5 Mbps	25 Mbps	100 Mbps
Video Clip	10 MB	00:58	00:03	00:01
PowerPoint	30 MB	02:56	00:10	00:02
Photoshop	300 MB	29:20	01:45	00:26
eTextbook	500 MB	48:53	02:56	00:44
Cloud Data	1 GB	1:40:07	06:00	01:30
Raw Video	8 GB	13:21:07	48:03	12:00

Πίνακας 2: Τύποι αρχείων, χρόνος λήψης και ταχύτητα σύνδεσης [39]

3.2 Οι τεχνικές απαιτήσεις στα ευρεία και μητροπολιτικά δίκτυα

Τα τελευταία 5-7 χρόνια έχουν εξαπλωθεί συσκευές ευρείας χρήσεως που, εκτός των άλλων, μπορούν να συνδέονται και στο Διαδίκτυο όπως τα smart phones, τα i-phones, οι τηλεοράσεις τύπου smart TVs και συσκευές που μπορούμε να τις έχουμε πάντοτε μαζί μας (wearable devices). Επί προσθέτως, πανεπιστήμια, επιχειρήσεις και εταιρίες χρησιμοποιούν ολοένα και περισσότερο τη μέθοδο των τηλεδιασκέψεων για τις ανάγκες επικοινωνίας, με τουλάχιστον έξι στις δέκα εταιρίες να επιλέγουν αυτό τον τρόπο [40]. Επίσης, σε πολλές περιπτώσεις δικτύων τύπου Cloud storage η ταχύτητα λήψης αρχείων κατά μέσο όρο υπολογίζεται σε τουλάχιστον 12 Megabit per second, ενώ το «ανέβασμα» (uploading) πληροφοριών δεν είναι λιγότερο από 2 Megabit per second [41]. Όλα αυτά τα στοιχεία αποδεικνύουν την ολοένα αυξανόμενη ανάγκη για μεγάλες ευρυζωνικές ταχύτητες. Σε αυτό το πλαίσιο, είναι σχεδόν βέβαιο ότι οι περισσότερες εταιρίες έχουν ως στρατηγική την εγκατάσταση ευρυζωνικών τεχνολογιών όσο το δυνατόν συντομότερα για να παρθούν υπ' όψιν και οι τυχόν μελλοντικές εξελίξεις. Για παράδειγμα οι τεχνολογίες ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) και VDSL (Very-high bit-rate Digital Subscriber Line) έκαναν στην Ελλάδα την εμφάνισή τους περίπου στις αρχές της δεκαετίας του 2000. Τότε είχε υπολογιστεί ότι σε κάποιο βάθος χρόνου η ζήτηση θα υποχωρούσε και τελικά θα σταματούσε ενώ στην αρχή αυτής της τεχνολογίας η ζήτηση θα ήταν τεράστια, άρα και το προσφερόμενο εύρος ζώνης θα έπρεπε να είναι ανάλογο των εκάστοτε καταστάσεων. Στην γραφική παράσταση της επόμενης εικόνας φαίνεται στην αρχή της εμφάνισης των ADSL και VDSL οι μεγάλες ταχύτητες πρόσβασης, που με την πάροδο του χρόνου όλο και μειώνονται.



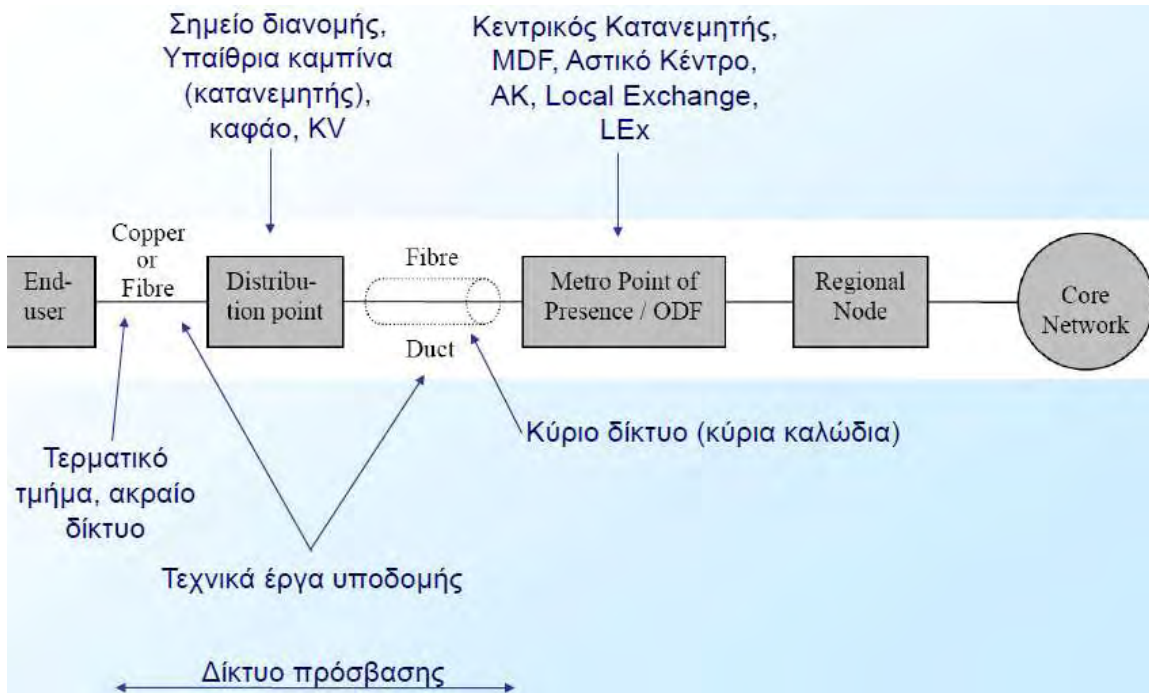
Σχήμα 18: Πρόσβαση ταχυτήτων ADSL και VDSL [42]

Παρόλα αυτά, οι απαιτήσεις ενός μητροπολιτικού δικτύου MAN είναι μεσαίων προς υψηλών ταχυτήτων πρόσβασης και μπορεί το δίκτυο να είναι ιδιόκτητο από μόνο μια εταιρία αλλά και από πολλές [43, 44]. Αυτό ίσως να σημαίνει, σε αντίθεση με τις τεχνολογίες ADSL και VDSL, ότι η ζήτηση εδώ δεν προβλέπεται να μειωθεί αλλά – απεναντίας – να αυξηθεί τα επόμενα χρόνια, μιας και παρατηρούμε ολοένα την επέκταση των μητροπολιτικών δικτύων σε πολλούς δήμους της χώρας. Απόδειξη αυτού είναι η εγκατάσταση διάφορων σημείων ασύρματων προσβάσεων (μέσω Wi-Fi σύνδεσης) σε μεγάλες πόλεις με εξαιρετικά καλές ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων, με την πρόσβαση να είναι δωρεάν. Βέβαια στην περίπτωση των μητροπολιτικών δικτύων, αλλά και των δικτύων ευρείας περιοχής, που χρησιμοποιούν Asymmetric Digital Subscriber Line, οι πάροχοι τηλεπικοινωνιών έχουν αντικαταστήσει την τεχνολογία αυτή με την πάροδο του χρόνου με ευρυζωνικού τύπου συνδέσεις (Broadband Internet) που είναι πιο εξελιγμένης μορφής και προσφέρει παράλληλα μεγαλύτερες ταχύτητες [45].

Όσον αφορά την σύνδεση των χρηστών στα μητροπολιτικά δίκτυα μιας πόλης, αυτή ξεκινάει από το πρώτο στάδιο (την συσκευή του συνδρομητή) και καταλήγει στον κορμό της κύριας πρόσβασης και έπειτα σε δίκτυο ευρείας περιοχής, ανάλογα με τον τόπο προορισμού του αρχικού αιτήματος που συνήθως καταλήγει στο Διαδίκτυο ή κάποιο άλλο δίκτυο εκτεταμένου γεωγραφικού μεγέθους. Οι κυριότερες τεχνολογίες σύνδεσης, μέσω των οποίων γίνεται συνήθως η πρόσβαση στα μητροπολιτικά δίκτυα, διαφέρουν μεταξύ τους. Γενικά, όμως, μπορούμε αυτές να τις κατατάξουμε, μεταξύ των άλλων, στις παρακάτω περιπτώσεις [46]:

- Το Synchronous Optical Networking (SONET) and Synchronous Digital Hierarchy (SDH) ή αλλιώς SONET/SDH
- Το Gigabit Ethernet
- Το Asynchronous transfer mode ή αλλιώς ATM
- Το Πρωτόκολλο Διαδικτύου – Internet Protocol (IP)

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται ένα μπλοκ διάγραμμα ενός τυπικού μητροπολιτικού δικτύου και τα μέρη από τα οποία αυτό αποτελείται. Ενδεικτικά παρατηρούμε τα συστατικά στοιχεία που υπάρχουν πριν από το κύριο μέρος της σύνδεσης του MAN σε δίκτυο ευρείας περιοχής.



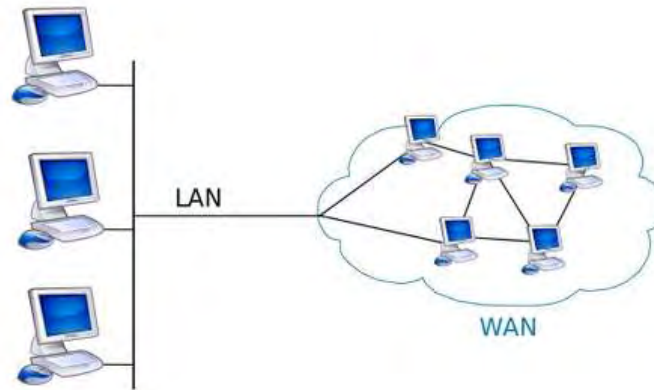
Σχήμα 19: Παράδειγμα επί μέρους στοιχείων της μητροπολιτικού δικτύου [42]

Οι παραπάνω τεχνολογίες των MAN έχουν επικρατήσει σε χώρες εντός και εκτός Ευρώπης, με αποκλειστική χρήση πλέον του πρωτοκόλλου Διαδικτύου (Internet Protocol) να υπερισχύει αλλά και να ενσωματώνει όλα τα προηγούμενα. Ακολουθεί μια συνοπτική ανάλυση του κάθε πρωτοκόλλου της επόμενης ενότητας, αμέσως μετά την περιγραφή των δικτύων ευρείας περιοχής και των μητροπολιτικών.

3.3 Τα δίκτυα ευρείας περιοχής

Ένα δίκτυο ευρείας περιοχής ή αλλιώς Wide Area Network (WAN) είναι συνήθως ένα δίκτυο επικοινωνιών που μπορεί να παρέχει πρόσβαση σε επίπεδο εταιριών τηλεπικοινωνιακών παρόχων (π.χ. ο Οργανισμός Τηλεπικοινωνιών Ελλάδος) εντός μιας χώρας και να εκτείνεται γεωγραφικά μέχρι και μια ολόκληρη ήπειρο. Αυτό σημαίνει ότι έχουν την δυνατότητα να συνδέουν όλα τα επί μέρους μικρότερης εμβέλειας δίκτυα υπολογιστών – ενσύρματα και ασύρματα, μητροπολιτικά, τοπικά και προσωπικά – σε μια ενιαίου τύπου υποδομή που παρέχει την επικοινωνία όλων των συσκευών ανά μεταξύ τους [34]. Για αυτό το λόγο τα δίκτυα ευρείας περιοχής είναι επί το πλείστον

ετερογενή (heterogeneous) ως προς την τεχνολογία, τη φυσική υποδομή, και το είδος σύνδεσης. Αυτό όμως δεν έχει κάποια ουσιαστική επίδραση στην ποιότητα της σύνδεσης, μιας και η ετερογενής μορφή αυτών των πολύπλοκων δικτύων είναι συνήθως αναπόφευκτη.



Σχήμα 20: Απλή αναπαράσταση δικτύου ευρείας περιοχής [34]

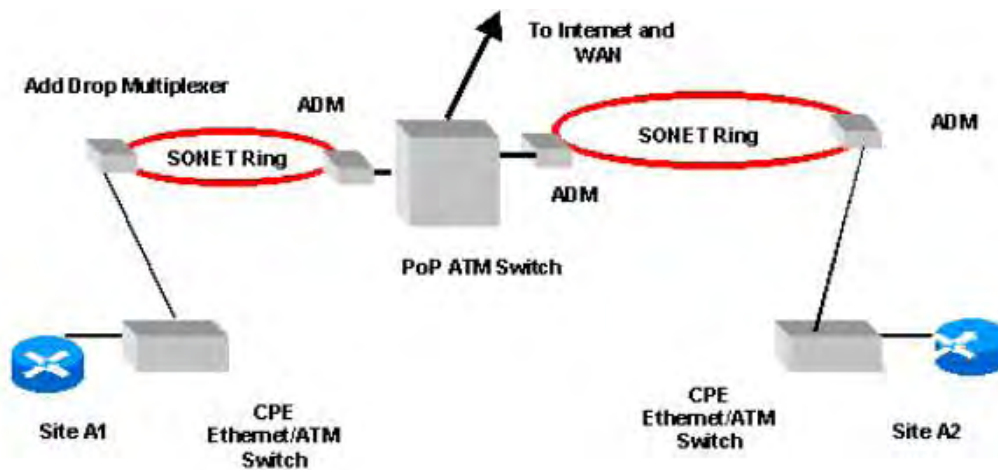
Από αυτό το γεγονός της ετερογενούς φύσεως των δικτύων αυτών, μπορεί να καταλάβει κανείς ότι οι επί μέρους προσβάσεις μπορεί να είναι τελείως διαφορετικές και ως προς το μέσο διάδοσης και ως προς την εμβέλεια αλλά και ως προς την όλη αρχιτεκτονική του εκάστοτε μικρότερου δικτύου. Γενικά, όμως, πολλά δίκτυα ευρέων περιοχών έχουν ως μέσο σύνδεσης οπτικές ίνες (optical fibers) στον κύριο κορμό τους, οπότε μπορεί να χαρακτηριστούν και οπτικά δίκτυα επικοινωνιών (optical communication networks). Τα οπτικά δίκτυα προσφέρουν υψηλές ταχύτητες πρόσβασης με πολύ καλή ποιότητα υπηρεσιών (quality of service, QoS). Στη χώρα μας άρχισαν να αντικαθιστούν τα απλά δίκτυα κορμού γύρω στο 2000, όπου τότε ο Οργανισμός Τηλεπικοινωνιών Ελλάδος αναβάθμισε εν μέρει και σταδιακά το δικό του δίκτυο. Σε πολλές περιπτώσεις τέτοιων ευρέων δικτύων, η ποιότητα στην ταχύτητα επικοινωνίας δεδομένων είναι εξαιρετική, φθάνοντας κάποια εκατοντάδες Mbps και εκτείνεται μέχρι και αρκετά Gbps στην λήψη (downlink) και μετάδοση (uplink) για συνδέσεις Πανεπιστημίων, μεγάλων εταιριών, ερευνητικών κέντρων κλπ. Έχει προταθεί από τα εργαστήρια AT&T ότι η ταχύτητα μπορεί κάποια στιγμή στο μέλλον να φτάσει και τα 400 Gbps [47]. Όσον αφορά τους κύριους παράγοντες που παίζουν ρόλο στην ποιότητα αλλά και στην εξασθένιση σε

διάφορες βαθμίδες των οπτικών δικτύων, είναι, εκτός των άλλων, η οπτική ασυμμετρία των καναλιών αλλά και διασπορά του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος [48].

Τα δίκτυα ευρείας περιοχής είναι επίσης, με άλλη ερμηνεία, δίκτυα επικοινωνιών που εκτείνονται σε περιοχές, χώρας, ακόμα και μέχρι όλο τον πλανήτη [49]. Σε κάθε περίπτωση πάντως οι δυνατότητές τους φτάνουν της να συνδέουν χρήστες από όλο τον κόσμο από πάσης φύσεως δίκτυα με τις προδιαγραφές του μοντέλου OSI και με τη στοίβα πρωτοκόλλων TCP/IP.

3.4 Τα μητροπολιτικά δίκτυα

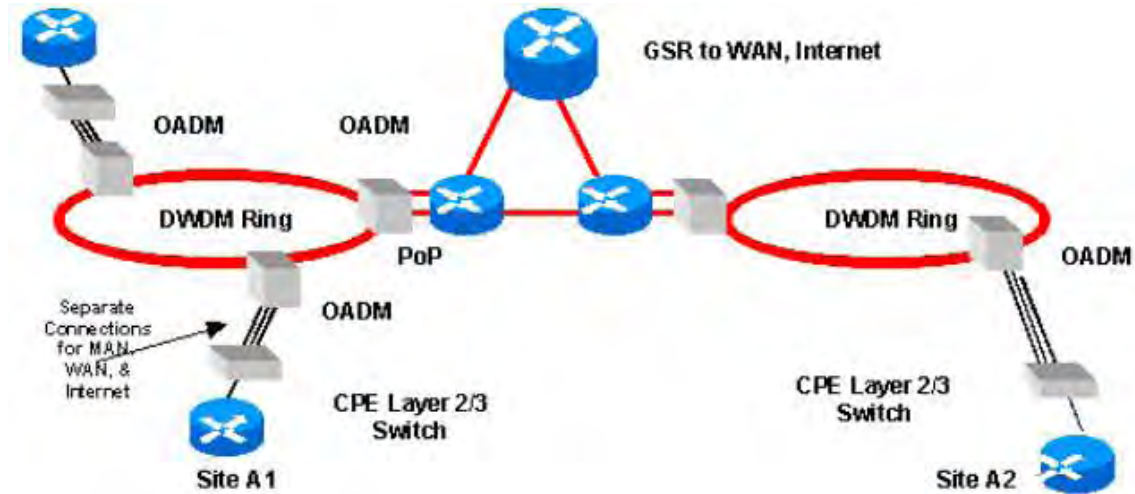
Ένα μητροπολιτικό δίκτυο ή αλλιώς Metropolitan Area Network (MAN) είναι ικανό να συνδέει πολλά τοπικά δίκτυα μεταξύ τους και, φυσικά, να παρέχει πρόσβαση και στην πιο πάνω βαθμίδα δηλαδή στα δίκτυα ευρείας περιοχής. Όπως προαναφέρθηκε στη ενότητα 3.2, τα μητροπολιτικά δίκτυα χρησιμοποιούν κυρίως μια εκ των τεσσάρων τεχνολογιών πρόσβασης. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ένα μητροπολιτικό δίκτυο το οποίο χρησιμοποιεί ATM με συνδυασμό SONET/SDH [50].



Σχήμα 21: Αναπαράσταση μητροπολιτικού δικτύου με ATM και SONET/SDH [50]

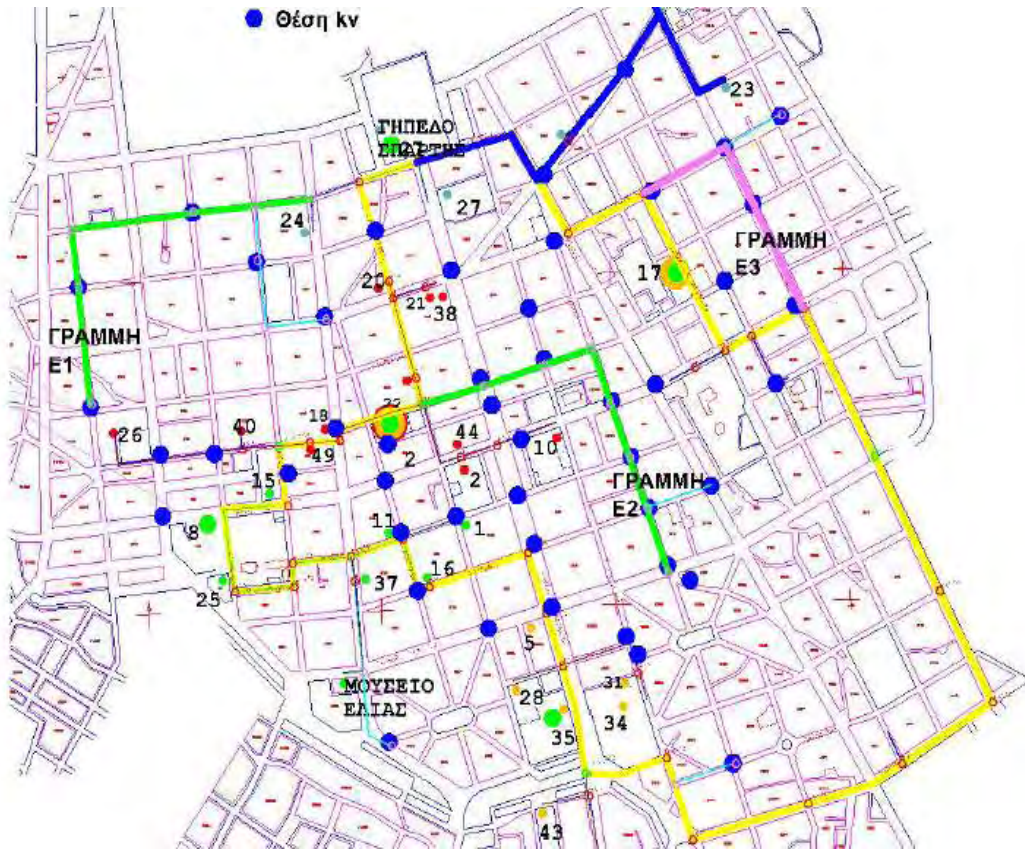
Στην αμέσως επόμενη εικόνα βλέπουμε ένα ξανά ένα μητροπολιτικό δίκτυο αλλά με τεχνολογία Internet Protocol που περνάει από δακτυλίους με μήκος κύματος πυκνής πολυπλεξίας ή αλλιώς Internet Protocol over Dense Wavelength Division Multiplexing

(IP over DWDM). Το πλεονέκτημα που προσφέρει η αρχιτεκτονική αυτή είναι ότι κάποιος πελάτης μπορεί να συνδέσει δυο δικτυακούς τόπους με το να μισθώσει ένα ολόκληρο μήκος κύματος [50].

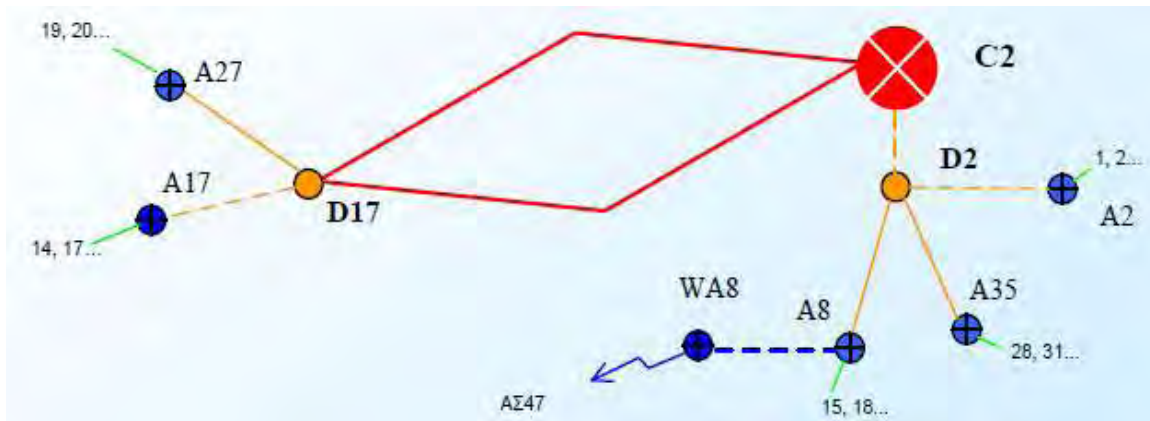


Σχήμα 22: Αναπαράσταση μητροπολιτικού δικτύου με IP over DWDM [50]

Οπτικές ίνες δεν χρησιμοποιούνται μόνο στη μεγάλη βαθμίδα των δικτύων ευρείας περιοχής, αλλά και σε πολλές περιπτώσεις στις μητροπολιτικές συνδέσεις των Δήμων. Στο σχεδιασμό αυτό προβλέπονταν ότι ο συνολικός αριθμός των οπτικών μητροπολιτικών δικτύων σε διάφορες πόλεις θα ανέρχεται σε 75 μέχρις ότου να ολοκληρωθούν οι εγκαταστάσεις σε όλη την χώρα [36]. Ένα τέτοιο χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι και η περίπτωση της επέκτασης του μητροπολιτικού δικτύου της πόλεως της Σπάρτης, όπου χρειάστηκαν συνολικά 35 KV του ΟΤΕ (επόμενη εικόνα 23) [42]. Η επέκταση αυτή στη πρώτη της φάση υποστηρίχθηκε από οπτικά καλώδια με συνολικό μήκος 28 χιλιομέτρων και το σχέδιο περιελάμβανε ένα κύριο κόμβο, δυο κόμβους διανομής και άλλους πέντε κόμβους πρόσβασης, ενώ κατά την ίδια φάση ο προϋπολογισμός έφτανε το ένα εκατομμύριο ευρώ [42]. Στο σχήμα 23 φαίνονται τα κεντρικά KV που χρησιμοποιήθηκαν με σκοπό για την επέκταση, ενώ στην μεθεπόμενη εικόνα 24 παριστάνεται το διάγραμμα του δικτύου με τις γραμμές πρόσβασης διάφορων σημείων της πόλεως. Οι μπλε, πορτοκαλί και κόκκινοι κόμβοι είναι διάφορες δημοτικές εγκαταστάσεις, σχολεία, σύλλογοι, γυμναστήρια κλπ. [42].



Σχήμα 23: Η επέκταση του μητροπολιτικού δικτύου της Σπάρτης [42]



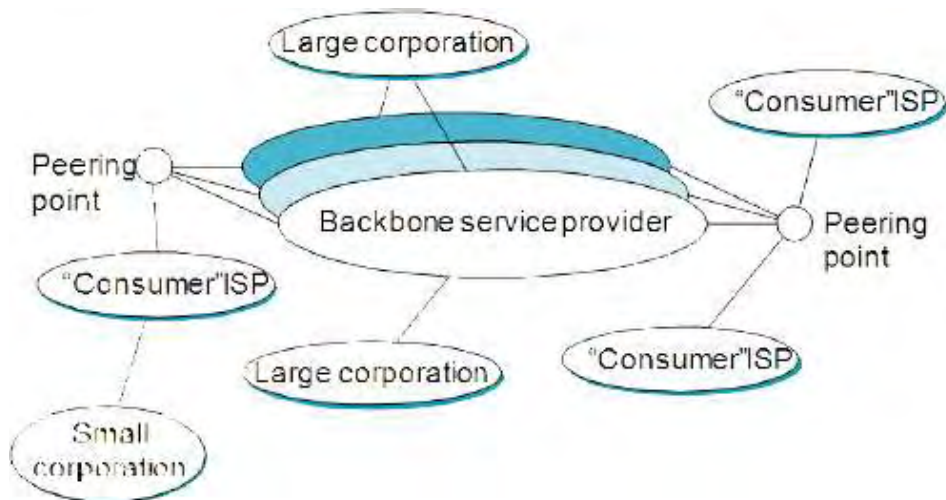
Σχήμα 24: Οι κόμβοι του μητροπολιτικού δικτύου της Σπάρτης [42]

Σε γενικές γραμμές, ο χρόνος και το κόστος εγκατάστασης που απαιτούνται για τη σωστή αναβάθμιση ή κατασκευή ενός μητροπολιτικού δικτύου, εξαρτώνται κατά πολύ

από την υπάρχουσα υποδομή και πως αυτή θα αξιοποιηθεί καλύτερα. Στις περισσότερες χώρες εντός και εκτός Ευρώπης, μια τυπική πόλη μπορεί να διαθέτει υποδομές για μητροπολιτικά δίκτυα που εκτείνονται συνήθως στα κεντρικότερα σημεία και στους πιο κεντρικούς δρόμους που περνάνε μέσα από αυτές τις πόλεις. Υπάρχουν και ενσύρματα μητροπολιτικά δίκτυα αλλά και ασύρματα, ωστόσο, η ασύρματη πρόσβαση (Wireless Metropolitan Network ή αλλιώς WMAN) αποτελεί την πιο συνηθισμένη περίπτωση για το σκοπό αυτό και αρκεί η ισχύς μετάδοσης των εκάστοτε κεραιών να είναι αρκετά μεγάλη, έτσι ώστε να καλύπτει όχι μόνο τις κεντρικές μητροπολιτικές αρτηρίες, αλλά και τα πιο απομακρυσμένα σημεία εντός και μερικές φορές εκτός των ορίων των Δήμων.

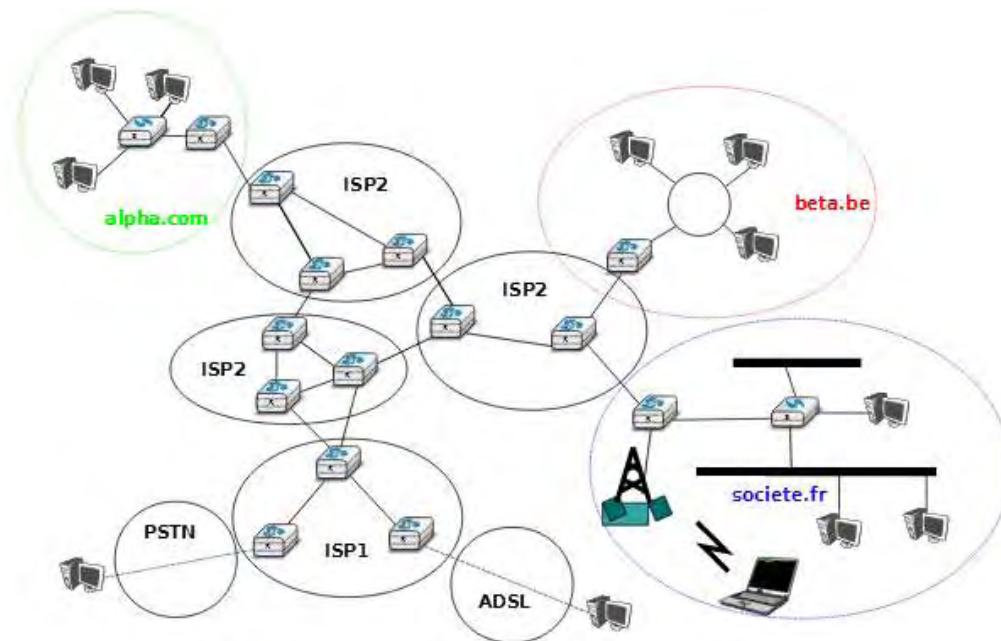
3.5 Τεχνολογίες σύνδεσης και πρόσβασης

Όπως αναλύσαμε, όλα τα δίκτυα επικοινωνιών που είναι μεγάλης εμβέλειας μπορούν να ενσωματώνουν τα πιο μικρής σε έκταση δίκτυα, έτσι ώστε τα τελευταία να έχουν πρόσβαση και στα παραπάνω επίπεδα. Εάν πάρουμε τυχαία ένα οποιοδήποτε είδος επικοινωνίας, το πιο πιθανό είναι να τύχουμε σε μια ευρείας περιοχής συνεδρία (session), η οποία θα διαθέτει τουλάχιστον ένα δίκτυο κορμού (backbone network). Ένα τέτοιο τυπικό παράδειγμα φαίνεται σχηματικά στην αμέσως επόμενη εικόνα.



Σχήμα 25: Δίκτυο κορμού και επί μέρους δίκτυα [7]

Εδώ, οι διαφορετικοί πάροχοι κορμού έχουν ως κύριο ρόλο να προσφέρουν υψηλές ταχύτητες πρόσβασης όσον αφορά το δικό τους μέρος, ώστε και τα υπόλοιπα δίκτυα ή οι υπόλοιπες ομάδες δικτύων να έχουν όσο το δυνατόν πιο αξιόπιστη επικοινωνία μεταξύ τους. Βέβαια από την άλλη, δεν είναι αποτελεί αναγκαστικά υποχρέωση μόνο και μόνο του δικτύου κορμού να προσφέρει αποδοτική αξιοπιστία στο όλο σύστημα, αλλά είναι σαφώς προϋπόθεση και των υπόλοιπων δικτύων να συμμετέχουν με επίσης υψηλές αποδόσεις. Αυτό όμως ισχύει συνήθως για συστήματα που χρησιμοποιούν εξολοκλήρου αξιόπιστες συνδέσεις και δεν περιορίζονται για παράδειγμα σε τοπικές ασύρματες ζεύξεις ή σε πιο παλιές τεχνολογίες των οποίων η ταχύτητα και ποιότητα είναι αμφιβόλου αποδοτικότητας. Για παράδειγμα, όταν ένα αρκετά μεγάλο δίκτυο υπολογιστών συνδέει μικρότερα δίκτυα, είναι πολύ συνηθισμένο μια ομάδα από αυτά να έχει χαμηλές ταχύτητες πρόσβασης, όπως στην περίπτωση ενός μεγάλου δικτύου του επόμενου σχήματος.



Σχήμα 26: Περίπτωση δικτύου που συνδέει μικρότερα δίκτυα επικοινωνιών [51]

Οι πάροχοι σύνδεσης στο Διαδίκτυο αποτελούν συνήθως δίκτυα ευρείας περιοχής αλλά ταυτόχρονα και υποδίκτυα, μέσα στα οποία υπάρχουν επίσης πολλών ειδών δίκτυα με διαφορετικές εμβέλεις και τεχνολογίες πρόσβασης. Ως γνωστόν, οι ταχύτητες των ασυρμάτων δικτύων μπορεί να είναι από χαμηλές έως αρκετά υψηλές, επομένως δεν

είναι κάτι σίγουρο και δεδομένο όπως για παράδειγμα οι ενσύρματες επικοινωνίες των μεγάλων οπτικών δικτύων. Σε αυτά τα δίκτυα χρησιμοποιούνται τεχνολογίες που λέγονται και αλλιώς οπτικοί φορείς (optical carriers) που προσφέρουν μεγάλες ταχύτητες πρόσβασης, μέχρι και τεχνολογίας OC-768 που μπορεί να φτάσει θεωρητικά μέχρι και τα 38 Gigabit/sec [52, 53]. Ένα τέτοιο σύστημα λοιπόν καλείται να ενσωματώσει και άλλα δίκτυα με πολύ χαμηλότερες προσβάσεις, όπως αυτές αρκετών ασύρματων τεχνολογιών αλλά και παλαιότερες περιπτώσεις όπου τότε χρησιμοποιούνταν αποκλειστικά το δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο ή αλλιώς Public Switched Telephone Network (PSTN). Αν και χρησιμοποιήθηκε ευρέως στην δεκαετία του 1990, ισχύει μέχρι και σήμερα κυρίως σε οικιακά δίκτυα για σήματα ομιλίας μέσω δικτύων ευρείας περιοχής, γνωστή και ως τεχνολογία Voice over IP. Παρόμοιο σύστημα με αυτό, αλλά με πολύ καλύτερες ταχύτητες και γενικά καλύτερο σε εξυπηρέτηση, υπήρξε το αναβαθμισμένο ψηφιακό δίκτυο ενοποιημένων υπηρεσιών ή αλλιώς Integrated Services Digital Network (ISDN), το οποίο υποστήριζε πρόσβαση στο Διαδίκτυο με παράλληλη χρήση τηλεφωνικών διαλέξεων. Για το λόγο αυτό ένα δίκτυο τύπου ISDN είχε τη δυνατότητα επικοινωνίας μέσω δυο ανεξάρτητων καναλιών – ένα για πρόσβαση στο Διαδίκτυο και ένα επί πλέον για τηλεφωνία – με ταχύτητα μετάδοσης αρχικά στα 128 Kbps και έπειτα έως 256 Kbps.

Σήμερα, παρόλα αυτά, οι τεχνολογίες που έχουν εξελιχθεί μέσω των παλαιότερων ADSL, VDSL και γενικά των Digital Subscriber Line γραμμών, έχουν ως βάση τις επόμενες γενιές πρόσβασης επικοινωνιών και ειδικά αυτές των δικτύων τέταρτης γενιάς (4G ή αλλιώς Fourth Generation) και της πέμπτης γενιάς (5G ή αλλιώς Fifth Generation). Αυτά τα δίκτυα αφορούν προσβάσεις ασυρμάτου τύπου τα οποία όμως παράλληλα ενσωματώνουν και τις ενσύρματες τεχνολογίες πρόσβασης σε περιπτώσεις που πρόκειται για ετερογενής τύπου σύνδεση, όπως περιγράψαμε και σε προηγούμενες ενότητες. Στο παρακάτω διάγραμμα βλέπουμε την εξέλιξη των ασυρμάτων τεχνολογιών στα δίκτυα των εκάστοτε γενεών, τις κύριες χρονολογίες που εμφανίστηκαν στην αγορά καθώς και τις ταχύτητες πρόσβασης.



Σχήμα 27: Η εξέλιξη στα ασύρματα δίκτυα επικοινωνιών [29]

Να σημειωθεί ότι τα παραπάνω ισχύουν μόνο για τα ασύρματα τύπου δίκτυα επικοινωνιών, όπου οι συνδέσεις γίνονται μέσω των σταθμών βάσης κινητής τηλεφωνίας από τις αντίστοιχες εταιρίες, δημόσιες ή ιδιωτικές. Για τις καθαρά ενσύρματες προσβάσεις κύριο λόγο έχουν τα οπτικά δίκτυα με τις υψηλές ταχύτητες που προσφέρουν και που, όπως περιγράφηκε, μπορούν να υποστηρίξουν ταχύτητες μέχρι και αρκετά Gigabit per second.

3.6 Τα πρωτόκολλα και οι τεχνολογίες πρόσβασης

Γενικά τα δίκτυα υπολογιστών διέπονται από κάποιους κανόνες στη δομή επικοινωνίας τους, μεταξύ τους και με άλλα δίκτυα, λόγω της πολυπλοκότητάς τους αλλά και με βάση τις καθορισμένες διαδικασίες που πρέπει να ακολουθήσουν. Οι κυριότερες τεχνολογίες πρόσβασης είναι οι παρακάτω:

A. Το Synchronous Optical Networking (SONET) and Synchronous Digital Hierarchy (SDH) ή αλλιώς SONET/SDH

B. Το Gigabit Ethernet

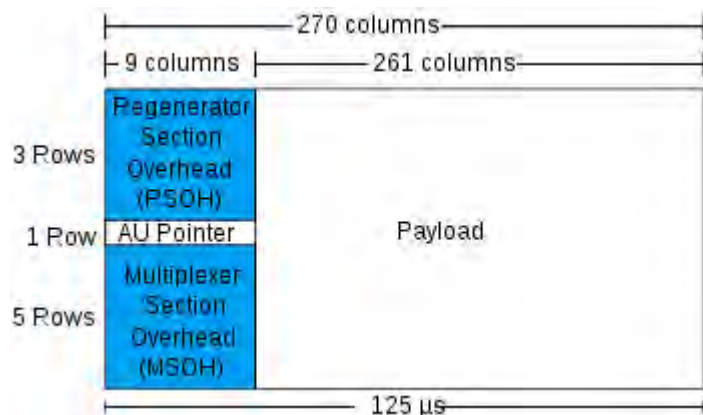
Γ. Το Asynchronous Transfer Mode ή αλλιώς ATM

Δ. Το Πρωτόκολλο Διαδικτύου

Η καθεμία από αυτές τις περιπτώσεις έχει διαφορετική αρχιτεκτονική στην επικοινωνία, επί μέρους κανόνες λειτουργίας στη μετάδοση των δεδομένων καθώς και διαβαθμίσεις στις ταχύτητες πρόσβασης. Πιο αναλυτικά, η κάθε τεχνολογία έχει τα κυριότερα εξής χαρακτηριστικά, τα οποία αναλύονται ξεχωριστά.

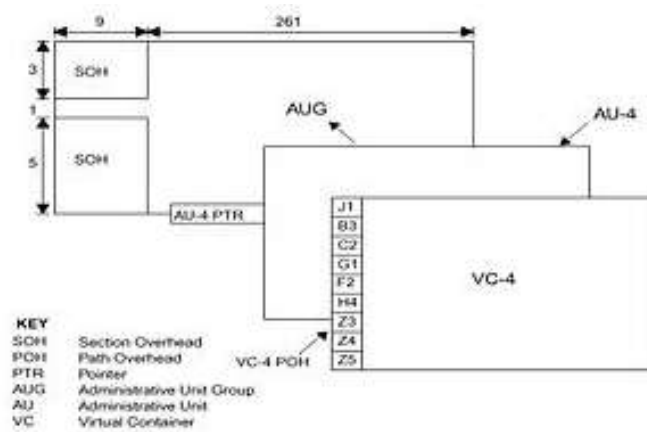
To Synchronous Optical Networking (SONET) and Synchronous Digital Hierarchy (SDH) ή αλλιώς SONET/SDH:

Τα δίκτυα που χρησιμοποιούν τεχνολογία SONET/SDH είναι σάνταρ τύπου πρωτόκολλα που μεταδίδουν ροές δεδομένων μέσω οπτικών ινών χρησιμοποιώντας λέιζερ ή διόδους φωτός γνωστές και ως light-emitting diodes ή αλλιώς πιο ευρέως με τον όρο LEDs [54]. Το πλαίσιο (frame) μετάδοσης δεδομένων που χρησιμοποιείται στην τεχνολογία SONET/SDH αποτελείται συνολικά από 270 στήλες και 9 γραμμές και μεταδίδεται κάθε 125 μικροδευτερόλεπτα (microseconds ή αλλιώς μs). Η αρχιτεκτονική του πλαισίου μιας τυπικής SONET/SDH επικοινωνίας τύπου Synchronous Transport Module, level 1 (STM-1) φαίνεται αναλυτικά στα παρακάτω δυο διαγράμματα, όπου διακρίνεται καθαρά η διαβάθμιση των επιπέδων και η διαίρεση των στηλών και γραμμών του περιεχομένου τους.



Σχήμα 28: Το πλαίσιο SDH βασικού τύπου STM-1 [54]

Η τεχνολογία αυτή του Synchronous Transport Module στο βασικό επίπεδο 1 έχει τη δυνατότητα να μεταδίδει 8000 πλαίσια ανά δευτερόλεπτο (μιας και το καθένα από αυτά μεταδίδεται σε χρονικές περιόδους των 125 μικροδευτερολέπτων) στην ταχύτητα των 155.52 Megabit per second σε σύνδεση οπτικού τύπου optical carrier 3 (OC-3).



Σχήμα 29: Η δομή του πλαισίου SDH [54]

Πιο αναλυτικά στο προηγούμενο σχήμα 28 αλλά και όπως φαίνεται και στο παραπάνω σχήμα 29, οι πρώτες τρεις σειρές και εννέα στήλες του πλαισίου αποτελούνται από το regenerator section overhead ή αλλιώς RSOH και οι πέντε τελευταίες σειρές και εννέα στήλες περιέχουν το multiplex section overhead ή αλλιώς MSOH [54]. Η διάταξη των πλαισίων με τον παραπάνω τρόπο καθορίζει το σωστό τρόπο λειτουργίας του Synchronous Optical Networking and Synchronous Digital Hierarchy και την ορθή μετάδοση στα επί μέρους τηλεπικοινωνιακά δίκτυα. Το πρότυπο SDH καθιερώθηκε με βάση τα στάνταρ G.707 [55], G.783 [56], G.784 [57] και G.803 [58, 59], ενώ το πρότυπο SONET σύμφωνα με το T1.105 [60, 61].

Όσον αφορά τις ταχύτητες πρόσβασης, αυτές έχουν διαφορετικό εύρος ζώνης σε κάθε μια περίπτωση που προβλέπεται από τους οπτικούς φορείς (optical carrier), οι οποίοι αποτελούνται από επτά επίπεδα και φαίνονται στον παρακάτω πίνακα. Το κάθε optical carrier είναι πολλαπλάσιο του τέσσερα, αρχίζοντας από το optical carrier 3 των 155 Megabit per second, εκτός από το optical carrier 24 [54].

SONET Optical Carrier level	SONET frame format	SDH level and frame format	Payload bandwidth (kbit/s)	Line rate (kbit/s)
OC-1	STS-1	STM-0	50,112	51,840
OC-3	STS-3	STM-1	150,336	155,520
OC-12	STS-12	STM-4	601,344	622,080
OC-24	STS-24	–	1,202,688	1,244,160
OC-48	STS-48	STM-16	2,405,376	2,488,320
OC-192	STS-192	STM-64	9,621,504	9,953,280
OC-768	STS-768	STM-256	38,486,016	39,813,120

Πίνακας 3: Εύρος ζώνης στο SONET/SDH [54]

Να σημειωθεί ότι ενδιάμεσα αλλά και παραπέρα από τις ταχύτητες πρόσβασης που αναφέρονται αναλυτικά στον παραπάνω πίνακα, υπάρχουν και άλλοι τύποι optical carrier, που ναι μεν έχουν προσδιοριστεί κατά τα επίσημα πρότυπα των Ευρωπαϊκών και Παγκόσμιων Οργανισμών Τηλεπικοινωνιών αλλά συνηθίζουν να μην χρησιμοποιούνται ευρέως, όπως για παράδειγμα τα optical carrier 9, 18, 36, 96, 1536 [62, 63, 64].

To Gigabit Ethernet:

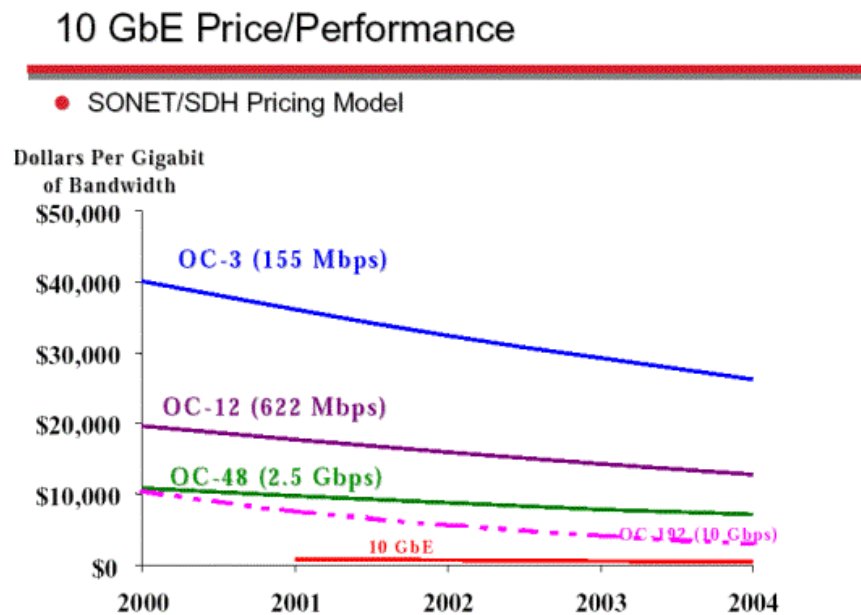
Στα δίκτυα υπολογιστών, ο όρος Gigabit Ethernet ή αλλιώς GbE ή πιο σπάνια 1 GigE, περιγράφει μια ομάδα τεχνολογιών επικοινωνίας υπολογιστών που μεταδίδει πλαίσια Ethernet με ρυθμό μετάδοσης 1 Gigabit per second (1 Gbps) [65, 66]. Να σημειωθεί ότι για τις μονάδες μέτρησης ταχυτήτων πρόσβασης ισχύει το εξής: 1 Gbps = 1000 Mbps = 1000000 Kbps = 1000000000 bps. Το Gigabit Ethernet χρησιμοποιείται ευρέως στις κάρτες δικτύου των ηλεκτρονικών υπολογιστών, μέσω των οποίων συνδέονται δυο ή περισσότεροι υπολογιστές μεταξύ τους σε τοπικό επίπεδο αλλά και για την πρόσβαση του υπολογιστή σε μεγαλύτερα δίκτυα, όπως το Διαδίκτυο αλλά και γενικώς σε μεγαλύτερης εμβέλειας δίκτυα. Το στάνταρ πρότυπο που έχει θεσπιστεί είναι το γνωστό

και αρχικό IEEE 802.3 αλλά και τα πιο εξελιγμένα πρότυπα που στηρίζονται σε αυτό. Υπάρχουν αρκετές διαφοροποιήσεις του Gigabit Ethernet και ως προς την ταχύτητα πρόσβασης αλλά και ως προς το μέσο μετάδοσης, τα οποία ορίζουν και τις προτεινόμενες αποστάσεις για την σωστή μετάδοση των δεδομένων. Η μεταφορά των πληροφοριών στις επικοινωνίες γίνεται είτε με καλώδια χαλκού είτε με οπτικές ίνες. Σε περίπτωση που το μέσο μεταφοράς είναι οπτική ίνα, τότε η απόσταση εκπομπής και λήψης αυξάνονται και οι συχνότητες και τα μήκη κύματος είναι διαφορετικά. Στον παρακάτω πίνακα συμπεριλαμβάνονται οι κυριότεροι τύποι Gigabit Ethernet με τις αντίστοιχες διαρθρώσεις στην απόσταση και το μήκος κύματος.

Name	Medium	Specified distance
1000BASE-CX	Shielded balanced copper cable	25 meters
1000BASE-KX	Copper backplane	1 meter
1000BASE-SX	Multi-mode fiber using 770 to 860 nm wavelength	FDDI (62.5 μm, 160 MHz·km): 220 m OM1 (62.5 μm, 200 MHz·km): 275 m OM2 (50 μm, 500 MHz·km): 550 m
1000BASE-LX	Multi-mode fiber using 1,270 to 1,355 nm wavelength	550 meters
1000BASE-LX	Single-mode fiber using 1,270 to 1,355 nm wavelength	5 km
1000BASE-LX10	Single-mode fiber using 1,260 to 1,360 nm wavelength	10 km
1000BASE-EX	Single-mode fiber at 1,310 nm wavelength	~ 40 km
1000BASE-ZX	Single-mode fiber at 1,550 nm wavelength	~ 70 km
1000BASE-BX10	Single-mode fiber, single-strand: 1,480 to 1,500 nm downstream, 1,260 to 1,360 nm upstream	10 km
1000BASE-T	Twisted-pair cabling (Cat-5, Cat-5e, Cat-6, Cat-7)	100 meters
1000BASE-T1	single, balanced twisted pair cable	15 meters
1000BASE-TX	Twisted-pair cabling (Cat-6, Cat-7)	100 meters

Πίνακας 4: Τύποι Gigabit Ethernet [65]

Σχετικά το Gigabit Ethernet είναι φθηνό μέσο επικοινωνίας αλλά και αρκετά αξιόπιστο. Οι κάρτες δικτύου των υπολογιστών χρησιμοποιούν συνήθως αυτή την τεχνολογία, και η ταχύτητα πρόσβασης εξαρτάται από το εάν πρόκειται για οικιακό δίκτυο, τοπικό ή ευρείας εμβέλειας. Ωστόσο η εκάστοτε κάρτα δικτύου που ενσωματώνεται στους ποικίλους τύπου υπολογιστές, δεν χρειάζεται να υποστεί κάποια ιδιαίτερη αλλαγή ή να αντικατασταθεί σε περίπτωση που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σε διαφορετικού είδους και εμβέλειας δίκτυα. Αυτό είναι ένα μεγάλο πλεονέκτημα που καθιστά το Gigabit Ethernet ευρέως χρησιμοποιούμενο. Για παράδειγμα ένα δίκτυο τύπου SONET/SDH είναι αρκετά ακριβότερο από ένα δίκτυο Gigabit Ethernet στην ταχύτητα των 10 Gigabit per second (10 GbE) [67]. Στο επόμενο σχήμα φαίνεται η σχέση τιμής προς απόδοση για ένα δίκτυο 10 GbE τοπικής (LAN) και μητροπολιτικής (MAN) εμβέλειας σε σχέση με δίκτυο SONET/SDH.



Σχήμα 30: Σχέση τιμής/απόδοσης ενός δικτύου 10 GbE σε σχέση με SONET/SDH [67]

Επί προσθέτως τα δίκτυα Gigabit Ethernet διαθέτουν τεχνολογία η οποία είναι απολύτως συμβατή με άλλα πρωτόκολλα και τεχνολογίες, και αυτό σε επίπεδο συσκευών αλλά και τρόπου μετάδοσης δεδομένων. Η φύση του Gigabit Ethernet είναι έτσι δομημένη ώστε δεν επηρεάζει την εκπομπή και λήψη των πληροφοριών κατά τα στάδια μεταφοράς των

πληροφοριών, είτε αναφερόμαστε σε ομογενές είτε σε ετερογενές δίκτυο επικοινωνιών και από την πλευρά του πελάτη αλλά και από την πλευρά του εξυπηρετητή. Επίσης τα δίκτυα Gigabit Ethernet δεν παρουσιάζουν κάποια ιδιαίτερη δυσκολία στην εγκατάστασή τους με το αντίστοιχο κόστος να κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα [67]. Στον προηγούμενο πίνακα 4 παρατηρούμε τα διάφορα επίπεδα μήκους κύματος και διαθέσιμων αποστάσεων που υποστηρίζει το Gigabit Ethernet, σύμφωνα με τις ποικίλες εκδόσεις. Συνήθως οι οπτικές ίνες σε αυτού του είδους το δίκτυο υποστηρίζουν αποστάσεις έως και 70 περίπου χιλιομέτρων με την έκδοση τύπου 1000 BASE-ZX (σε αντίστοιχο μήκος κύματος 1550 νανομέτρων) με γενικά καλή απόδοση και ποιότητα. Η αναβαθμισμένη έκδοση 1000 BASE-EZX Gigabit Ethernet στο ίδιο μήκος κύματος της εταιρίας Menara Networks μπορεί να δικτυώσει εγκαταστάσεις μέχρι και για αποστάσεις 120 χιλιομέτρων και για ταχύτητες έως και 1.25 Gbps [68]. Σε κάθε περίπτωση όλες οι κατά καιρούς εκδόσεις των καρτών Gigabit Ethernet είναι συμβατές με το υλικό των ηλεκτρονικών υπολογιστών (computer hardware) στις περισσότερες περιπτώσεις, και αυτό έχει ως αποτέλεσμα την εκτενέστατη χρήση τους στα σημερινά συστήματα. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται μια βασικού τύπου κάρτα δικτύου (Network Interface Card ή αλλιώς NIC) 1000 BASE-T της εταιρίας Intel, η οποία ενσωματώνεται απευθείας στις μητρικές πλακέτες των υπολογιστών (computer motherboard) και συγκεκριμένα επάνω στις εσωτερικές θύρες που διαθέτουν οι μητρικές.



Σχήμα 31: Κάρτα δικτύου 1000 BASE-T [65]

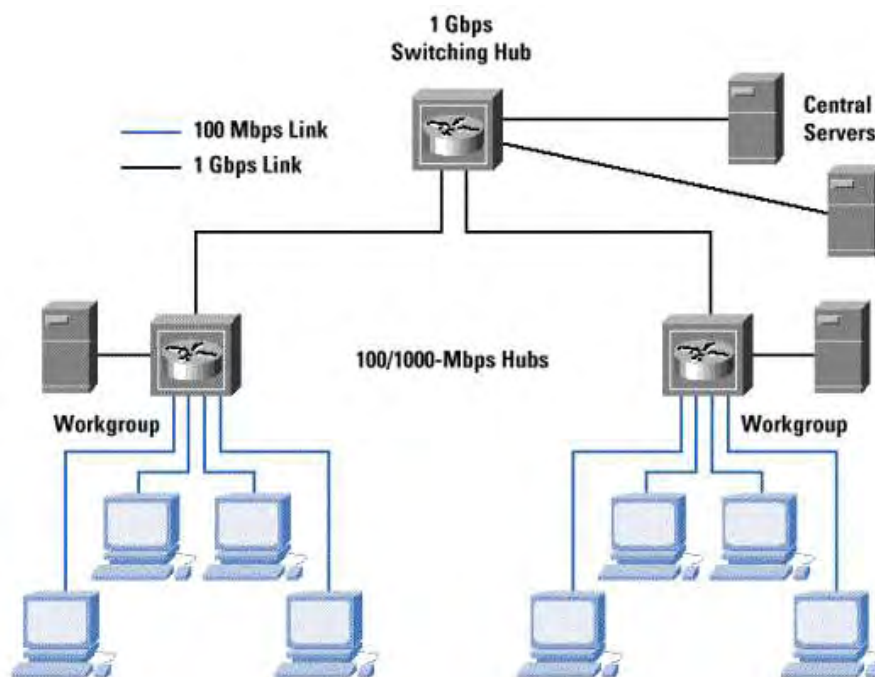
Το Gigabit Ethernet είναι η πιο εξελιγμένη γενιά των παλαιότερων δικτύων προηγούμενων δεκαετιών που χρησιμοποιούσαν την ορολογία Fast Ethernet. Η τεχνολογία Fast Ethernet ήταν σχεδιασμένη να υποστηρίζει ταχύτητες της τάξεως των 100 Megabit per second στα δίκτυα τύπου Ethernet γενικά, αλλά η παράλληλη αύξηση των ταχυτήτων πρόσβασης σε ευρυζωνικά δίκτυα είχε ως αποτέλεσμα την γρήγορη εξέλιξη και στις ταχύτητες των επικοινωνιών με συνδέσεις Ethernet. Αν και ρυθμοί μετάδοσης στα ευρέως τύπου δίκτυα αλλά και στα μητροπολιτικά αυξάνονται, στα τοπικά είδους δίκτυα υπολογιστών οι ρυθμοί μεταφοράς των δεδομένων δεν είναι απαραίτητο να είναι εξίσου υψηλοί. Αυτό συνήθως συμβαίνει σε οικιακά ή προσωπικά δίκτυα όπου δεν απαιτούνται γρήγορες επικοινωνίες χρηστών, εκτός εάν πρέπει να διαμοιράζονται μεταξύ τους μεγάλου όγκου αρχεία και σε συχνές περιόδους. Γενικά μπορούμε να πούμε ότι στις μεγάλες εμβέλειες ζεύξεις απαιτείται σαφέστατα ικανοποιητικό εύρος ζώνης (της τάξεως αρκετών Gigabit per second), ενώ σε μικρότερο επίπεδο κάποιες δεκάδες Megabit per second είναι συνήθως αρκετά τουλάχιστον για τις περισσότερες απλές εφαρμογές. Ενδεικτικά, το απαιτούμενο εύρος ζώνης συναρτήσει των αποστάσεων μπορεί αν δοθεί ως κάτωθι:

- Δίκτυα ευρείας εμβέλειας (πανεπιστήμια, ερευνητικά κέντρα, μεγάλες εταιρίες): έως 100 Gbps
- Δίκτυα ευρείας εμβέλειας (οικιακοί χρήστες αλλά με οπτικές ίνες): έως αρκετά Gbps
- Δίκτυα μητροπολιτικής εμβέλειας: έως 1 Gbps
- Τοπικά και προσωπικά τύπου δίκτυα: έως 100 Mbps

Να σημειωθεί ότι τα παραπάνω ανταποκρίνονται τα τελευταία χρόνια σε πολλές περιπτώσεις, ενώ τις προηγούμενες δεκαετίες (για παράδειγμα στη δεκαετία του 2000) αυτές οι ταχύτητες βρίσκονταν σε πειραματικό στάδιο. Η απότομη αύξηση στις προσβάσεις αλλά και στον αριθμό των συνδρομητών προσαρμόσε τους ρυθμούς μετάδοσης έτσι όπως έχουν τα τελευταία χρόνια. Ειδικά για τα δίκτυα ευρείας εμβέλειας πρέπει πάντοτε να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στο να ικανοποιούνται οι ταχύτητες πρόσβασης, μιας και αποτελούν τον κορμό των δικτύων, σύμφωνα με τις απαιτήσεις των χρηστών για ανάγκη μεγάλου όγκου πληροφοριών. Επίσης σαφώς πρέπει να δίνεται

περαιτέρω προσοχή και στην ποιότητα των υπηρεσιών (quality of service), στην κινητικότητα των χρηστών (mobility) σε περίπτωση που πρόκειται μόνο για ασύρματα δίκτυα αλλά και στην ποιότητα της εμπειρίας των χρηστών (quality of experience). Η τελευταία δεν πρέπει να συγχέεται με την ποιότητα των υπηρεσιών, διότι η εμπειρία των χρηστών αποτελεί κυρίως υποκειμενικό κριτήριο που εμπεριέχει πολλαπλούς παράγοντες ταυτόχρονα, κάτι το οποίο από μόνο του αποτελεί ξεχωριστό αντικείμενο έρευνας την τελευταία δεκαετία κυρίως.

Στην παρακάτω εικόνα-διάγραμμα υπολογιστών και εξυπηρετητών (σχήμα 32) φαίνεται ένα παράδειγμα Gigabit Ethernet με την αντίστοιχη ιεραρχία των ταχυτήτων πρόσβασης των συνδέσεων σε σχέση με την εμβέλεια. Τα τοπικά δίκτυα συνδέονται μεταξύ τους μέσω της χαμηλότερης ταχύτητας ζεύξης, ενώ στο παραπάνω επίπεδο ο διακόπτης (switch) του 1 Gbps ενώνει όλες τις ομάδες των υπολογιστών.



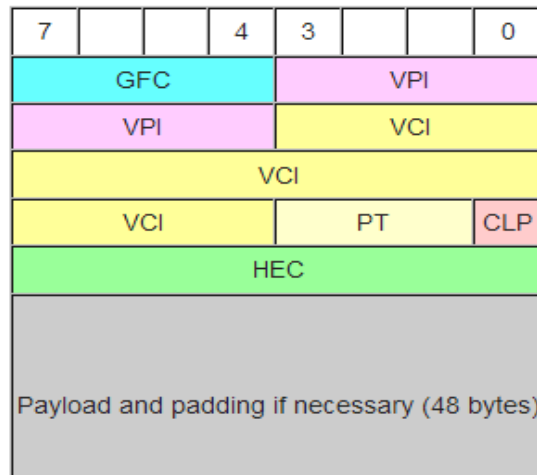
Σχήμα 32: Σχηματική αναπαράσταση βασικού Gigabit Ethernet [67]

Γενικά, η ιεραρχία συνδέσεων είναι παρόμοια σε Gigabit Ethernet συνδέσεις όπου και περισσότερες ομάδες συσκευών είναι δυνατόν να συνδέονται με αύξουσα σειρά ταχυτήτων, δηλαδή χαμηλοί ρυθμοί μετάδοσης για δεδομένα μικρής εμβέλειας και υψηλοί ρυθμοί για ζεύξεις μεγάλων αποστάσεων. Βέβαια όπως περιγράψαμε αυτό μπορεί να ισχύει έτσι και αλλιώς, μόνο που τώρα μπορούμε να προσθέσουμε και περισσότερα τερματικά (συσκευές, υπολογιστές κλπ) στις χαμηλότερες ιεραρχίες και όσο προχωρούμε προς τα επάνω οι συσκευές να μειώνονται σε πλήθος αλλά οι ταχύτητες πρόσβασης να μεγαλώνουν. Ένα τέτοιο σύστημα επικοινωνίας μπορεί να προσομοιωθεί σχηματικά με την γνωστή διάταξη της πυραμίδας

To Asynchronous Transfer Mode:

Τα δίκτυα υπολογιστών ενδέχεται να χρησιμοποιούν τεχνολογίες Asynchronous Transfer Mode ή αλλιώς ATM που σημαίνει λειτουργία ασύγχρονης μετάδοσης. Το Asynchronous Transfer Mode είναι μια τηλεπικοινωνιακή ορολογία που θεσπίστηκε από το Αμερικανικό Ινστιτούτο ANSI (ή αλλιώς American National Standards Institute) και τον Παγκόσμιο Οργανισμό Τηλεπικοινωνιών (International Telecommunication Union ή αλλιώς ITU) για τη μετάδοση όλων των σημάτων συμπεριλαμβανομένου φωνής, δεδομένων και βίντεο [69, 70]. Το ATM αναπτύχθηκε στα πλαίσια του Broadband Integrated Services Digital Network (B-ISDN) προς το τέλος της δεκαετίας του 1980 [71]. Η τεχνολογία Asynchronous Transfer Mode αποτελεί βασικό πρωτόκολλο των δικτύων κορμού SONET/SDH των επικοινωνιών τηλεφωνικών σημάτων PSTN και του Integrated Services Digital Network, και ως εκ τούτου τείνει να χρησιμοποιείται λιγότερο. Ως ένδειξη αυτού, η τεχνολογία Asynchronous Transfer Mode δεν χρησιμοποιήθηκε σημαντικά για την κάλυψη ασύρματων εφαρμογών

Σε σχέση με το SONET/SDH, το Asynchronous Transfer Mode χρησιμοποιεί πολύ μικρότερο πλαίσιο δεδομένων για τη μεταφορά πληροφοριών. Συνολικά αποτελείται από 48 bytes καθαρού σήματος πληροφορίας και άλλα 5 επιπλέον bytes για κεφαλίδα και οι περισσότερες ζεύξεις και επικοινωνίες μέσω ATM έχουν ως τύπο πλαισίου δεδομένων το User-network interface ή αλλιώς UNI [69]. Στο διάγραμμα του επόμενου σχήματος φαίνεται η δομή ενός πλαισίου ATM τύπου User-network interface.

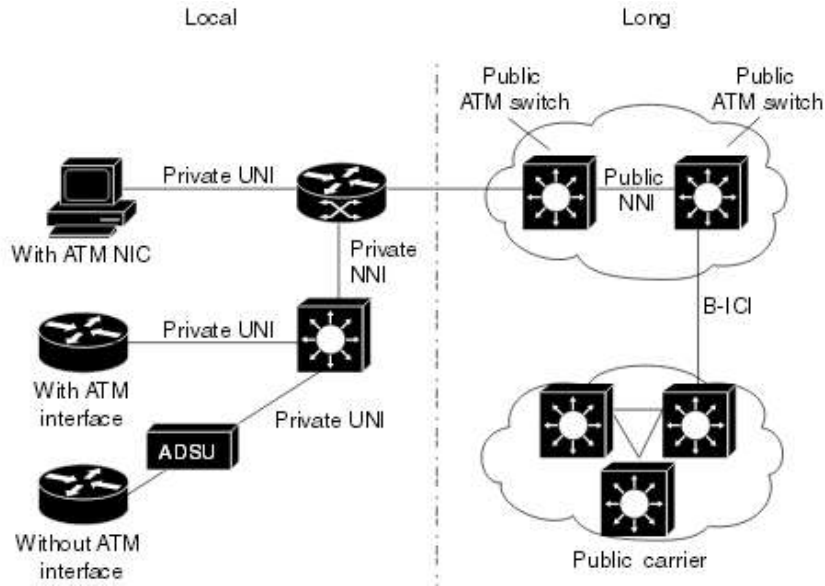


Σχήμα 33: Δομή πλαισίου User-network interface για ATM επικοινωνίες [69]

Επειδή το Asynchronous Transfer Mode είναι πρωτόκολλο για τεχνολογία επικοινωνιών δικτύων λειτουργεί στα χαμηλότερα επίπεδα του μοντέλου αναφοράς OSI, οπότε και η μεταφορά δεδομένων ακολουθεί τις καθιερωμένες διαδικασίες του μοντέλου OSI. Πιο συγκεκριμένα, το ATM ορίζεται από τα παρακάτω τρία επίπεδα αναφοράς [69, 72]:

- Το επίπεδο AAL ή αλλιώς ATM adaptation layer
- Το επίπεδο ATM layer 2, το οποίο αντιστοιχεί στο επίπεδο ζεύξης δεδομένων (data link layer) του μοντέλου αναφοράς OSI
- Στο φυσικό επίπεδο (physical layer), το οποίο επίσης ισοδυναμεί με το φυσικό επίπεδο του OSI, δηλαδή το OSI physical layer

Οι επικοινωνίες που χρησιμοποιούν ATM συνήθως διαθέτουν, εκτός των άλλων, και κατάλληλες διεπαφές (interfaces) που συνδέουν το κατάλληλο υλικό των υπολογιστών και των δικτύων μεταξύ τους. Οι διακόπτες των Asynchronous Transfer Mode (switches) ενώνουν τις συσκευές στο μικρότερο (τοπικό) επίπεδο και έπειτα στο μεγαλύτερο (ευρείας εμβέλειας). Συστήματα που δεν διαθέτουν ATM διακόπτες στο τοπικό επίπεδο, πρέπει πρώτα να συνδέονται μέσω της μονάδας ATM data service unit ή αλλιώς ADSU και έπειτα η σύνδεση να καταλήγει σε κατάλληλο διακόπτη [73]. Στο παρακάτω διάγραμμα των συσκευών, φαίνονται οι συνδέσεις μιας Asynchronous Transfer Mode επικοινωνίας μέσω διεπαφών και διακοπών αρχικά στο τοπικό επίπεδο και έπειτα στο ευρείας εμβέλειας δίκτυο.



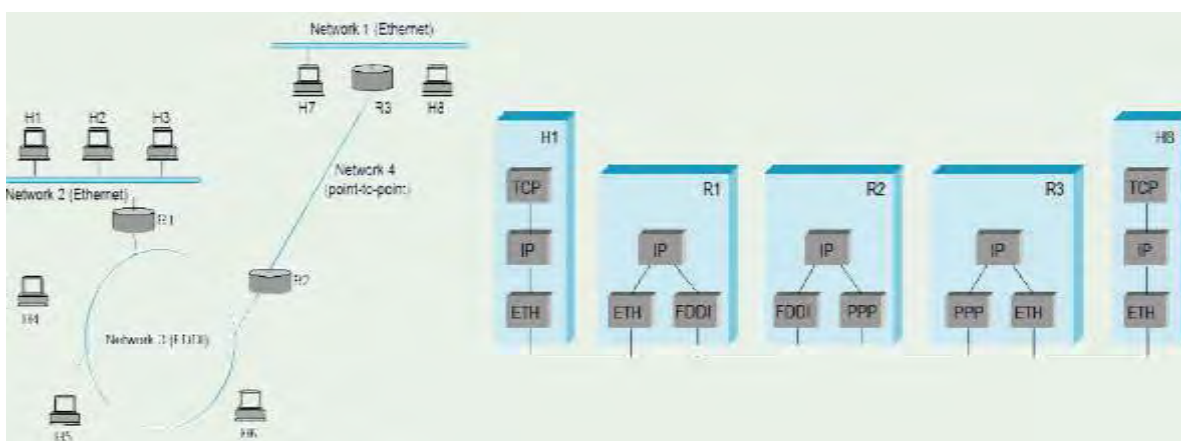
Σχήμα 34: Παράδειγμα επικοινωνίας συστημάτων ATM [73]

Τέλος, στα συστήματα ATM υπάρχει η δυνατότητα λειτουργίας IP-over-ATM (Internet Protocol over Asynchronous Transfer Mode), μιας και η εξέλιξη των δικτύων βασίζεται ως επί το πλείστον στο πρωτόκολλο διαδικτύου ή αλλιώς Internet Protocol και η σημερινές περαιτέρω αναβαθμίσεις και τεχνολογίες οδηγούν πλέον στην ενοποίηση όλων των δικτύων (All-IP Network).

Το πρωτόκολλο Διαδικτύου:

Το πρωτόκολλο Διαδικτύου ή αλλιώς Internet Protocol ή απλώς IP είναι το βασικότερο είδος πρωτοκόλλου για την διαδικτύωση των υπολογιστών και των ομάδων υπολογιστών και συσκευών. Είναι το πρωτόκολλο που συνδέει τα δισεκατομμύρια των χρηστών και υπολογιστών μεταξύ τους σε παγκόσμια κλίμακα και ως εκ τούτου αποτελεί ένα πολύ μεγάλο μέρος της διαδικτυακής κίνησης. Οτιδήποτε έχει σχέση από απλές εφαρμογές μέχρι πολύπλοκες και ετερογενείς συνδέσεις είτε σε ενσύρματα και ασύρματα δίκτυα επικοινωνιών είτε σε μικρής και μεγάλης εμβέλειας προσβάσεις, πρέπει σχεδόν πάντοτε να υπάρχει το πρωτόκολλο Διαδικτύου σε περίπτωση που πρόκειται για συνδέσεις στο Διαδίκτυο. Μέσα κοινωνικής δικτύωσης (social media), ιστοσελίδες (webpages), εταιρίες, ‘κατέβασμα’ (downloading) και ‘ανέβασμα’ (uploading) διαφόρων και

ποικίλων μορφών αρχείων, τηλεδιασκέψεις (distant conferences) και εφαρμογές πραγματικού χρόνου (real-time streaming and applications) προϋποθέτουν την ύπαρξη του πρωτόκολλου Διαδικτύου. Στο επόμενο σχήμα 35 απεικονίζεται μια τυπική σύνδεση διάφορων στο Διαδίκτυο σε διάφορα επίπεδα και τεχνολογίες (αριστερά) και πως στο καθένα από αυτά συμμετέχει αναγκαστικά και το πρωτόκολλο Διαδικτύου είτε πρόκειται για ηλεκτρονικούς υπολογιστές είτε για δρομολογητές (δεξιά).



Σχήμα 35: Παράδειγμα σύνδεσης με πρωτόκολλο Διαδικτύου (IP) [7]

Όπως γνωρίζουμε και από την εμπειρία μας ως χρήστες του Διαδικτύου αλλά και από ακαδημαϊκές βιβλιογραφίες, το Διαδίκτυο είναι το μεγαλύτερο δίκτυο ευρείας περιοχής αλλά και το πιο πολύπλοκο. Όταν από την πλευρά του πελάτη γίνεται αίτηση μεταφοράς και λήψης δεδομένων, ακολουθείται μια εξαιρετικά πολύπλοκη διαδικασία και στους υπολογιστές αλλά και στην πλευρά του δικτύου μέχρις ότου ολοκληρωθεί το περιεχόμενο της επικοινωνίας και γίνει ορατό (ή μη ορατό, ανάλογα την εφαρμογή) το τελικό αποτέλεσμα από τη πλευρά του εξυπηρετητή προς την μεριά του πελάτη. Ένα είδος αίτησης περιέχει το όνομα του τομέα που αναφέρεται ως σύστημα ονόματος τομέα ή αλλιώς Domain Name System (DNS). Πιο απλά, είναι το όνομα της ιστοσελίδας που θέλουμε να επισκεφτούμε, το οποίο περιέχει το πρόθεμα – http(s) ή www – το κυρίως μέρος π.χ. youtube και το τελικό com διαχωρίζοντάς τα με τελείες. Όλη αυτή η διαδικασία γίνεται για λόγους ευκολίας, διότι το κάθε όνομα ιστοσελίδας αντιστοιχεί και σε ένα μοναδικό πρωτόκολλο Διαδικτύου που ονομάζεται αλλιώς IP διεύθυνση και

αποτελείται μόνο από αριθμούς. Έτσι λοιπόν, έχει επικρατήσει καθολικά το όνομα της ιστοσελίδας, η οποία στο τελευταίο μέρος της περιέχει τον τομέα στο ανώτερο επίπεδο ή αλλιώς το top-level domain (TLD). Στον αμέσως παρακάτω πίνακα φαίνονται μερικά από τα κυριότερα top-level domain, τα οποία αντιστοιχούν το όνομά τους ανάλογα με το είδος της ιστοσελίδας, εάν δηλαδή είναι οργανισμός, εκπαιδευτικό ίδρυμα κλπ (επάνω) ή αναφέρεται απευθείας στη χώρα που φιλοξενεί τον ιστότοπο (κάτω).

Top-Level Domain	General Purpose	New TLDs	General Purpose
.com	U.S. Commercial	.biz	Business
.net	Network	.info	Information
.org	Nonprofit organization	.pro	Professional
.edu	U.S. Educational	.museum	Museums
.int	International	.aero	Aerospace industry
.mil	U.S. Military	.coop	Cooperative
.gov	U.S. Government		

Country Code TLD	Country
.au	Australia
.br	Brazil
.ca	Canada
.gr	Greece
.in	India
.ru	Russian Federation
.uk	United Kingdom

Πίνακας 5: Τα βασικότερα top-level domain [6]

Κεφάλαιο 4

Προσωπικά και τοπικά δίκτυα επικοινωνιών

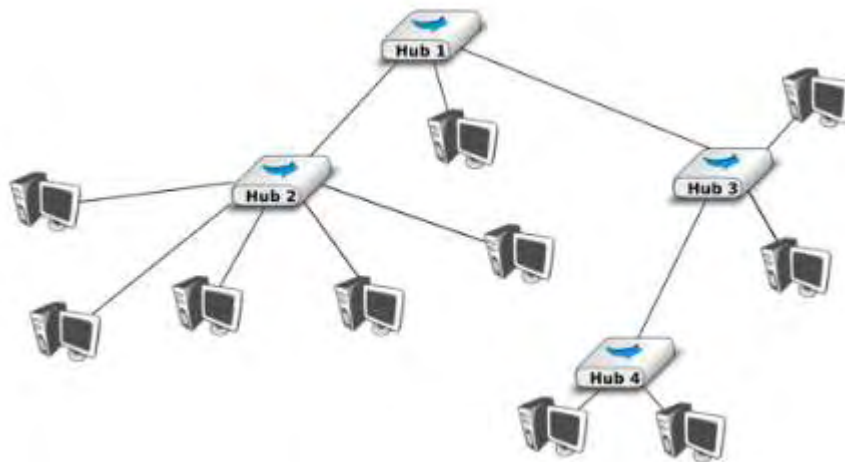
4.1 Επισκόπηση

Όπως είδαμε σε προηγούμενα κεφάλαια, ο κορμός πρόσβασης όλων το εν μέρει και ολοκληρωμένων, ομογενών, ετερογενών, ενσύρματων και ασύρματων δικτύων είναι τα δίκτυα ευρείας εμβέλειας. Παρόλο την σημαντικότητα αυτών των δικτύων από άποψη πρόσβασης σε χρήσιμες καθημερινές υπηρεσίες αλλά και για απόκτηση γνώσεων, υπάρχουν και τα κατώτερα σε εμβέλεια δίκτυα επικοινωνιών, είτε μέσω υπολογιστών είτε μέσω άλλων συσκευών, που τα συναντάμε σε εξίσου σημαντικές εφαρμογές. Είναι τα τοπικά δίκτυα καθώς και τα προσωπικής εμβέλειας, τα οποία είναι σαφώς μικρότερα σε γεωγραφικά έκταση αλλά είναι και περιορισμένης εμβέλειας σήματος που σημαίνει ότι δεν είναι ικανά να μεταφέρουν πληροφορίες όπως τα ευρείας και μητροπολιτικής εμβέλειας. Αυτή, λοιπόν, η περίπτωση δικτύων επικοινωνιών χωρίζεται κυρίως στις παρακάτω εν μέρει περιπτώσεις, με κριτήριο το μέσο μετάδοσης αλλά και την έκταση της εμβέλειας του σήματος:

- Δίκτυα Προσωπικής Εμβέλειας ή αλλιώς Personal Area Networks (PANs)
- Ασύρματα Δίκτυα Προσωπικής Εμβέλειας ή αλλιώς Wireless Personal Area Networks (WPANs)
- Δίκτυα Τοπικής Εμβέλειας ή αλλιώς Local Area Networks (LANs)
- Ασύρματα Δίκτυα Τοπικής Εμβέλειας ή αλλιώς Wireless Local Area Networks (WLANs)

Τα δυο πρώτα, δηλαδή τα ενσύρματα και τα ασύρματα προσωπικά δίκτυα, έχουν εμβέλεια έως και κάποιες δεκάδες μέτρα στην καλύτερη περίπτωση, ενώ τα τοπικά δίκτυα μπορούν θεωρητικά να επεκταθούν και μέχρι και σε επίπεδο μεγάλων Πανεπιστημιακών εγκαταστάσεων. Τα τελευταία ονομάζονται αλλιώς και Campus Area Networks ή CANs, με τον όρο αυτό να δηλώνει μια ξεχωριστή κατηγορία τοπικών δικτύων ειδικά καθορισμένη για τις Πανεπιστημιούπολεις. Τα δίκτυα τοπικής εμβέλειας

χρησιμοποιούνται επίσης για τη σύνδεση ηλεκτρονικών υπολογιστών και περιφερειακών συσκευών (fax, εκτυπωτές κλπ) μεταξύ τους, σε οικιακές εγκαταστάσεις αλλά και σε εταιρίες. Άλλα κλασικά παραδείγματα τοπικών δικτύων είναι τα κοινόχρηστα δίκτυα (είτε δημόσια είτε ιδιωτικά) που διαθέτουν υπηρεσίες και επιχειρήσεις για τους παρευρισκόμενους, όπως δημόσιες υπηρεσίες, κέντρα αναψυχής, καφετέριες, πλατείες κλπ. Για αρκετές από αυτές τις περιπτώσεις, πολλές φορές χρησιμοποιούνται και οι γνωστές κάρτες δικτύων Ethernet για ενώσουν ενσύρματα τους υπολογιστές με φθηνό και αξιόπιστο τρόπο, είτε τοποθετώντας κατάλληλα έναν ή περισσότερους δρομολογητές (routers) ή πιο συχνά κατάλληλους διανεμητές (hubs). Βέβαια στην περίπτωση της ασύρματης σύνδεσης (π.χ. σε πλατείες) θα χρησιμοποιηθούν αντίστοιχα και ασύρματοι δρομολογητές ή διανεμητές. Στο επόμενο σχήμα παρατηρούμε μια εγκατάσταση για ένα τυπικό δίκτυο τοπικής εμβέλειας τύπου Ethernet, που συνδέει έναν ή περισσότερους υπολογιστές με τη χρήση τεσσάρων διανεμητών.



Σχήμα 36: Τοπικό ενσύρματο δίκτυο Ethernet [51]

Ακόμη μικρότερη γεωγραφική έκταση από τα τοπικά δίκτυα επικοινωνιών καταλαμβάνουν τα δίκτυα προσωπικής περιοχής, τα οποία όπως αναφέραμε εκτείνονται μέχρι λίγες δεκάδες μέτρα. Αυτά χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση προσωπικών συσκευών όπως φορητοί υπολογιστές, κινητά τηλέφωνα, κάμερες, πληκτρολόγια κλπ [17], όπου χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιων δικτύων είναι τα Bluetooth αλλά και το

πρότυπο Zigbee. Οι συσκευές που χρησιμοποιούν τεχνολογία Bluetooth είναι ως επί το πλείστο ασυρμάτου τύπου κι έτσι ακολουθούν τους στάνταρ κανόνες του πρότυπου IEEE. Το μέγεθος μιας κύριας συσκευής Bluetooth είναι αρκετά μικρό και φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Σχήμα 37: Συσκευή με πομπό και δέκτη Bluetooth [17]

4.2 Ασύρματα δίκτυα 802.11x

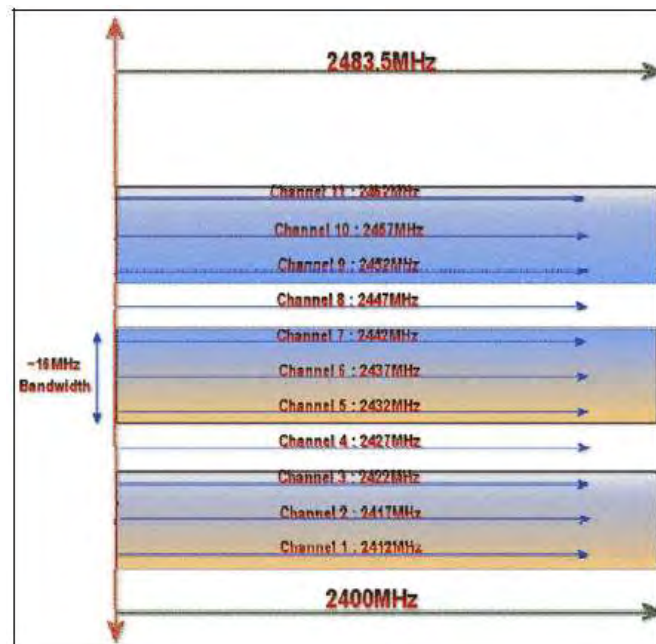
Το πρότυπο IEEE 802.11 χρησιμοποιείται και στα τοπικής εμβέλειας δίκτυα για την ασύρματη μετάδοση δεδομένων. Υπάρχουν διάφορα υπο-πρότυπα του 802.11x, στα οποία το γράμμα 'x' δηλώνει ένα πλήθος τεχνικών προδιαγραφών, όπως η συχνότητα, ο ρυθμός μετάδοσης, η μέγιστη (θεωρητική) ταχύτητα πρόσβασης καθώς και η εμβέλεια του εκπεμπόμενου σήματος. Στον παρακάτω πίνακα 6 βλέπουμε τα διάφορα πρωτόκολλα του IEEE 802.11 με τις αντίστοιχες τεχνικές λεπτομέρειες.

Standard	Frequency	Typical throughput	Max bandwidth	Range (m) indoor/outdoor
802.11	2.4 GHz	0.9 Mbps	2 Mbps	20/100
802.11a	5 GHz	23 Mbps	54 Mbps	35/120
802.11b	2.4 GHz	4.3 Mbps	11 Mbps	38/140
802.11g	2.4 GHz	19 Mbps	54 Mbps	38/140
802.11n	2.4/5 GHz	74 Mbps	150 Mbps	70/250

Πίνακας 6: Το πακέτο πρότυπων του IEEE 802.11 [51]

Το πρότυπο IEEE 802.11 έχει αναπτυχθεί από την αντίστοιχη ομάδα ερευνών των πρότυπων του IEEE 802.11 [74]. Το στάνταρ 802.11 μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για δίκτυα μετάδοσης με τεχνολογίες Ethernet. Το πρωτόκολλο Ethernet, που χρησιμοποιείται επίσης και για κάρτες δικτύων ενσύρματων τύπου για τοπικής περιοχής δίκτυα, ανήκει και αυτό με τη σειρά του σε συγκεκριμένη ομάδα πρότυπων, και συγκεκριμένα σε αυτό του IEEE 802.3 [75, 76].

Από τα πρώτα ασύρματα πρότυπα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν το IEEE 802.11b σχεδιασμένο για την κάλυψη των ασυρμάτων τοπικών δικτύων με συχνότητες επικοινωνίας από 2400 MHz έως 2483.5 MHz [17]. Στο επόμενο σχήμα παριστάνεται η διαβάθμιση των συχνοτήτων στα κανάλια που χρησιμοποιούν το IEEE 802.11b.



Σχήμα 38: Εύρος ζώνης καναλιών στο πρότυπο IEEE 802.11b [17]

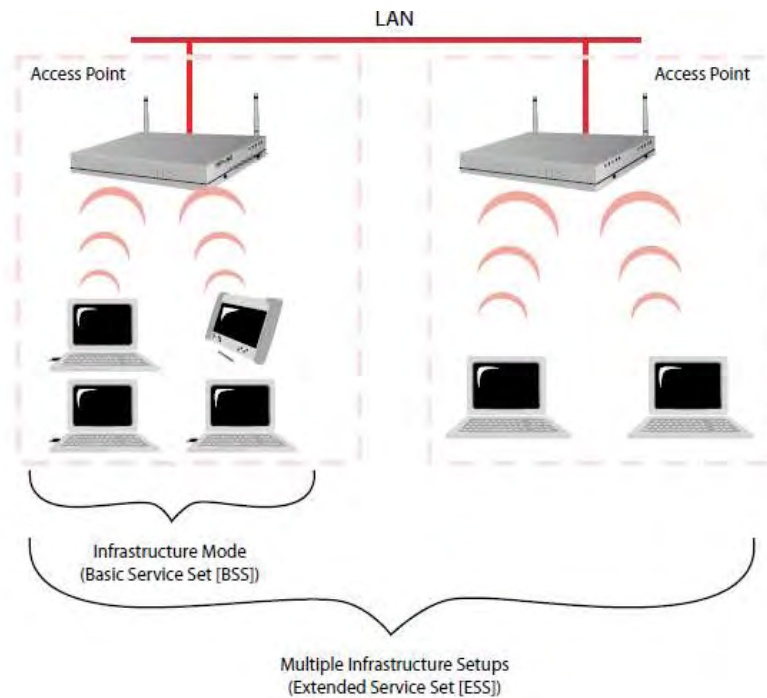
Τόσο οι ασύρματες επικοινωνίες στο πρότυπο IEEE 802.11b, όσο και σε όλη την ομάδα 802.11, έχουν διαφορετικές τιμές στην εμβέλεια στους εσωτερικούς χώρους σε σχέση με τους εξωτερικούς (βλέπε σχετικά και πίνακα 6). Ωστόσο η ταχύτητα πρόσβασης σε επικοινωνίες μέσω του IEEE 802.11b ήταν αρκετά χαμηλές, μέχρις ότου έκανε την εμφάνιση του η αμέσως επόμενη τεχνολογία χρονολογικά, δηλαδή το IEEE 802.11a. Το

πρότυπο 802.11a μπορούσε θεωρητικά να υποστηρίξει μέγιστη ταχύτητα έως και 54 Mbps, σε σχέση με τον χαμηλό ρυθμό μετάδοσης των 11 Mbps που αρχικά παρείχε το IEEE 802.11b. Παρόλα αυτά, ακόμη περισσότερα πλεονεκτήματα είχε να επιδείξει η επόμενη έκδοση που βασίστηκε στο 802.11n, επίσης για ασύρματου τύπου τοπικά δίκτυα. Ένα εξ' αυτών των πλεονεκτημάτων είναι και η αυξημένη ταχύτητα των 150 Mbps, σχεδόν τρεις φορές περισσότερο σε σχέση με το IEEE 802.11a αλλά παράλληλα και η δυνατότητα λειτουργίας σε διπλή μπάντα συχνοτήτων, στα 2.4 GHz και 5 GHz. Εδώ να σημειωθεί ότι οι παραπάνω ταχύτητες πρόσβασης αφορούν θεωρητικά τις μέγιστες τιμές που μπορούμε να συναντήσουμε, ενώ στην πραγματικότητα είναι πολύ χαμηλότερες και εξαρτώνται, εκτός των άλλων, από τα πάσης φύσεως εμπόδια και τον φόρτο των καναλιών. Ως εκ τούτου, σημαντική επίδραση σε αυτό κατέχει ο παράγοντας της εκπεμπόμενης ισχύος (transmission power) αλλά και των ανακλάσεων (reflections) των φυσικών και τεχνητών εμποδίων. Μπορούμε να πούμε ότι ο πραγματικός ρυθμός μετάδοσης κυμαίνεται κατά μέσο όρο στο μισό και μέχρι και το ένα τρίτο του θεωρητικά μέγιστου συνιστώμενου ρυθμού μεταφοράς. Αυτό ισχύει και στις δυο περιπτώσεις όσον αφορά το μέσο μετάδοσης, δηλαδή και στα ασύρματα αλλά και στα ενσύρματης φύσεως επικοινωνίες. Σε κάθε περίπτωση, όμως, τα δίκτυα ασύρματης πρόσβασης ολοένα και κερδίζουν έδαφος σε σχέση με τα ενσύρματα, ειδικά με τις ποικίλες εφαρμογές την τελευταία δεκαετία, όπου η πλειοψηφία των προσωπικών, οικιακών και εταιρικών συνδέσεων γίνεται σχεδόν αποκλειστικά με ασύρματο τρόπο. Πολλά τέτοια τοπικά δίκτυα συνδέονται και με την τεχνολογία Wireless Fidelity (Wi-Fi) μέσω ασύρματου δρομολογητή, που είναι επίσης ένας ακόμη δημοφιλής τρόπος τοπικών συνδέσεων.

4.3 Ασύρματα Δίκτυα Τοπικής Εμβέλειας (WLANs)

Είναι γεγονός ότι τα ασύρματα δίκτυα έχουν επικρατήσει κατά πολύ σε σχέση με τα παλαιότερα ενσύρματα δίκτυα, λόγω και της ανάγκης για την φορητότητα και κινητικότητα των χρηστών. Και στην περίπτωση των τοπικών δικτύων, η πρόσβαση γίνεται πλέον με ασύρματες τεχνικές και μεθόδους με τις κατάλληλες συσκευές να λειτουργούν ως κεντρικά σημεία πρόσβασης. Γενικά, ένα σημείο πρόσβασης ή αλλιώς Access Point (AP) είναι μια συσκευή που παρέχει σύνδεση με τις περιφερειακές μονάδες, και μεταξύ τους αλλά και με κάποιο δίκτυο σε ανώτερα επίπεδα, π.χ. με ένα

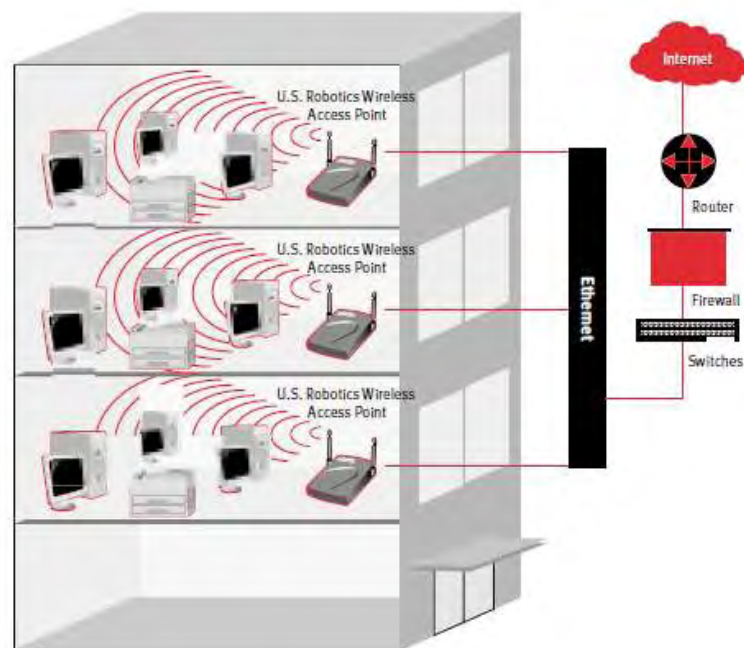
μητροπολιτικής ή ευρείας εμβέλειας. Παρακάτω φαίνεται ένα παράδειγμα μιας τυπικής εγκατάστασης ενός ασύρματου δικτύου τοπικής εμβέλειας, με τα διάφορα επίπεδα πρόσβασης να γίνονται κατά την αντίστοιχη ιεραρχία, δηλαδή για κάθε μια ομάδα υπολογιστών διατίθεται ένα σημείο πρόσβασης (βασική πρόσβαση) και όλα τα σημεία πρόσβασης μαζί συνδέονται έπειτα στην τοπική εμβέλεια (πολλαπλή πρόσβαση).



Σχήμα 39: Βασική και πολλαπλή πρόσβαση WLAN [77]

Βέβαια, το γεγονός ότι οι βασικές τύπου προσβάσεις απαιτούν οι κάθε μια το δικό τους σημείο πρόσβασης δεν σημαίνει ότι αυτές είναι περιορισμένες στο πλήθος τους ή στο πλήθος των συσκευών που μπορούν να συνδεθούν επάνω σε αυτές. Δηλαδή, μπορούμε να έχουμε πολλά σημεία πρόσβασης και το καθένα από αυτά μπορεί να υποστηρίξει με τη σειρά του πολλές περιφερειακές συσκευές, όπως υπολογιστές, φαξ, φωτοτυπικά, συσκευές αναπαραγωγής ήχου και εικόνας κλπ. Για την σύνδεση του τοπικού δικτύου προς ένα μεγαλύτερο δίκτυο, όπως το Διαδίκτυο, αυτό μπορεί να γίνει με τους γνωστούς τρόπους, συμπεριλαμβανομένου και της πρόσβασης μέσω τοπικής Ethernet σύνδεσης. Ένα Ethernet δίκτυο έχει τη δυνατότητα να συνδέει πολλές περιφερειακές συσκευές ή

ομάδες συσκευών προς ένα μεγαλύτερο δίκτυο με τις κατάλληλες υποδομές, όπως με την ενσωμάτωση κατάλληλων δρομολογητών, διακοπών ή/και διανομέων σήματος. Σε κάθε περίπτωση και ανεξαρτήτως του τρόπου σύνδεσης, μετά τα σημεία πρόσβασης συνιστάται η χρήση τείχους προστασίας (firewall) για την καλύτερη ασφάλεια του συστήματος. Η μέθοδος των τειχών προστασίας για μικρές εγκαταστάσεις (συνήθως για οικίες ή προσωπικές συσκευές) γίνεται συνήθως με κατάλληλα λογισμικά που περιέχουν και προστασία από ιούς. Για μεγάλα και πολύπλοκα συστήματα όπου εκεί πλέον απαιτείται η μέγιστη ασφάλεια, όπως για Πανεπιστήμια και κυβερνητικούς οργανισμούς, τοποθετούνται ειδικές συσκευές αποκλειστικά με τείχος προστασίας και με αυξημένο επίπεδο ασφαλείας. Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται ένα ολοκληρωμένο σύστημα προσβάσεων με τη χρήση επιπλέον συσκευών για την ασφαλή σύνδεση στο Διαδίκτυο, όπως προτείνεται από την U.S. Robotics.



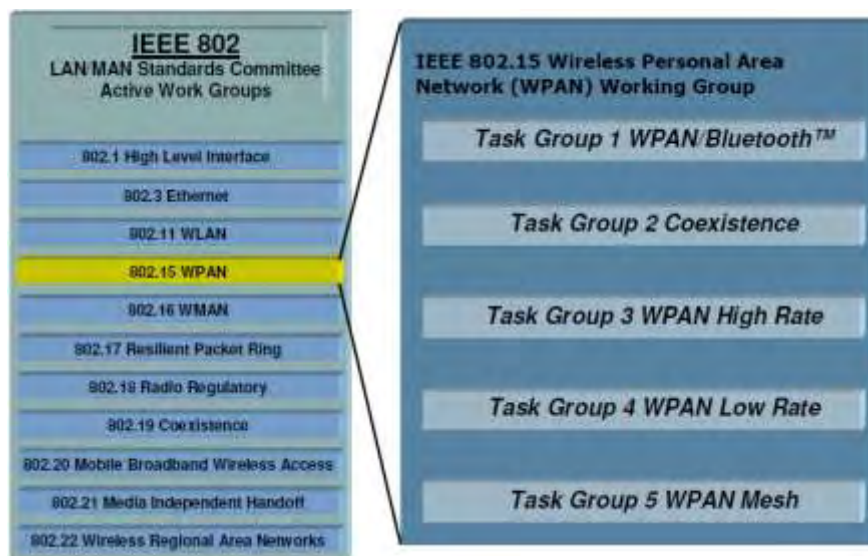
Σχήμα 40: Εγκατάσταση για πρόσβαση μέσω WLAN [77]

Η καλύτερη λύση για την ασφάλεια ασύρματων τοπικών δικτύων που συνδέονται στο Διαδίκτυο, είναι η μετακίνηση του σημείου πρόσβασης εκτός LAN και μπροστά στο τείχος προστασίας ή εντός ειδικής περιοχής που καλείται demilitarized zone (DMZ) [77].

Ανεξάρτητα από τα συστήματα, ένα τείχος προστασίας που εγκαθίσταται με τη χρήση λογισμικού ονομάζεται και αλλιώς software firewall και συνήθως συνοδεύεται και με αντιβιοτικό (antivirus), ενώ το τείχος προστασίας εντός ειδικών συσκευών ονομάζεται και hardware firewall. Στην περίπτωση των τοπικών δικτύων, έστω και αν αυτά δεν έχουν πρόσβαση σε μεγαλύτερης εμβέλειας δίκτυα, η χρήση των τειχών προστασίας είναι, θα λέγαμε, απολύτως απαραίτητη λόγω του ότι κάποιο κακόβουλο λογισμικό μπορεί να προσβάλει άμεσα όλες τις συσκευές που είναι συνδεδεμένες με αυτό.

4.4 Ασύρματα Δίκτυα Προσωπικής Εμβέλειας (WPANs)

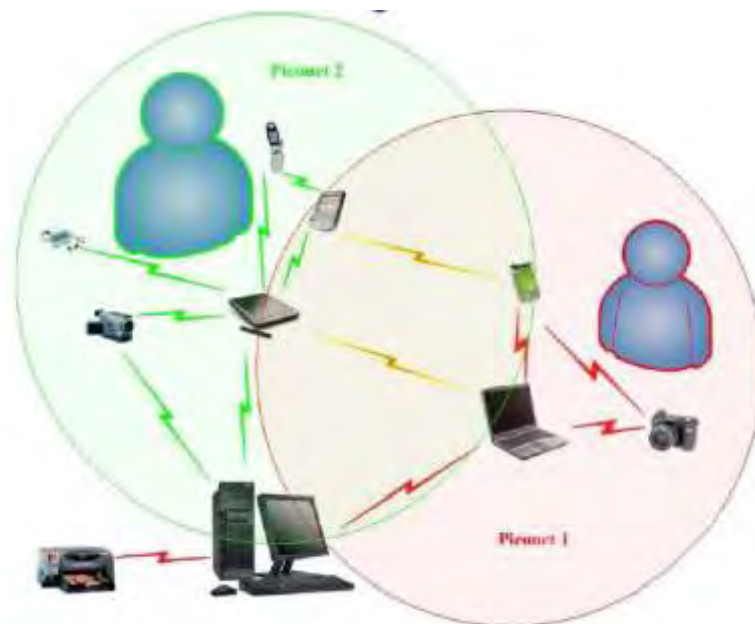
Τα δίκτυα προσωπικής εμβέλειας, ή πιο σύντομα προσωπικά δίκτυα, (Personal Area Networks) είναι πολύ μικρής περιοχής δίκτυα ή αλλιώς δίκτυα κοντινής εμβέλειας (short range) και είναι στην συντριπτική τους πλειοψηφία ασύρματου τύπου (Wireless PAN ή WPAN). Όπως και με τα τοπικά δίκτυα επικοινωνιών, έτσι και τα δίκτυα προσωπικής εμβέλειας ανήκουν και αυτά σε επίσημο πρότυπο και μάλιστα στην ομάδα εργασίας του πρότυπου IEEE 802.15 [78] η οποία θεσπίζει ανάλογα πρότυπα για ασύρματου τύπου δίκτυα για κοντινές αποστάσεις. Στον παρακάτω σχήμα 41 φαίνονται όλα τα πρωτόκολλα της ομάδος IEEE 802, όπου μπορούμε να διακρίνουμε όλες τις υποδιαιρέσεις του πρότυπου IEEE 802.15x σε πέντε επί μέρους ομάδες εργασιών των δικτύων Wireless Personal Area Networks.



Σχήμα 41: Πρότυπα IEEE 802 και ομάδες εργασιών 802.15 [79]

Τα Wireless Personal Area Networks είναι δίκτυα που εξυπηρετούν τις μεταφορές δεδομένων σε μικρές και προσωπικές συσκευές, όπως φορητούς υπολογιστές (laptops, PDA, tablets), κινητά τηλέφωνα, πληκτρολόγιο, ποντίκι υπολογιστών, εκτυπωτές, αισθητήρες μικρής εμβέλειας, συσκευές ήχου (μικρόφωνα, ακουστικά, ηχεία) καθώς και διάφορες ιατρικές προσωπικές συσκευές για την διευκόλυνση των ασθενών. Επίσης τα δίκτυα αυτά χρησιμοποιούνται και για την αντικατάσταση των καλωδίων σε πολυμέσα αναπαραγωγής εικόνας όπως στην περίπτωση των βίντεο τηλεοράσεων υψηλής ευκρίνειας ή High Definition Television (HDTV) video και συγκεκριμένα στην αντικατάσταση των καλωδίων από τον δέκτη προς τον projector [79]. Τα WPAN χρησιμοποιούνται επίσης και μια πληθώρα βιομηχανικών εφαρμογών σε εργοστάσια και μεγάλες μονάδες παραγωγής προϊόντων, καθώς και για αγροτικούς σκοπούς.

Τα προσωπικά εμβέλειας δίκτυα έχουν ως κύρια περιοχή σήματος τα piconet, όπου σε ένα τυπικό WPAN μπορούν να συνδεθούν έως αρκετές συσκευές. Μια περιοχή piconet έχει περιορισμένη εμβέλεια, αλλά η δυνατότητα διασποράς του σήματος είναι σφαιρικής μορφής κι όπως γνωρίζουμε ένας πομποδέκτης με σφαιρικό διάγραμμα ακτινοβολίας μπορεί να στείλει και να λάβει σήμα προς και από όλες τις κατευθύνσεις αντίστοιχα. Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε μια τέτοια διάταξη με τα επί μέρους piconet ενός WPAN.



Σχήμα 42: Περιοχές εμβέλειας με piconet σε ένα WPAN [79]

Σε αυτό το δίκτυο ο κάθε χρήστης μπορεί να κάνει χρήση όχι μόνο τις δικές του συσκευές, αλλά και όλες τις άλλες που είναι σειριακά συνδεδεμένες η μια μετά την άλλη. Επειδή η εμβέλεια του κάθε ενός riconet είναι περιορισμένη, οι συσκευές που λόγω της μεγάλης απόστασης δεν μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους, μπορούν να επικοινωνήσουν μέσω άλλων συσκευών που καλύπτονται πλήρως μέσα στο δίκτυο.

4.5 Η τεχνολογία του πρότυπου Bluetooth

Η τεχνολογία Bluetooth είναι ένα βιομηχανικό στάνταρ σχεδιασμένο για δίκτυα προσωπικής εμβέλειας και εξυπηρετεί εφαρμογές σύνδεσης σε κοντινές αποστάσεις. Το πρότυπο αυτό ανήκει στο πακέτο πρωτόκολλων του IEEE 802.15x και συγκεκριμένα στην πρώτη ομάδα εργασίας IEEE 802.15.1, με τυπικό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων στα 1 Megabit per second [79]. Το πρότυπο Bluetooth παρέχει καλή αξιοπιστία μεταφοράς δεδομένων και χρησιμοποιείται κυρίως σε ασύρματες εφαρμογές και προσβάσεις μικρών τύπου συσκευών για την αντικατάσταση των καλωδίων με ασύρματο τρόπο [80]. Στον παρακάτω πίνακα μπορούμε να δούμε κάποιες τεχνικές λεπτομέρειες του Bluetooth σε σχέση με τις εφαρμογές και τη μετάδοση πληροφοριών.

IEEE standard	Topic	Data throughput	Suitable applications	QoS needs
802.15.1	Bluetooth	1Mbps	Cell phones, Computers, Personal Digital Assistants (PDAs)/Handheld Personal Computers (HPCs), printers, microphones, speakers, headsets, bar code readers, sensors, displays, pagers, and cellular & Personal Communications Service (PCS) phones.	QoS suitable for voice applications
802.15.2	Coexistence of Bluetooth and 802.11b	N/A	N/A	N/A
802.15.3	High-rate WPAN	>20Mbps	Low power, low cost solutions for portable consumer of digital imaging and multimedia applications	Very high QoS
802.15.4	Low-rate WPAN	< 0.25 Mbps	Industrial, agricultural, vehicular, residential, medical applications, sensors and actuators with very low power consumption and low cost	Relaxed needs for data rate and QoS

Πίνακας 7: Τεχνικά χαρακτηριστικά Bluetooth και IEEE 802.15x [79]

Το πρότυπο αυτό χρησιμοποιήθηκε αρχικά για την πλήρη αντικατάσταση των καλωδίων και ακουστικών που είχαν τα hands free ως εναλλακτικό μέσο ομιλίας στα κινητά

τηλέφωνα. Η κυκλοφορία αυτής της συσκευής Bluetooth είχε αρχίσει την δεκαετία 2000 και κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου επεκτάθηκε και σε άλλες παρόμοιες εφαρμογές, όπου οι δομημένες καλωδιώσεις θα μπορούσαν να αντικατασταθούν με ασύρματο τρόπο. Παρόμοια τεχνολογία αλλά με διαφορετικά τεχνικά χαρακτηριστικά ήταν και το πρότυπο κατά ZigBee που επίσης χρησιμοποιήθηκε για τα ασύρματα Personal Area Networks. Η τεχνολογία ZigBee έχει χαμηλότερο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων (στα 250 Kbps) σε σχέση με το Bluetooth (1 Mbps) και εμβέλεια ασύρματου δικτύου έως και 70 μέτρα [79, 81]. Το ZigBee ανήκει στην τέταρτη ομάδα εργασίας του IEEE 802.15, δηλαδή θεσπίστηκε κατά το πρότυπο 802.15.4. Σε γενικές γραμμές πάντως, όλες οι ασύρματες τεχνολογίες των προσωπικών δικτύων υπολογιστών διαθέτουν πολύ καλή αξιοπιστία αν σκεφθεί κανείς ότι η εμβέλεια λειτουργίας τους είναι μικρή σε σχέση με τα υπόλοιπα δίκτυα. Αν εξαιρέσουμε μεταφορές δεδομένων που αφορούν αρχεία με πολύ μεγάλο όγκο (για παράδειγμα της τάξεως των Gbytes), οι υπόλοιπες εφαρμογές είναι εφικτές με τη χρήση των WPANs μιας και το Bluetooth παρέχει ρυθμό μετάδοσης 1 Mbps, που στην πράξη σημαίνει ρυθμός μεταφοράς:

$$1 \text{ Mbps} : 8 \text{ bytes} = 125 \text{ Kbytes per second}$$

Δηλαδή για τη μεταφορά ενός τυπικού αρχείου ήχου MP3 σε δίκτυο Bluetooth απαιτούνται κατά μέσο όρο 30 έως 50 δευτερόλεπτα, που σημαίνει αρκετά αξιόπιστη ταχύτητα. Βέβαια εάν το ίδιο γίνει σε τοπικό δίκτυο WLAN, θα απαιτηθεί μικρότερος χρόνος ολοκλήρωσης της εφαρμογής, όμως δεδομένου των τεχνικών χαρακτηριστικών, τα WPANs είναι μια πολύ καλή λύση τουλάχιστον για οικιακές εφαρμογές.

Κεφάλαιο 5

Γενικά συμπεράσματα

5.1 Απόδοση δικτύου υπολογιστών

Τα τελευταία χρόνια, οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές έχουν κατακλίσει τις οικίες και η χρήση τους έχει αυξηθεί κατά πάρα πολύ και ειδικά στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής [82]. Το ίδιο συμβαίνει και σε παγκόσμια κλίμακα με τα μητροπολιτικής και ευρείας εμβέλειας δίκτυα, κάτι το οποίο παρατηρούμε και μέσω των υπηρεσιών του Διαδικτύου που ολοένα γίνονται όλο και πιο δημοφιλείς σε επίπεδο συναλλαγών, αγορών, πρόσβασης γνώσεων, ενημέρωσης κλπ. Αντίστοιχη όμως αύξηση παρατηρείται και στις εγκαταστάσεις και εφαρμογές μικρών τοπικών και προσωπικών δικτύων σε οικίες και εταιρίες. Το γεγονός αυτό αλλά και γενικά η εκτεταμένη χρήση υπολογιστών και δικτύων για μεγάλο φάσμα εφαρμογών, προϋποθέτει και σωστές εγκαταστάσεις για βέλτιστη απόδοση τόσο σε τεχνικό επίπεδο όσο και σε επίπεδο εμπειρίας των χρηστών. Στο ρόλο της σωστής απόδοσης ενός δικτύου συμβάλλουν αποφασιστικά οι παρακάτω παράγοντες, οι οποίοι ισχύουν ανάλογα με την περίπτωση του είδους και της φύσεως του δικτύου, από προσωπικά μέχρι και τα μεγαλύτερα ευρείας εμβέλειας:

- Συσκευές δρομολόγησης (routers) και διανομής (hubs) κίνησης δεδομένων
- Διακομιστές (servers) και λειτουργικά συστήματα αυτών (operating systems)
- Ισχύς του σήματος για την επικοινωνία με το δίκτυο, εάν πρόκειται για ασύρματες εγκαταστάσεις
- Ασφάλεια συστημάτων και λογισμικών από κακόβουλες επιθέσεις
- Αξιοπιστία αλγορίθμων και μεθόδων μεταφοράς δεδομένων στον πυρήνα του δικτύου (συνήθως σε WAN και MAN), π.χ. αλγόριθμοι προώθησης δεδομένων με συστήματα ουράς (queuing systems)

Ωστόσο, η σωστή απόδοση του δικτύου δεν εξαρτάται εξ' ολοκλήρου μόνο από τις παραμέτρους και τα συστήματα που υπάρχουν στο καθεαυτό δίκτυο, αλλά μπορούν να επηρεαστούν και από τα τερματικά των χρηστών, δηλαδή από παράγοντες που

γεωγραφικά δεν βρίσκονται στην πλευρά των δικτύων αλλά είναι αποκλειστικά στο μέρος των χρηστών. Αυτό συμβαίνει διότι κάποιες φορές είτε το υλικό των υπολογιστών είτε τα εκάστοτε λογισμικά οι συμβατικοί υπολογιστές των χρηστών (personal computers, laptops, tablets κλπ) προκαλούν καθυστερήσεις κατά τη μεταφορά της αίτησης προς το δίκτυο. Οι κύριες αιτίες μπορεί να συμπεριλαμβάνουν τα εξής:

- Κακή προσαρμογή (ρύθμιση) κάρτας δικτύου
- Υπερφόρτωση κεντρικής μονάδας επεξεργασίας (central processing unit CPU) του υπολογιστή ή της διαθέσιμης μνήμης για διάφορους λόγους
- Μη συμβατά λογισμικά (software) αλλά και εγκατάσταση συγκεκριμένων λειτουργικών συστημάτων για τα οποία το υλικό του υπολογιστή δεν είναι σε θέση να ανταπεξέλθει σύμφωνα με τις προδιαγραφές που πρέπει
- Ασυμβατότητα προγραμμάτων του χρήστη σε σχέση με αυτά του διακομιστή στον οποίο γίνεται η αίτηση για την μεταφορά δεδομένων

Θα πρέπει να τονίσουμε ότι όσο τέλεια και συμβατά είναι τα συστήματα του δικτύου και των χρηστών, μπορεί ανά πάσα στιγμή να προκύψουν διάφορα μικρά ή μεγάλα προβλήματα με αποτέλεσμα την μη σωστή επικοινωνία ακόμη και την άρνηση υπηρεσιών (denial of service ή αλλιώς DoS). Και αυτό γιατί, όπως αναφέραμε, τα δίκτυα υπολογιστών είναι εξαιρετικά πολύπλοκα συστήματα που είναι σχεδόν αδύνατο να λειτουργούν πάντοτε στο μέγιστο της απόδοσής τους, ειδικά εάν και η πλευρά των συστημάτων του χρήστη δεν ανταποκρίνεται και αυτή όπως πρέπει. Σε κάθε περίπτωση, την κύρια ευθύνη για τη σωστή λειτουργία ενός ολοκληρωμένου δικτύου με πολλές συσκευές έγκειται περισσότερο στην πλευρά του δικτύου παρά στους χρήστες.

5.2 Πρακτικά μειονεκτήματα δικτύων

Όπως τονίσαμε, τα δίκτυα επικοινωνιών υπολογιστών είναι πολύπλοκα τεχνολογικά επιτεύγματα και ειδικά τα ευρείας εμβέλειας, επειδή τα τελευταία αποτελούν και τον πυρήνα των σύγχρονων και παγκόσμιων επικοινωνιών. Θεωρητικά, οι μέθοδοι, οι αλγόριθμοι και οι τεχνολογίες μεταφοράς δεδομένων όλο και βελτιώνονται μιας και οι επιστήμονες έχουν συνεχώς ως στόχο καινούργιες τεχνικές. Έτσι, η καινοτομία και η έρευνα στα δίκτυα υπολογιστών έχει να προσφέρει εξαιρετικά αποτελέσματα. Παρόλα

αυτά, στην πράξη τα πράγματα είναι διαφορετικά, διότι υπάρχουν παράγοντες και καταστάσεις που δεν μπορούν να προβλεφθούν με μεγάλη ακρίβεια. Έτσι, σε όλες τις κατηγορίες δικτύων συναντώνται κάποια πρακτικά προβλήματα που κατά περιπτώσεις είναι σχεδόν αδύνατο να επιλυθούν. Μπορούμε συνοπτικά να περιγράψουμε κάποιες περιπτώσεις κυριότερων μειονεκτημάτων των δικτύων υπολογιστών ως κάτωθι:

- 1) Ορισμένες φορές τα ευρείας εμβέλειας δίκτυα εμφανίζουν καθυστερήσεις μετάδοσης, είτε μικρές είτε μεγάλες, κατά την δρομολόγηση του σήματος. Ειδικά εάν πρόκειται για αίτημα πελάτη-εξυπηρετητή, δηλαδή ο χρήστης στέλνει αίτημα στον server και αυτός με τη σειρά του πάλι πίσω στον χρήστη, τότε η εν λόγω καθυστέρηση μπορεί να φτάσει στο διπλάσιο χρόνο. Σε αυτό ευθύνονται κυρίως οι αλγόριθμοι δρομολόγησης, τα συστήματα ουράς, η υπερφόρτωση του δικτύου και οι αλγόριθμοι κρυπτογράφησης.
- 2) Τα ασύρματα μητροπολιτικά δίκτυα είναι δυνατόν να παρουσιάσουν εξασθενημένο σήμα που έχει ως αποτέλεσμα την κακή εκπομπή και λήψη δεδομένων. Αυτό σημαίνει ότι η πραγματική ταχύτητα πρόσβασης μπορεί είναι πάρα πολύ χαμηλότερη από την θεωρητική, για παράδειγμα μια απλή περιήγηση σε τυπική ιστοσελίδα μπορεί να διαρκέσει μέχρι και μισό λεπτό, εκεί που σε κανονικές συνθήκες θα διαρκούσε 3 - 5 δευτερόλεπτα. Αυτό το πρόβλημα μπορεί να οφείλεται στα φυσικά εμπόδια που υπάρχουν στον γύρω χώρο αλλά και στις κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν κοντά στα κύρια σημεία πρόσβασης (από την πλευρά του δικτύου) αλλά και στην περιοχή που βρίσκεται ο χρήστης.
- 3) Γενικά στις ασύρματες επικοινωνίες παρουσιάζονται μερικές φορές κάποια προβλήματα κινητικότητας χρηστών (user mobility) αλλά και δυσκολίες πρόσβασης σε ένα δίκτυο που υποστηρίζει ασύρματες συνδέσεις. Επειδή οι σταθμοί βάσης και τα σημεία πρόσβασης έχουν περιορισμένη χωρητικότητα στον αριθμό των χρηστών που μπορούν να υποστηρίξουν, δεν είναι πάντοτε εφικτή μια σύνδεση. Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται πιο έντονα στα ασύρματα μητροπολιτικά και τοπικά δίκτυα, όπου το μεγάλο πλήθος συνδέσεων ταυτόχρονα μπορεί να προκαλέσει κορεσμό (saturation) ή υπερφόρτωση (overload) του δικτύου.
- 4) Στα ασύρματα τοπικά δίκτυα αλλά και ορισμένες φορές και στα προσωπικής εμβέλειας, η σύνδεση ενός υπολογιστή ή άλλης συσκευής με τον ασύρματο

δρομολογητή διακόπτεται πλήρως, όταν εκεί κοντά τεθεί σε λειτουργία ένας φούρνος μικροκυμάτων. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η συχνότητα λειτουργίας σε τέτοιου είδους τοπικό ασύρματο δίκτυο (κυρίως οικιακής χρήσεως αλλά και σε εταιρίες) είναι 2.4 GHz και σε αυτή την ίδια συχνότητα τυχαίνει να λειτουργεί και ο φούρνος μικροκυμάτων. Για να λυθεί το πρόβλημα, πρέπει ο φούρνος να απομακρυνθεί και από τον ασύρματο δρομολογητή αλλά και από τον υπολογιστή, παίρνοντας υπόψη και τις ανακλάσεις του χώρου, οι οποίες είναι δύσκολο να προβλεφθούν στην πράξη.

Σε κάθε περίπτωση με τα όποια προβλήματα και αν υπάρχουν, τα δίκτυα υπολογιστών με την συνολική έννοια εξελίσσονται συνεχώς. Η έρευνα σε αυτό το αντικείμενο ελκύει πολλούς επιστήμονες αλλά και εμπεριέχει πολλούς κλάδους θετικών επιστημών, πρακτικούς και θεωρητικούς, μιας και τα δίκτυα είναι υποδομές με ευρύ φάσμα εγκαταστάσεων και εφαρμογών. Τα κυριότερα αντικείμενα βασίζονται στην Πληροφορική, τις Τηλεπικοινωνίες, την Ηλεκτρονική, την Φυσική, με κύριο εργαλείο τα Μαθηματικά και τις εγκαταστάσεις συστημάτων. Σήμερα υπάρχουν έννοιες και εφαρμογές μέσω των δικτύων υπολογιστών που πριν δυο ή τρεις δεκαετίες δεν μπορούσαμε καν να προβλέψουμε ότι θα υπάρξουν στην πράξη.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ – REFERENCES

- [1] RFC, Internet Engineering Task Force (IETF), Requirements for Internet Hosts, Communication Layers, The Internet Architecture. p.7. <https://tools.ietf.org/html/rfc1122>
- [2] Tanenbaum A., Δίκτυα Υπολογιστών, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, 2003
- [3] Δικτύωση Υπολογιστών: Προσέγγιση από Πάνω προς τα Κάτω με Έμφαση στο Διαδίκτυο, Kurose J. & Ross K. (2008). Έκδοση 6η (μεταφρασμένη έκδοση), Εκδόσεις Γκιούρδας, 2013
- [4] Computer Network. Wikipedia, the free online encyclopedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Computer_Network
- [5] Δίκτυα Η/Υ στη δασοπονία, Ζ. Ανδρεοπούλου, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, http://www.for.auth.gr/uploads/pages/diktya_ypologistwn_stin_dasoronia_9_ex.pdf
- [6] Δίκτυα Υπολογιστών και Διαδίκτυο. Computer Science Illuminated, Nell Dale & John Lewis, 2nd Edition, 2005
- [7] Δίκτυα Υπολογιστών, Δίκτυα τεχνολογίας IP. Ε. Παπαπέτρου. Τμ. Μηχ. Η/Υ & Πληροφορικής, Παν. Ιωαννίνων
- [8] Συλλογή, αξιοποίηση και επεξεργασία πληροφοριών που παρέχουν τα κοινωνικά δίκτυα για υποστήριξη εφαρμογών που τρέχουν σε περιβάλλοντα κοινωνικών δικτύων (facebook). Ε. Παπανικολοπούλου, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Πατρών
- [9] Δίκτυα Υπολογιστών Ι. Μέρος 1. Ι. Μαδεμλής. ΤΕΙ Σερρών, Τμήμα Πληροφορικής & Επικοινωνιών, Τομέας Τηλεπικοινωνιών και Δικτύων. <http://www.teiser.gr/icd/staff/mademlis/diktia1th.htm>
- [10] Cisco Systems, Cisco visual networking index, <http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/>
- [11] The New Age Metropolitan Area Networks - The Architectures and Services, Ashton, Metzler & Associates

- [12] DWDM in metropolitan area networks. Cisco Systems, <http://www.cisco.com>
- [13] Τι είναι το Μητροπολιτικό Δίκτυο (MAN). Πανεπιστήμιο Μακεδονίας. http://conta.uom.gr/conta/ekpaideysh/metaptyxiaka/technologies_diktywn/teaching_man/whatisman.htm
- [14] Δίκτυα και διαδίκτυα Υπολογιστών και εφαρμογές τους στο Internet, Comer D.E., Εκδόσεις Κλειδάριθμος, 2007
- [15] CMIP Πρωτόκολλο, Διαχείριση Επικοινωνιακών Συστημάτων. Ν. Δουλγέρη. <http://agent.csd.auth.gr/Lessons/management/k11.doc&usg=AFQjCNHZ0Fgjb-mpFcmL8s3MknBwc1OTxA>
- [16] The economic impact of Internet traffic growth on network operators. Draft Final Report. Marcus, J.S. , WIK-Consult GmbH, pp. 1-65
- [17] Τεχνολογίες σύγχρονων ασυρμάτων δικτύων δεδομένων. Κ. Γεωργακόπουλος, Μηχανικός Πληροφορικής, Τμήμα Βιομηχανικής Πληροφορικής Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, ΑΤΕΙ Καβάλας, http://de.teikav.edu.gr/telematics/pdf/3o_Meros_Asymmata_thlematikh.pdf
- [18] Internet World Statistics, "History and Growth of the Internet". <http://www.internetworldstats.com/emarketing.htm>
- [19] Internet Live Statistics, "Number of Internet users in the World". <http://www.internetlivestats.com/internet-users>
- [20] Statista, "Number of worldwide internet users from 2000 to 2015". <http://www.statista.com/statistics/273018/number-of-internet-users-worldwide>
- [21] International Telecommunications Unit (ITU), "Statistics - Aggregate Data 2005-2015". <http://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/stat/default.aspx>
- [22] Ασύρματα δίκτυα, Δ. Δασκάλου. Τμήμα Τηλεπληροφορικής και Διοίκησης. Σχολή Διοίκησης και Οικονομίας, Τ.Ε.Ι. Ηπείρου. apothesis.teiep.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/4906/701.pdf

- [23] International Telecommunications Unit (ITU), "Manual for Measuring ICT Access and Use by Households and Individuals". ITU 2014, Geneva, Switzerland. http://www.itu.int/dms_pub/itu-d/opb/ind/D-IND-ITCMEAS-2014-PDF-E.pdf
- [24] Nielsen's Law of Internet Bandwidth. Nielsen, J., Nielsen Norman Group, April 1998. Updated: 2014. <http://www.nngroup.com/articles/law-of-bandwidth>
- [25] Forecasting of Access Network Bandwidth Demands for Aggregated Subscribers Using Monte Carlo Methods. Harstead, E., Sharpe, R. IEEE Communications Magazine, March 2015, 2015 IEEE. pp. 199-207
- [26] Modeling of YouTube Traffic in High Speed Mobile Networks. Horváth, G., Fazekas, P.. European Wireless 2015, VDE Verlag GMBH 2015. pp. 411-416
- [27] Δίκτυα Υπολογιστών: Μια προσέγγιση από τη σκοπιά των συστημάτων, L. Peterson and B. S. Davie, 4η Αμερικανική έκδοση, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, 2009
- [28] 10 Gigabit Ethernet, Application Requirements and Proposed Layer Architecture. Mike Salzman, Lucent Technologies
- [29] Ασύρματα Δίκτυα, Δίκτυα Δημόσιας Χρήσης, Τσώνη Σοφία, 2015. Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών & Πληροφορικής, Πανεπιστήμιο Πατρών
- [30] Semi-empirical description and projections of Internet traffic trends using a hyperbolic compound annual growth rate. Korotky, S.K., Bell Labs Technical Journal. Volume 18, No. 3. December 2013, Alcatel-Lucent, pp. 5–21
- [31] Internet Data for period 2005-2015. International Telecommunications Unit (ITU). <http://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/stat/default.aspx>
- [32] Center for Applied Internet Data Analysis (CAIDA). <http://www.caida.org>
- [33] Metropolitan Area Networks (MANs). Gorry Fairhurst, University of Aberdeen. <http://www.erg.abdn.ac.uk/Users/gorry/course/intro-pages/man.html>
- [34] Wide Area Network, Wikipedia, the free online encyclopedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Wide_Area_Network

- [35] What is the difference between a LAN, a MAN, and a WAN? Knowledge Base, Indiana University. <https://kb.iu.edu/d/agki>
- [36] Μητροπολιτικά Δίκτυα Οπτικών Ινών σε Δήμους της Ελλάδας. Περιοδικό "Ψηφιακή Ελλάδα". http://www.infosoc.gr/infosoc/el-GR/grafeiotypou/digital_greece_magazine/new_edition/08_02.htm
- [37] Strategic technology infrastructure for regional competitiveness in the Network Economy. Volume4: Fiber Optic infrastructure design guide. Virginia Tech, e-Corridors Program. <http://www.ecorridors.vt.edu/research/papers/stircne/vol04-guide.pdf>
- [38] Cisco Systems, Cisco VNI, <http://www.cisco.com>
- [39] White Paper: Staying Ahead of the Business Bandwidth Curve. Michael Harris, Kinetic Strategies. Spectrum Enterprise. https://enterprise.spectrum.com/content/dam/business/omega/enterprise/pdf/resource-center/white-papers/TW634_White_Paper_AheadofBWCurve_20161114_Web.pdf?elq=d7935034306948cab213116c736575e7&elqCampaignId=469&elqaid=686&elqat=1&elqTrackId=a8f95aa48a5c4a3c86240d72ec75e80a
- [40] Seventh Annual State of the Network Global Study,” Network Instruments, May 2014
- [41] Amazon Cloud Drive vs Dropbox: Head-To-Head Comparison,” Backup Review, July 2015
- [42] Ανάπτυξη των Μητροπολιτικών Δικτύων στην Ελληνική Περιφέρεια και δίκτυα επόμενης γενιάς. Ι. Ζαχαρόπουλος, Ph.D. Μηχανικός Τηλεπικοινωνιών. http://www.cs.teikal.gr/hmerida_site/zahar.pdf
- [43] Metropolitan Area Network, Wikipedia, the free online encyclopedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Metropolitan_Area_Network
- [44] IEEE Std 802-2002, IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks: Overview and Architecture, page 1, section 1.2: "Key Concepts", <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802-2001.pdf>

[45] Asymmetric Digital Subscriber Line, Wikipedia, the free online encyclopedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Asymmetric_Digital_Subscriber_Line

[46] Τεχνολογίες μητροπολιτικών δικτύων, Πανεπιστήμιο Μακεδονίας. http://conta.uom.gr/conta/ekpaideysh/metapyxiaka/technologies_diktywn/teaching_m/man/mantechs.htm#2

[47] AT&T Aims to Quadruple Network Speeds for Businesses with 400 Gigabit Ethernet Data Trials for More Bandwidth and Faster Video Streaming. <http://www.prnewswire.com/news-releases/att-aims-to-quadruple-network-speeds-for-businesses-with-400-gigabit-ethernet-data-trials-for-more-bandwidth-and-faster-video-streaming-300353419.html>

[48] Forward error correction in optical networks. P. Michael Henderson. Division Director Business & Technology Planning for the Network Access Division, Conexant Systems, Inc. International IC – China. Conference Proceedings, pp 124-138

[49] Forouzan, Behrouz. Data Communications and Networking. McGraw-Hill. ISBN: 9780073376226

[50] Αρχιτεκτονικές Μητροπολιτικών Δικτύων. Πανεπιστήμιο Μακεδονίας. http://conta.uom.gr/conta/ekpaideysh/metapyxiaka/technologies_diktywn/teaching_m/man/manarchitects.htm

[51] Computer Networking: Principles, Protocols and Practice. Olivier Bonaventure. The Saylor Foundation. <https://www.saylor.org/site/wp-content/uploads/2012/02/Computer-Networking-Principles-Bonaventure-1-30-31-OTC1.pdf>

[52] ITU-T Rec. G.707/Y.1322, Network node interface for the synchronous digital hierarchy (SDH)., Geneva: International Telecommunications Union, January 2007. http://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-G.707-200701-I!!PDF-E&type=items

[53] ANSI T1.105.07-1996 (R2005), Synchronous Optical Network (SONET) – Sub-STS-1 Interface Rates and Formats Specification., New York: American National Standards Institute, 1996. <https://web.archive.org/web/>

20120306013548/http://webstore.ansi.org/RecordDetail.aspx?sku=ANSI+T1.105.07-1996+%28R2005%29

[54] Synchronous Optical Networking. Wikipedia, the free online encyclopedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Synchronous_optical_networking

[55] ITU-T Rec. G.707/Y.1322, Network node interface for the synchronous digital hierarchy (SDH). Geneva: International Telecommunications Union (ITU), January 2007.

[56] ITU-T Rec. G.783, Characteristics of synchronous digital hierarchy (SDH) equipment functional blocks. Geneva: International Telecommunications Union (ITU), March 2006

[57] ITU-T Rec. G.784, Management aspects of the synchronous digital hierarchy (SDH) transport network element. Geneva: International Telecommunications Union (ITU), March 2008

[58] ITU-T Rec. G.803, Architecture of transport networks based on the synchronous digital hierarchy (SDH). Geneva: International Telecommunications Union (ITU), March 2000

[59] "SONET/SDH Technical Summary". TechFest. TechFest.com. 2002. Archived from the original on 27 January 1999

[60] "SONET/SDH Technical Summary". TechFest. TechFest.com. 2002. Archived from the original on 27 January 1999

[61] ANSI T1.105.07-1996 (R2005), Synchronous Optical Network (SONET) – Sub-STS-1 Interface Rates and Formats Specification., New York: American National Standards Institute, 1996, archived from the original on 6 March 2012

[62] Horak, Ray (2007). Telecommunications and Data Communications Handbook. Wiley-Interscience. p. 476

[63] Tozer, Edwin Paul J. (2004). "1.8.11 Synchronous Digital Hierarchy (SDH)". Broadcast Engineer's Reference Book. Focal Press. p. 97

- [64] Elbert, Bruce R. (2008). Introduction to Satellite Communication. Artech House space applications series (3rd ed.). Artech House. p. 73
- [65] Gigabit Ethernet. Wikipedia, the free online encyclopedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Gigabit_Ethernet
- [66] Gigabit Ethernet Auto-Negotiation. https://web.archive.org/web/20120205143649/http://www.dell.com/content/topics/global.aspx/power/en/ps1q01_hernan?c=us&l=en&cs=555
- [67] Gigabit Ethernet. Πανεπιστήμιο Μακεδονίας. http://conta.uom.gr/conta/ekpaideysh/metaptyxiaka/technologies_diktywn/teaching_m/man/Gigabit%20Ethernet.htm
- [68] 1.25 Gbps SFP Transceiver 120 km 1550nm 1000BASE-EZX, Menara Networks. <http://menaranet.com/download/datasheets/SFP/187-0A031-00%20SFP%201550nm%20EZX%20GbE%20-%20Product%20Datasheet-%202%20page.pdf>
- [69] Asynchronous Transfer Mode, Wikipedia, the free online encyclopedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Asynchronous_Transfer_Mode
- [70] ATM Forum, The User Network Interface (UNI), v. 3.1. Prentice Hall PTR, 1995, page 2
- [71] Ayanoglu, Ender; Akar, Nail. "B-ISDN (Broadband Integrated Services Digital Network)". Center for Pervasive Communications and Computing, UC Irvine. Retrieved 3 June 2011. <http://repositories.cdlib.org/cpcc/2/>
- [72] "Guide to ATM Technology for the Catalyst 8540 MSR, Catalyst 8510 MSR, and LightStream 1010 ATM Switch Routers" (PDF). Customer Order Number: DOC-786275. Cisco Systems, 2000. Retrieved 19 July 2011. https://www.cisco.com/application/pdf/en/us/guest/products/ps1891/c2001/ccmigration_09186a00800f4b5d.pdf
- [73] Guide to ATM Technology, for the Catalyst 8540 MSR, Catalyst 8510 MSR, and LightStream 1010 ATM Switch Routers. Cisco Systems, Inc. <https://indigothemes.com/wikipedia-contribution/techgd.pdf>

- [74] The IEEE 802.11 working group. <http://www.ieee802.org/11/>
- [75] Metcalfe R., Boggs, D., Ethernet: Distributed packet-switching for local computer networks. *Communications of the ACM*, 19(7):395–404, 1976
- [76] The IEEE 802.3 working group. <http://www.ieee802.org/3/>
- [77] Wireless LAN Networking. White Paper. U.S. Robotics
- [78] The IEEE 802.15 Working Group for WPAN. <http://ieee802.org/15/index.html>
- [79] WPAN – Wireless Personal Area Networks. S-72.4210 Post-Graduate Course in Radio Communications. February 21, 2006. Jussi Salmi, Helsinki University of Technology. Signal Processing Lab./SMARAD, TKK, Espoo, Finland
- [80] T. Siep, "IEEE 802.15.1 Tutorial", Texas Instruments, http://grouper.ieee.org/groups/802/15/pub/2001/Jan01/01046r1P802-15_WG-802-15-1-TG1-Tutorial.ppt
- [81] D. Rotella and R. Rotella, "IEEE 802.15.3a", http://faculty.eng.fiu.edu/~zhuha/tnc6270/presentations_slides/IEEE802153a.ppt
- [82] Computer Network Fundamentals (Unit 2). <https://www.clarkson.edu/highschool/k12/pdf/Unit%202-Computer%20Network%20Fundamentals.pdf>, <https://www.clarkson.edu/k12>