

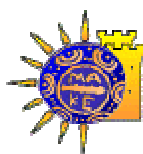
UNIVERSITY OF MACEDONIA
MASTER IN INFORMATION SYSTEMS

University Network Topology Design & Planning Case-studies

Sofia Zapounidou
Antigoni Dimitriadou

Networking Technologies
Professor: A.A. Economides

Thessaloniki, 2003



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΠΜΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Σχεδίαση Τοπολογίας Πανεπιστημιακών Δικτύων Μελέτη περιπτώσεων

Σοφία Ζαπουνίδου
Αντιγόνη Δημητριάδου

Τεχνολογίες Τηλεπικοινωνιών & Δικτύων
Υπεύθυνος Καθηγητής: Α.Α. Οικονομίδης

Θεσσαλονίκη, 2003

Abstract

Topology is one of the three networking attributes, which characterize a network's architecture. It refers to the way by which terminal points or workstations are interconnected and integrated in the network. This study focuses on the topology of specific University networks. University network topology and design are of particular significance, because educational and research institutions have special requirements, concerning supported applications and quality of the services provided by the network.

In the following chapters, various topics are analyzed, such as topology, cabling media and techniques, and the applied technologies. Furthermore, we discuss the services provided by University networks, as well as future plans for network development. The following Universities are studied: University of Macedonia, M.V. Lomonosov Moscow State University, University College of London, Princeton University, University of Waterloo, City University London and the Finnish University Network FUNET.

Comparative analysis of the abovementioned institutions leads to useful conclusions about topologies and the relevant technologies mainly used in university networks. In particular, FDDI, Fast/Gigabit Ethernet and ATM technologies are the major solutions for most networks. The conclusions drawn in the last chapter offer a rather realistic image of international trends and future developments in the field of network technologies.

Περίληψη

Η τοπολογία αποτελεί μία από τις τρεις ιδιότητες δικτύωσης που χαρακτηρίζουν την αρχιτεκτονική ενός δικτύου. Πρόκειται για τον τρόπο με τον οποίο τα τελικά σημεία ή οι σταθμοί εργασίας ενσωματώνονται στο δίκτυο, με το οποίο επικοινωνούν, και διασυνδέονται μεταξύ τους. Η παρούσα εργασία αναλύει το θέμα της τοπολογίας των δικτύων συγκεκριμένων Πανεπιστημιακών Ιδρυμάτων. Η σημασία της τοπολογίας και γενικότερα της σχεδίασης του δικτύου ενός Πανεπιστημίου είναι ιδιαίτερη, καθώς οι απαιτήσεις αυτών των εκπαιδευτικών και ερευνητικών φορέων είναι αυξημένες, τόσο ως προς τις υποστηριζόμενες εφαρμογές, όσο και ως προς την ποιότητα των παρεχόμενων από το δίκτυο υπηρεσιών.

Στα επόμενα κεφάλαια περιγράφονται, εκτός της τοπολογίας, θέματα όπως τα μέσα και οι τεχνικές καλωδίωσης και οι χρησιμοποιούμενες τεχνολογίες (συσκευές μετάδοσης, πρωτόκολλα, standards κ.λ.π.). Αναλύονται επίσης οι παρεχόμενες από τα πανεπιστημιακά δίκτυα υπηρεσίες, καθώς και τα σχέδια για τη μελλοντική ανάπτυξη των δικτύων. Τα Πανεπιστημιακά Ιδρύματα που μελετούνται είναι τα εξής: Πανεπιστήμιο Μακεδονίας, M.V. Lomonosov Moscow State University, University College of London, Princeton University, University of Waterloo, City University London και το δίκτυο των φινλανδικών Πανεπιστημίων FUNET.

Η συγκριτική ανάλυση των προαναφερθέντων Ιδρυμάτων καταλήγει σε ενδιαφέροντα συμπεράσματα ως προς τις τοπολογίες και τις τεχνολογίες που προτιμώνται για τα πανεπιστημιακά δίκτυα. Συγκεκριμένα, οι τεχνολογίες FDDI, Fast/Gigabit Ethernet και ATM αναδεικνύονται ως οι πλέον εφαρμοζόμενες λύσεις, στις οποίες συγκλίνουν τα δίκτυα. Τα συμπεράσματα, όπως αναλύονται στο τελευταίο κεφάλαιο, παρέχουν μια αρκετά ρεαλιστική εικόνα για τις διεθνείς τάσεις και τις μελλοντικές εξελίξεις σχετικά με τις τεχνολογίες δικτύων.

Περιεχόμενα – Contents

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ - INTRODUCTION.....	7
1.1 Σχεδίαση δικτύου – Network design	7
1.2 Εφαρμογές - Applications.....	8
1.3 Τοπολογία – Topology	8
2. ΜΕΛΕΤΕΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΝ – CASE STUDIES	11
2.1 Πανεπιστήμιο Μακεδονίας – University of Macedonia	11
2.1.1 Το Πανεπιστήμιο – The University	11
2.1.2 Το δίκτυο – The network	11
2.1.2.1 Υπηρεσίες – Services.....	11
2.1.2.2 Τοπολογία - Συνδέσεις – Topology - Connections	11
2.1.2.3 Καλωδίωση του Δικτύου – Network cabling.....	14
2.2 Πανεπιστήμιο της Μόσχας (M.V. Lomonosov Moscow State University) .	16
2.2.1 Ιστορία του Πανεπιστημίου – University history	16
2.2.2 Το Δίκτυο – The network.....	16
2.2.2.1 Υπηρεσίες – Services	16
2.2.2.2 Τοπολογία-Συνδέσεις – Topology - Connections.....	17
2.2.2.3 Εξωτερικές Συνδέσεις – External Connections	19
2.2.3 Μέλλον του δικτύου (μελλοντικές εφαρμογές) – Future applications	19
2.2.3.1 Ασφάλεια - Security.....	19
2.3 University College London.....	20
2.3.1 Τα Δίκτυα JANET, UKERNA, LMN – Networks	20
2.3.2 Ιστορία του Πανεπιστημίου – University history	22
2.3.3 Το Δίκτυο – The network.....	22
2.3.3.1 Το παλιό δίκτυο FDDI – The old FDDI network	22
2.3.3.2 Το νέο δίκτυο του UCL – The new network of UCL	23
2.4 City University	25
2.4.1 Το Πανεπιστήμιο – The University	25
2.4.2 Ιστορικό του δικτύου – Network history	26
2.4.3 Σύγχρονη εικόνα του δικτύου – The network’s current status	26
2.4.3.1 Παρεχόμενες υπηρεσίες – Available services	26
2.4.3.2 Διασύνδεση – Internetworking	26
2.4.4 Μελλοντικά σχέδια – Future plans	27
2.5 FUNET (Finnish University and Research Network)	27
2.5.1 Περιγραφή του δικτύου – Network description.....	28
2.5.1.1 Τεχνολογίες - Technologies.....	28
2.5.2 Το δίκτυο UTANET – The UTANET network	29
2.6 Princeton University Network	30
2.6.1 Δομή του δικτύου – Network structure.....	31
2.6.1.1 Καλωδίωση - Cabling	32
2.6.2 Απομακρυσμένη πρόσβαση – Remote access	33
2.6.3 Σύνδεση με το Internet – Connection to the Internet.....	34
2.6.4 Παρεχόμενες υπηρεσίες – Available services	35
2.6.5 Ασφάλεια του δικτύου – Network security	35

2.6.6 Μελλοντικοί στόχοι – Future goals	35
2.7 University of Waterloo	36
2.7.1 Το Πανεπιστήμιο – The University	36
2.7.2 Αρχιτεκτονική του δικτύου – Network architecture	36
2.7.2.1 Δίκτυο επιπέδου 1 – Level one network	36
2.7.2.2 Δίκτυα επιπέδου 2 – Level 2 networks	37
2.7.2.3 Δίκτυα χαμηλότερου επιπέδου – Lower level networks.....	37
2.7.3 Μεταγωγή επιπέδου μετάδοσης και δρομολόγηση επιπέδου δικτύου – Transmission-layer switching and network-layer routing	37
2.7.3.1 Το στρώμα συστημάτων μετάδοσης – Transmission-systems layer ..	37
2.7.3.2 Το στρώμα δικτύου – Network layer	38
2.7.3.3 Ολοκληρωμένη μεταγωγή Ethernet και IP δρομολόγηση – Integrated Ethernet switching and IP routing.....	39
2.7.4 Ασύρματη επικοινωνία – Wireless communication	39
2.7.5 Ομάδες εργασίας Client/Server – Client/Server workgroups	39
2.7.6 Τοπολογία του δικτύου ResNet – ResNet topology	39
2.7.7 Εξωτερικές συνδέσεις – External connections	39
2.7.8 Αναβάθμιση του δικτύου – Μελλοντικά σχέδια – Future plans.....	40
3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - CONCLUSIONS	41
3.1 FDDI.....	41
3.2 Fast Ethernet (IEEE 802.3u).....	41
3.3 ATM	41
3.4 Ασύρματα Δίκτυα – Wireless networks	42
4. ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ – FUTURE APPLICATIONS.....	43
4.1 10 Gigabit Ethernet.....	43
4.2 ATM	43
4.3 IP και IPv6.....	44
4.4 Σύγκριση Τεχνολογιών – Comparison of technologies.....	44
4.4.1 ATM και Ethernet.....	44
4.4.2 ATM-IP.....	45
4.4.3 ATM και SONET/SDH	45
4.5 Επιλογή τεχνολογιών για την κατασκευή LAN, WAN, MAN και Backbone Network – Technological solutions for network formation	46
4.5.1 Τοπικά δίκτυα - LAN.....	46
4.5.2 Δίκτυα Ευρείας Περιοχής (WAN) και Μητροπολιτικά Δίκτυα (MAN)	46
4.5.3 Δίκτυα Κορμού - Backbone Networks	46
5. Βιβλιογραφία - Bibliography.....	47
5.1 ΒΙΒΛΙΑ, ΑΡΘΡΑ ΠΕΡΙΟΔΙΚΩΝ, ΤΕΧΝΙΚΑ ΑΡΘΡΑ – BOOKS, JOURNALS.....	47
5.2 ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ – Internet resources	48
5.2.1 Πανεπιστήμια - Univeristies	48
5.2.2 Τεχνολογίες Δικτύων – Network technologies.....	48

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Σχεδίαση δικτύου

Με την εξάπλωση των intranets, του ηλεκτρονικού εμπορίου, των εξυπηρετητών Παγκόσμιου Ιστού (World Wide Web servers), των πολυμέσων, των ολοκληρωμένων υπηρεσιών φωνής και δεδομένων (voice and data integration), του σχεδιασμού επιχειρησιακών πόρων (enterprise resource planning), τα σημερινά δίκτυα έχουν καταλήξει να αποτελούν αναπόσπαστο μέρος μίας επιχείρησης, ενός οργανισμού και φορέας της επιτυχίας στους σκοπούς τους¹. Πράγματι, ένα δίκτυο θεωρείται πετυχημένο, αν βοηθά στην επίτευξη των στόχων του οργανισμού τον οποίο καλείται να εξυπηρετεί. Η ικανοποίηση των στόχων και των σκοπών αυτών επιτυγχάνεται από τα πολύ αρχικά στάδια ανάπτυξης ενός δικτύου, από τη σχεδιάσή του.

Ο όρος “Σχεδίαση Δικτύου” αποτελεί ένα γενικό και υποκειμενικό όρο που καλύπτει μία μεγάλη ποικιλία ικανοτήτων και εργασιών, από τα στοιχεία του λογικού σχεδιασμού (όπως πρωτόκολλα δικτύων, διευθυνσιοδότηση) έως τα στοιχεία του φυσικού σχεδιασμού (όπως φυσική τοπολογία, υποδομή κυκλώματος)². Η σχεδίαση δικτύων αποτελεί δύσκολο έργο το οποίο περιπλέκεται από τρεις κυρίως παράγοντες: το τεράστιο πλήθος των διαθέσιμων δικτυακών επιλογών, την πολυπλοκότητα και το ρυθμό εξέλιξης της τεχνολογίας.

Το πρώτο βήμα³ στη σχεδίαση ενός δικτύου αφορά τον καθορισμό των τεχνικών του απαιτήσεων. Περιλαμβάνει τη συλλογή στοιχείων σχετικών με προβλέψεις γύρω από το φορτίο, τον τύπο (π.χ. δεδομένα, εικόνα, κλπ) και τις πηγές και τους προορισμούς της δικτυακής κυκλοφορίας. Τα στοιχεία αυτά χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της χωρητικότητας του δικτύου. Οι τεχνικές απαιτήσεις που παράγονται από το πρώτο στάδιο, χρησιμοποιούνται στο δεύτερο βήμα, στο οποίο καθορίζεται η τοπολογία του δικτύου. Το βήμα αυτό περιλαμβάνει τον καθορισμό των θέσεων των επικοινωνιακών ζεύξεων και των δικτυακών κόμβων, τον προσδιορισμό των μονοπατιών δρομολόγησης της κυκλοφορίας και τον καθορισμό του πλήθους των δυνατοτήτων του δικτυακού εξοπλισμού. Στο τρίτο βήμα γίνεται *ανάλυση της απόδοσης* του δικτυακού σχεδίου που αναπτύχθηκε στα δύο προηγούμενα βήματα, για να προσδιοριστεί το κόστος του, η αξιοπιστία του και οι παράμετροι καθυστέρησης. Άπαξ και καθοριστεί η γενική τοπολογία του δικτύου και αποφασιστούν οι σημαντικότερες πτυχές του σχεδιασμού, χρησιμοποιούνται επιπρόσθετες και πιο ακριβείς τεχνικές για τον εκλεπτυσμό των λεπτομερειών της επιλεχθείσας σχεδίασης. Αυτό συνήθως αποτελεί το τέταρτο και το τελευταίο στάδιο της διαδικασίας σχεδίασης του δικτύου.

Συνοπτικά, κατά τη σχεδίαση ενός δικτύου συλλέγονται πληροφορίες σχετικά με τις πληροφοριακές ανάγκες που οφείλει να καλύπτει το νέο δίκτυο και λαμβάνονται αποφάσεις σχετικά με τη διαθέσιμη τεχνολογία που μπορεί να ανταποκριθεί σε αυτές τις απαιτήσεις. Έτσι, κάθε δίκτυο έχει το δικό του προφίλ, το οποίο αποτελεί μία επιλογή από βασικά πρότυπα, τα οποία, σε συνδυασμό, μπορούν να χρησιμοποιηθούν, προκειμένου να παράσχουν μία συγκεκριμένη λειτουργία σε ένα δεδομένο περιβάλλον. Για κάθε βασικό πρότυπο γίνεται επιλογή των δυνατοτήτων που παρέχονται και επιλέγονται τιμές σε παραμέτρους. Ένα προφίλ μπορεί να περιέχει κάποια χαρακτηριστικά συμβατότητας που να είναι πιο ειδικά και περιορισμένα σε σκοπό από τα βασικά πρότυπα στα οποία αναφέρεται το προφίλ⁴.

Επειδή ο σχεδιασμός ενός δικτύου αποτελεί επίπονη εργασία οι κατασκευαστές συχνά ακολουθούν το ιεραρχικό μοντέλο σχεδίασης. Το μοντέλο αυτό διαχωρίζει τη διαδικασία σχεδιασμού στο σχεδιασμό της πρόσβασης στο δίκτυο (access network design)

¹ Cisco, *White Paper: Campus Network Services* στην ηλεκτρονική διεύθυνση www.cisco.com.

² Tony Kenyon, *High-Performance Data Network Design: Design Techniques and Tools*, Boston: Digital Press, 2002, 1.

³ www.conta.uom.gr/conta/ekpaideysh/metaptyxiaka/technologies_diktyvn/teaching_m/

⁴ William Stallings, *Networking Standards: a Guide to OSI, ISDN, LAN, and MAN Standards*, Reading Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company, 1993, 593-596.

και στο σχεδιασμό του κορμού του δικτύου (backbone network design). Η πρόσβαση στο δίκτυο καθορίζει την εισερχόμενη ροή της κυκλοφορίας στο δίκτυο. Ο κορμός του δικτύου αποτελεί αναμφίβολα το πιο σημαντικό κομμάτι σε οποιοδήποτε σχεδιασμό δικτύου⁵. Διασπάται εννοιολογικά το δίκτυο σε έναν αριθμό από ιεραρχικά επίπεδα. Το δίκτυο ραχοκοκαλιάς μπορεί να θεωρηθεί ως το πρώτο, ενώ τα δίκτυα πρόσβασης που αποτελούν επικοινωνιακά κανάλια χαμηλότερης ταχύτητας ως το δεύτερο επίπεδο της δικτυακής τοπολογίας⁶. Με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατή η κατάτμηση του σύνθετου προβλήματος της σχεδίασης ενός δικτύου σε επιμέρους θέματα που μπορούν να επιλυθούν ευκολότερα.

1.2 Εφαρμογές

Η κατανόηση της τυπικής χρήσης των εφαρμογών και των υπηρεσιών του δικτύου είναι ζωτικής σημασίας για το σχεδιασμό του⁷. Οι εφαρμογές απαιτούν πάρα πολύ διαφορετικές ποσότητες αποθηκευτικού χώρου και εύρους ζώνης για τα δεδομένα τους. Μία εικόνα για παράδειγμα απαιτεί πολύ μεγαλύτερο αποθηκευτικό χώρο από ότι ένα έγγραφο κειμένου. Οι εφαρμογές επίσης μπορεί να είναι περισσότερο ή λιγότερο ευαίσθητες στις καθυστερήσεις του δικτύου. Οι εφαρμογές πολυμέσων για παράδειγμα είναι πολύ ευαίσθητες στις καθυστερήσεις και απαιτούν μεγάλο εύρος ζώνης που κυμαίνεται από 100 Kbps έως 70 και 80 Mbps. Επομένως διαφορετικές εφαρμογές παρουσιάζουν πολύ μεγάλες διαφορές στον τρόπο που επηρεάζουν το δίκτυο.

Τα πανεπιστήμια, ως εκπαιδευτικά και ερευνητικά ιδρύματα, έχουν αυξημένες απαιτήσεις όσον αφορά τόσο στις εφαρμογές, όσο και στην ποιότητα των παρεχόμενων από το δίκτυο υπηρεσιών. Οι “τυπικές” υπηρεσίες που προσφέρει ένα πανεπιστήμιο είναι η δικτύωση των επιμέρους κτιρίων του για τη μεταφορά φωνής και δεδομένων, ο διαμοιρασμός των πόρων (αποθηκευτικός χώρος, υπολογιστική ισχύ, χρήση ακριβού εξοπλισμού και λογισμικού), η παροχή στους φοιτητές και στο προσωπικό πρόσβασης στο διαδίκτυο και στον παγκόσμιο ιστό, ηλεκτρονικό ταχυδρομείο, ftp, εφαρμογές με πολυμέσα· ενίοτε εφαρμογές για τηλεδιάσκεψη και εξ αποστάσεως εκπαίδευση. Ανάλογα με τη φύση και τον προσανατολισμό του Πανεπιστημίου, το δίκτυο θα πρέπει να παρέχει υπηρεσίες υψίστης ποιότητας για την υποστήριξη ερευνητικών προγραμμάτων και ειδικών εργαστηρίων.

Όλες αυτές οι εφαρμογές έχουν μεγάλες απαιτήσεις σε εύρος ζώνης και σε αποθηκευτικό χώρο. Όσο, όμως, το δίκτυο αποτελεί ένα συστατικό κριτικής σημασίας για τη λειτουργία του πανεπιστημίου, πρέπει να μπορεί να προσφέρει πολύ περισσότερα από ένα μεγάλο εύρος ζώνης. Για αυτό οι μεγαλύτερες προκλήσεις των διαχειριστών δικτύων παραμένουν θέματα, όπως η προστασία των εφαρμογών ζωτικής σημασίας, η υψηλή διαθεσιμότητα, η υποστήριξη εφαρμογών με πολυμέσα, η διαχειρισσιμότητα, η ασφάλεια και η διαβάθμιση/κλιμάκωση (scalability)⁸.

1.3 Τοπολογία

Επειδή το δίκτυο θα εξυπηρετήσει ένα συγκεκριμένο φορέα με δεδομένες ανάγκες και στόχους, απαιτείται από την αρχή η λεπτομερής συλλογή πληροφοριών όχι μόνο όσον αφορά στις ανάγκες αυτού του φορέα και στις απαιτήσεις των χρηστών, αλλά και όσον αφορά το χώρο ή τους χώρους όπου πρέπει να καλυφθούν αυτές οι ανάγκες⁹.

⁵ Tony Kenyon, *High-Performance Data Network Design: Design Techniques and Tools*, Boston: Digital Press, 2002, 186-187.

⁶ www.conta.uom.gr/conta/ekpaideysh/metapyxiaka/technologies_diktyvn/teaching_m/

⁷ Tony Kenyon, *High-Performance Data Network Design: Design Techniques and Tools*, Boston: Digital Press, 2002, 55-56,60.

⁸ Cisco, *White Paper: Campus Network Services* στην ηλεκτρονική διεύθυνση www.cisco.com.

⁹ Tony Kenyon, *High-Performance Data Network Design: Design Techniques and Tools*, Boston: Digital Press, 2002, 10.

Πρέπει να οριστεί η γεωγραφική έκταση του δικτύου, καθώς και ο τρόπος με τον οποίο τα τελικά σημεία ή οι σταθμοί εργασίας θα ενσωματώνονται στο δίκτυο, με το οποίο επικοινωνούν, και θα διασυνδέονται μεταξύ τους¹⁰. Όλα αυτά ορίζονται με την τοπολογία του δικτύου, η οποία αποτελεί μία από τις τρεις ιδιότητες δικτύωσης που χαρακτηρίζουν την αρχιτεκτονική ενός δικτύου. Οι άλλες δύο είναι¹¹: α) η τεχνική μετάδοσης και πολυπλεξίας, η οποία καθορίζει τη μετατροπή, την κωδικοποίηση, τη μετάδοση/λήψη και τις τεχνικές πολυπλεξίας που υπάρχουν για να συνθέσουν συνδέσμους για διαδίκτυωση με τους ποικίλους δικτυακούς κόμβους. Θέματα όπως αναλογική ή ψηφιακή μετάδοση, ομοαξονικά ή οπτικές ίνες, και μονά ή πολυπλεγμένα ρεύματα δεδομένων λύνονται και β) η τεχνική διαχείρισης και ελέγχου του δικτύου· τεχνική που αφορά στην τεχνολογία μεταγωγής (switching) ελέγχου της ροής της κυκλοφορίας, και μέθοδοι διανομής και ελέγχου της νοημοσύνης (intelligence) στο δίκτυο.

Η επιλογή μιας δικτυακής τοπολογίας για κάθε τμήμα του δικτύου κατέχει ιδιαίτερη σημασία, επειδή οι τεχνικές σχεδίασης ταξινομούνται ανάλογα με τον τύπο του δικτύου που παράγουν¹². Για τη σωστή διευθέτηση μιας τοπολογίας απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή. Και αυτό γιατί μια συγκεκριμένη τοπολογία μπορεί να προσδιορίζει τον τύπο της καλωδίωσης που θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί, τον τρόπο με τον οποίο τα διάφορα καλώδια θα περνούν μέσα από ταβάνια, τοίχους και πατώματα, τον τρόπο επικοινωνίας μεταξύ των υπολογιστών καθώς και πολλά άλλα λειτουργικά στοιχεία. Όλα αυτά θα πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπόψη κατά τη διευθέτηση της τοπολογίας, γιατί προσδιορίζουν σε μεγάλο βαθμό το επίπεδο της απόδοσης ολόκληρου του δικτύου.

Υπάρχουν πολλές τοπολογίες ανάμεσα στις οποίες μπορεί κάποιος να επιλέξει. Η κάθε μία έχει τα δυνατά και τα αδύναμα σημεία της. Οι βασικές κατηγορίες περιλαμβάνουν την τοπολογία πλέγματος (mesh), μερικού πλέγματος (partial mesh), αστέρα (star), δένδρου (tree), διαύλου (bus) και δακτυλίου (ring).

Mesh (Πλέγμα): Σε αυτή την τοπολογία, όλοι οι κόμβοι συνδέονται απευθείας μεταξύ τους, αλλά δεν είναι απαραίτητο να αλληλοσυνδέονται όλοι οι κόμβοι (partial mesh topology).

Star (Αστέρα): Στην τοπολογία αυτή, όλοι οι κόμβοι συνδέονται διαμέσου ενός κεντρικού κόμβου. Αποτελεί την καλύτερη επιλογή σε περιπτώσεις, όπου απαιτούνται ολοκληρωμένες υπηρεσίες φωνής/δεδομένων ή μεγάλες ταχύτητες μεταγωγής.

Tree (Δένδρο): Στην τοπολογία αυτή υπάρχει μόνο ένα μονοπάτι μεταξύ των κόμβων.

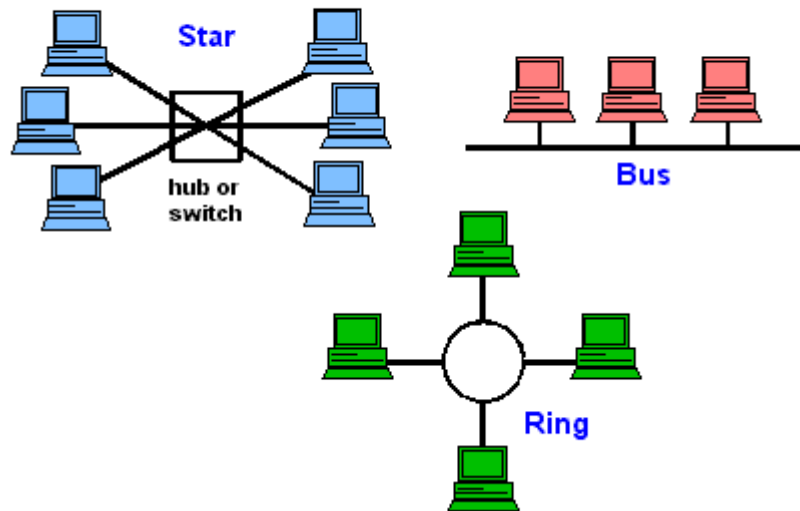
Bus (Διάυλος): Όλοι οι κόμβοι είναι συνδεδεμένοι σε ένα κοινό μέσο μετάδοσης. Αποτελεί καλή επιλογή για μικρά δίκτυα με χαμηλό φορτίο κίνησης.

Ring (Δακτύλιος): Στην τοπολογία αυτή, όλοι οι κόμβοι είναι συνδεδεμένοι σε έναν λογικό ή φυσικό κύκλο. Αποτελεί καλή επιλογή σε περιπτώσεις, όπου απαιτείται ισοκατανομή της χωρητικότητας του δικτύου ή όταν πρέπει να συνδεθούν σε μικρές αποστάσεις λίγοι σταθμοί εργασίας που θα λειτουργούν σε υψηλές ταχύτητες.

¹⁰ William Stallings, *Networking Standards: a Guide to OSI, ISDN, LAN, and MAN Standards*, Reading Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company, 1993, 359.

¹¹ Roshan L. Sharma, *Network Topology Optimization: the Art and Science of Network Design*, New York: Van Nostrand Reinhold, 1990, 8.

¹² www.conta.uom.gr/conta/ekpaideysh/metaptyxiaka/technologies_diktyvn/teaching_m/



Εικόνα 1: Μερικές Τοπολογίες Δικτύων (Commweb TechEncyclopedia)

Πρέπει να διευκρινιστεί ότι οι πραγματικές συνδέσεις μεταξύ των υπολογιστών ανταποκρίνονται στην τοπολογία που θα επιλεγεί (π.χ. δίαυλος) λογικά, αν όχι φυσικά¹³. Είναι αναγκαίο επομένως να γίνει διαχωρισμός ανάμεσα στη λογική τοπολογία και στη φυσική. Η φυσική τοπολογία συχνά επικαλύπτεται από αρκετές λογικές τοπολογίες που δημιουργούνται από πολλές συσκευές μεταγωγής και πρωτόκολλα δρομολόγησης¹⁴. Η λογική τοπολογία καθορίζει το ηλεκτρικό σήμα (path), ενώ η φυσική καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο διευθετούνται στο χώρο τα καλώδια, οι συγκεντρωτές (**concentrators**), και οι κόμβοι. Για παράδειγμα, το Ethernet πρέπει να είναι ένα δίκτυο λογικού διαύλου· όμως, μπορεί σε φυσικό επίπεδο να μοιάζει με ένα δίαυλο ή και με ένα αστέρα. Το FDDI, ένας λογικός δακτύλιος, σε φυσικό επίπεδο μοιάζει είτε με δακτύλιο, είτε με αστέρα¹⁵.

Η δικτυακή τοπολογία, επομένως, προσδιορίζει τη λογική και τη φυσική διάταξη των τμημάτων του δικτύου.

Η παρούσα εργασία έχει ως αντικείμενο τη μελέτη περιπτώσεων των δικτυακών τοπολογιών Πανεπιστημιακών Ιδρυμάτων της Ελλάδας και του εξωτερικού.

¹³ JoAnne Woodcock, *Εισαγωγή στα Δίκτυα Υπολογιστών*, Αθήνα: Κλειδάριθμος, 2000, 51.

¹⁴ Tony Kenyon, *High-Performance Data Network Design: Design Techniques and Tools*, Boston: Digital Press, 2002, 186.

¹⁵ "Topologies", *Network Magazine* (Feb 1 1990), στην ηλεκτρονική διεύθυνση: www.networkmagazine.com/article/NMG20000727S0011

2. ΜΕΛΕΤΕΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΝ

2.1 Πανεπιστήμιο Μακεδονίας¹⁶

2.1.1 Το Πανεπιστήμιο

Το Πανεπιστήμιο Μακεδονίας¹⁷ αποτελεί την εξέλιξη της Ανωτάτης Σχολής Βιομηχανικών Σπουδών Θεσσαλονίκης. Το 1990 η ΑΒΣΘ μετονομάζεται σε “Πανεπιστήμιο Μακεδονίας Οικονομικών και Κοινωνικών Επιστημών” που σήμερα περιλαμβάνει οκτώ τμήματα (“Διεθνών και Ευρωπαϊκών Οικονομικών και Πολιτικών Σπουδών”, “Λογιστικής και Χρηματοοικονομικής”, “Εφαρμοσμένης Πληροφορικής”, “Οικονομικών Επιστημών”, “Οργάνωσης και Διοίκησης Επιχειρήσεων”, “Εκπαιδευτικής και Κοινωνικής Πολιτικής”, “Βαλκανικών, Σλαβικών και Ανατολικών Σπουδών” και “ Μουσικής Επιστήμης και Τέχνης) και τρία Διατμηματικά Προγράμματα Μεταπτυχιακών Σπουδών (στα Πληροφοριακά Συστήματα, στην Οικονομική Επιστήμη και στη Διοίκηση Επιχειρήσεων)

Σήμερα, ο χώρος του Πανεπιστημίου Μακεδονίας, στον οποίο βρίσκονται οι σύγχρονες εγκαταστάσεις του, εκτείνεται σε έκταση 12 στρεμμάτων κοντά στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο, τη Διεθνή Έκθεση Θεσσαλονίκης (Δ.Ε.Θ.) και το Τρίτο Σώμα Στρατού. Η συνολική επιφάνεια όλων των ορόφων του κτιρίου, το οποίο αποπερατώθηκε το 1991, είναι περίπου 35.000 τ.μ.

Σύμφωνα με στοιχεία του 2001 ο αριθμός των εγγεγραμμένων φοιτητών είναι περίπου 8.500 από τους οποίους οι 4.500 περίπου είναι ενεργοί. Το Διδακτικό και Ερευνητικό Προσωπικό αποτελείται από 104 μέλη και 25 βοηθούς, Επιστημονικούς Συνεργάτες και ΕΜΥ. Επίσης, υπάρχουν 35 άτομα που αποτελούν το Ειδικό Τεχνικό και Διοικητικό Προσωπικό του Πανεπιστημίου, ο αριθμός των διοικητικών υπαλλήλων μονίμων και με σύμβαση αορίστου χρόνου είναι 52, ενώ ο αριθμός των υπαλλήλων με σύμβαση ορισμένου χρόνου ανέρχεται σε 38 άτομα.

2.1.2 Το δίκτυο.

2.1.2.1 Υπηρεσίες

Επάνω στο δίκτυο λειτουργούν περί τους 30 servers (Unix, Windows NT, Novell) οι οποίοι προσφέρουν ένα πλήθος δικτυακών υπηρεσιών στην πανεπιστημιακή κοινότητα. Μερικές από αυτές είναι η παροχή λογαριασμών (accounts), η ονοματοθεσία (DNS), η πρόσβαση στο διαδίκτυο για τους προπτυχιακούς και μεταπτυχιακούς φοιτητές, τους υποψήφιους διδάκτορες, το διδακτικό και το διοικητικό προσωπικό, η σύνδεση μέσω τηλεφώνου, αποθηκευτικό χώρο για όλους τους παραπάνω και δυνατότητα μεταφοράς των δεδομένων μέσω ftp (file transfer protocol), ηλεκτρονικό ταχυδρομείο, νέα για τη χρήση του δικτύου (Usenet news) και list server. Επίσης η εξυπηρέτηση της βιβλιοθήκης του Πανεπιστημίου και η πρόσβαση στον κατάλογο της βιβλιοθήκης μέσω Παγκοσμίου Ιστού

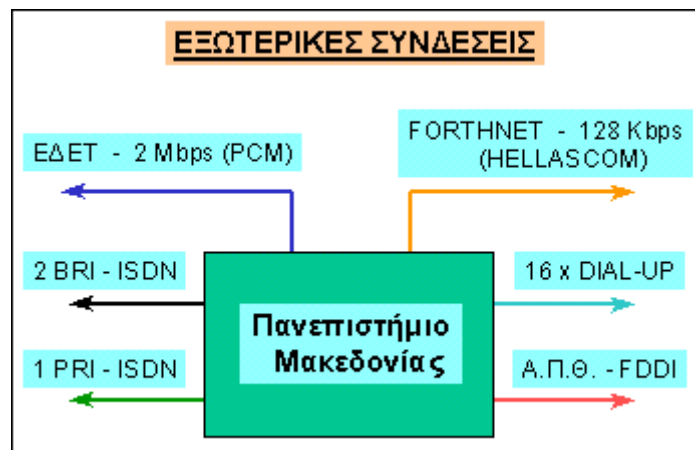
2.1.2.2 Τοπολογία - Συνδέσεις

Το δίκτυο του Πανεπιστημίου Μακεδονίας σε φυσικό επίπεδο, καλύπτει 4 πύργους με 19 συνολικά ορόφους και περιλαμβάνει περί τις 700 τηλεπικοινωνιακές απολήξεις (πρίζες), οι οποίες μέσω του οριζόντιου τμήματος της δομημένης καλωδίωσης – τοπολογία

¹⁶ Το Κέντρο Διαχείρισης Δικτύου του Πανεπιστημίου Μακεδονίας στην ηλεκτρονική διεύθυνση: www.noc.uom.gr

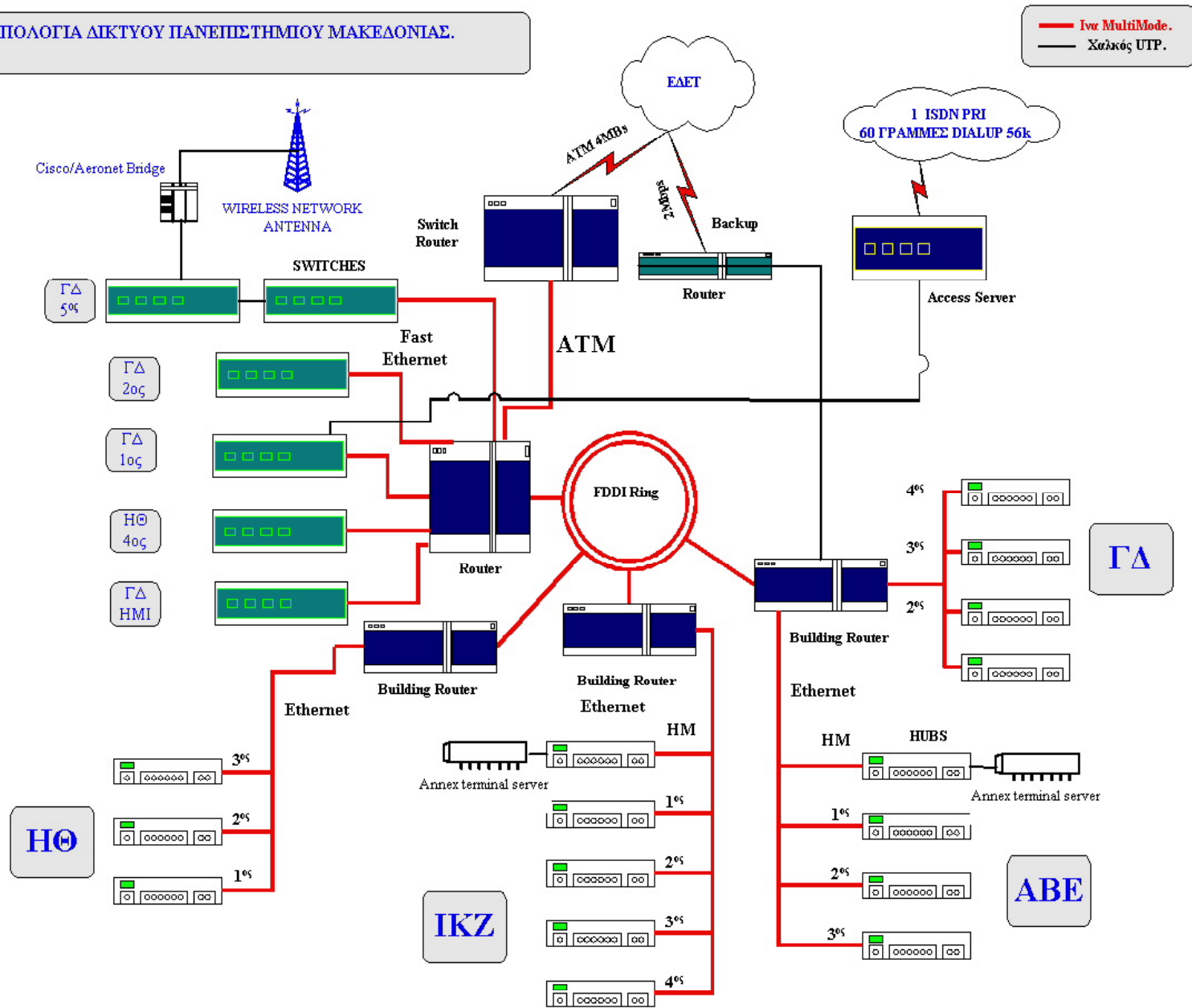
¹⁷ Η Ιστορία του Πανεπιστημίου Μακεδονίας στην ηλεκτρονική διεύθυνση: www.uom.gr/gen_info/history.htm

αστέρα – συγκεντρώνονται σε 35 συνολικά hubs. Αυτά με τη σειρά τους, μέσω του κάθετου τμήματος της δομημένης καλωδίωσης (οπτικές ίνες), καταλήγουν στους κεντρικούς καταναμητές κτιρίων και από εκεί σε 3 δρομολογητές (routers), οι οποίοι συνδέονται μεταξύ τους μέσω ενός δακτυλίου οπτικών ινών (FDDI). Επιπλέον, ένας δρομολογητής έχει αναλάβει την επικοινωνία του τοπικού δικτύου με τον έξω κόσμο μέσω 2 γραμμών – 4Mbps (ATM) και 2 Mbps (PCM) αντίστοιχα – ενώ ένας δρομολογητής (modem access server) έχει αναλάβει τη σύνδεση με τον έξω κόσμο μέσω 60 ISDN γραμμών dial-up. Ένας ακόμη δρομολογητής μεγάλης ισχύος (Cisco 7507) προστέθηκε στον δακτύλιο FDDI και συνδέθηκαν επάνω του 4 Fast Ethernet switches. Τέλος στον τηλεφωνικό καταναμητή συνδέονται οι 12 γραμμές ISDN για τις ανάγκες της τηλεδιάσκεψης του Πανεπιστημίου Μακεδονίας.



Εικόνα 2: Εξωτερικές συνδέσεις Πανεπιστημίου Μακεδονίας

ΤΟΠΟΛΟΓΙΑ ΔΙΚΤΥΟΥ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ.



Last Updated 11.9.2000

Εικόνα 3: Η τοπολογία του δικτύου στο Πανεπιστήμιο Μακεδονίας

2.1.2.3 Καλωδίωση του Δικτύου

Το καλωδιακό σύστημα κάθε ενός κτιρίου του Πανεπιστημίου Μακεδονίας αποτελεί ένα αυτόνομο υποσύστημα μέσα στο συνολικό δικτυακό πλαίσιο. Η καλωδίωση αυτή ακολουθεί πλήρως το πρότυπο EIA/TIA 568¹⁸ που οριστικοποιήθηκε το 1991 από την Electronic Industries Association. Με τη χρήση αυτού του προτύπου στην κατασκευή των τηλεπικοινωνιακών δικτύων ενός κτιρίου, καθίσταται δυνατό να συνδεθεί οποιαδήποτε τερματική συσκευή (τηλέφωνο, ηλεκτρονικός υπολογιστής κ.λπ.), σε οποιαδήποτε τηλεπικοινωνιακή απόληξη (πρίζα), χωρίς την ανάγκη ειδικών διασυνδέσεων, με αποτέλεσμα να είναι δυνατή η αλλαγή των συσκευών, των θέσεων τους αλλά και της διαμόρφωσης του εργασιακού χώρου, ανάλογα με τις ανάγκες του Πανεπιστημίου Μακεδονίας και των χρηστών. Γίνεται επίσης δυνατή η πλήρης διασύνδεση και συνεργασία διαφορετικών συστημάτων υπολογιστών, τηλεφωνίας ή και άλλων, διαμέσου του ίδιου καλωδιακού δικτύου που πλέον αποτελεί δομικό στοιχείο του κτιρίου.

Μέσω του προτύπου EIA/TIA 568, το καλωδιακό σύστημα ενός κτιρίου χωρίζεται σε δύο υποτμήματα, το οριζόντιο και το κάθετο δίκτυο.

Το οριζόντιο δίκτυο (horizontal wiring) αφορά στην καλωδίωση κάθε ενός από τους ορόφους των τμημάτων του κτιρίου και αποτελείται από τις τηλεπικοινωνιακές απολήξεις, το καλώδιο και τους τερματικούς του, καθώς και τον καταναμητή του κάθε ορόφου.

Το κάθετο δίκτυο (backbone wiring) αφορά στη διασύνδεση των ορόφων του κάθε κτιρίου μεταξύ τους καθώς και στη διασύνδεση των κτιρίων μεταξύ τους και με τον έξω κόσμο. Αποτελείται από το καλώδιο και τους τερματισμούς του, τους κεντρικούς καταναμητές, τους καταναμητές κτιρίων, τα δωμάτια εξοπλισμού και τα σημεία εισόδου και εξόδου του δικτύου από το κτίριο.

Το δίκτυο του Πανεπιστημίου Μακεδονίας χωρίζεται σε τρία τμήματα, την οριζόντια, την κατακόρυφη και την κεντρική καλωδίωση.

Οριζόντια Καλωδίωση

Η οριζόντια καλωδίωση είναι το τμήμα του δικτύου το οποίο εκτείνεται από την *τηλεπικοινωνιακή πρίζα* της θέσης εργασίας μέχρι τον *τοπικό καταναμητή*. Η οριζόντια καλωδίωση του ορόφου του κάθε κτιρίου πραγματοποιείται με φυσική τοπολογία αστέρα σύμφωνα με το EIA/TIA 568, δηλαδή κάθε *τηλεπικοινωνιακή απόληξη* συνδέεται ακτινωτά με τον *τοπικό καταναμητή*.

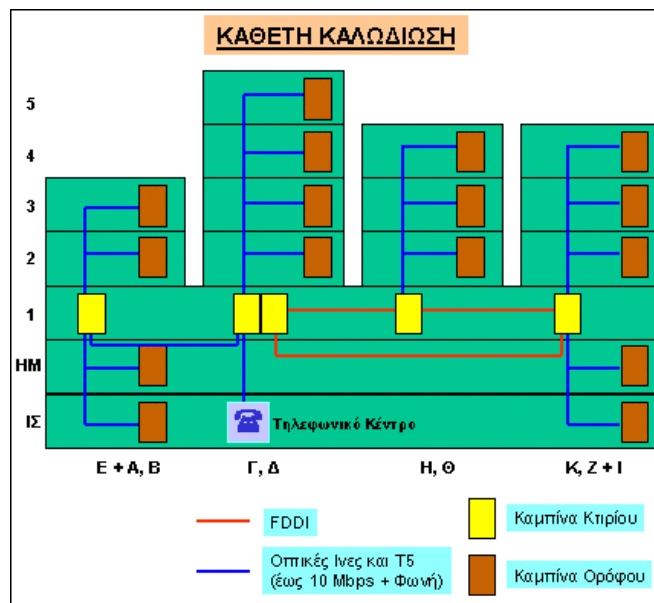
Κατακόρυφη Καλωδίωση

Η κατακόρυφη καλωδίωση είναι το τμήμα του δικτύου το οποίο παρέχει σύνδεση μεταξύ των *τοπικών* και του *κεντρικού καταναμητή*. Οι *τοπικοί καταναμητές* συνδέονται μεταξύ τους με την *καμπίνα κτιρίου* (*κεντρικός καταναμητής*) μέσω του καθέτου δικτύου, το οποίο υλοποιείται για το κάθε κτίριο με καλώδιο οπτικής ίνας και χαλκού UTP πολλαπλών συνεστραμμένων ζευγών, το οποίο έχει υπολογισθεί για να μεταφέρει την κάθε θέση εργασίας, η οποία νοείται σαν διπλή θέση.

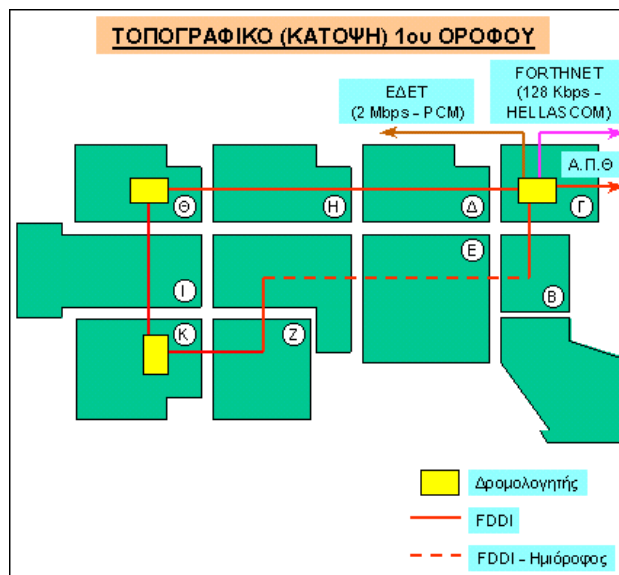
¹⁸ Για περισσότερες πληροφορίες σχετικά με το πρότυπο ANSI/TIA/EIA-568-A βλέπε στις ηλεκτρονικές διευθύνσεις: www.anixter.com/techlib/standard/cabling/d0502p08.htm και www.anixter.com/techlib/standard/cabling/d0502p09.htm. Βλ. επίσης και University of Missouri, Information Technology Standards: Networking στην ηλεκτρονική διεύθυνση: www.umsystem.edu/itstd/network.htm

Κεντρική Καλωδίωση

Η κεντρική καλωδίωση είναι το τμήμα του δικτύου το οποίο παρέχει σύνδεση μεταξύ των κεντρικών καταναμητών. Στο πανεπιστήμιο πραγματοποιείται με την τοποθέτηση έξι κεντρικών καμπίνων κτιρίου στα τέσσερα κομβικά σημεία των κτιρίων τα οποία βρίσκονται στον 1ο όροφο (κεντρικοί καταναμητές). Αυτοί συνδέονται μεταξύ τους μέσω καλωδίου οπτικής ίνας και χαλκού UTP πολλαπλών συνεστραμμένων ζευγών, με τρόπο ώστε να υλοποιείται το Κεντρικό Δίκτυο Κορμού του πανεπιστημιακού χώρου. Στις ίδιες καμπίνες προβλέπεται και χώρος για τις διατάξεις διασύνδεσης-διαχείρισης του Κεντρικού Κορμού του δικτύου. Οι κεντρικοί καταναμητές των κτιρίων, οι οποίοι τοποθετούνται στον 1ο όροφο του κάθε κτιρίου, εξυπηρετούν επιπροσθέτως και την οριζόντια καλωδίωση (ενιαίος καταναμητής – ξεχωριστά πεδία τερματισμού).



Εικόνα 4: Κάθετη Καλωδίωση



Εικόνα 5: Τοπογραφικό (Κάτοψη) 1ου ορόφου

2.2 Πανεπιστήμιο της Μόσχας (M.V. Lomonosov Moscow State University)

2.2.1 Ιστορία του Πανεπιστημίου¹⁹

Το Πανεπιστήμιο της Μόσχας θεωρείται ως το παλιότερο Πανεπιστήμιο της Ρωσίας. Ιδρύθηκε το 1775 χάρη στις προσπάθειες του ρώσου επιστήμονα Mikhail Vasil'evich Lomonosov (1711-1765). Για αυτόν ακριβώς το λόγο και το 1940 με την ευκαιρία της 185^{ης} επετείου του Πανεπιστημίου, αυτό μετονομάστηκε “Πανεπιστήμιο Μόσχας M.V.Lomonosov”.

Σήμερα το Πανεπιστήμιο της Μόσχας αποτελεί το κέντρο της Ρωσικής εκπαίδευσης, επιστήμης και πολιτισμού. Αποτελείται από 21 σχολές και οκτώ ερευνητικά ινστιτούτα. Η έρευνα και η διδασκαλία διεξάγονται σε μουσεία, σε ερευνητικά κέντρα και στο κέντρο επιμόρφωσης. Συνολικά το Πανεπιστήμιο έχει 300 τμήματα σχολών. Το 2001 προστέθηκε στη δομή του Πανεπιστημίου το Επιστημονικό Πάρκο. Το τελευταίο είναι σχεδιασμένο να εισάγει σύγχρονες υψηλές τεχνολογίες κυρίως στους τομείς των τηλεπικοινωνιών, της βιοτεχνολογίας, της τεχνολογίας laser της οικολογίας, κ.λπ.

Αυτή τη στιγμή φοιτούν στο Πανεπιστήμιο περισσότεροι από 31 χιλιάδες προπτυχιακοί και περίπου 7 χιλιάδες μεταπτυχιακοί φοιτητές. Οι σχολές και τα ερευνητικά ινστιτούτα απασχολούν 4 χιλιάδες καθηγητές και 5 χιλιάδες ερευνητές, ενώ το διοικητικό και το λοιπό βοηθητικό προσωπικό αποτελείται περίπου από 15 χιλιάδες εργάτες.

Το Πανεπιστήμιο της Μόσχας έχει στη διάθεσή του περισσότερα από 600 κτίρια συμπεριλαμβανομένου και ενός ουρανοξύστη στους λόφους του Lenin. Καλύπτει συνολική έκταση 1 εκατομμυρίου τετραγωνικών μέτρων. Μόνο στην πόλη της Μόσχας, η περιοχή του Πανεπιστημίου καλύπτει 205.7 εκτάρια (αναλογούν σε 2057 στρέμματα).

2.2.2 Το Δίκτυο²⁰

Το MSUnet δημιουργήθηκε το 1993 με εντολή του πρύτανη του Πανεπιστημίου της Μόσχας. Ο στόχος ήταν η παροχή πρόσβασης στο διαδίκτυο για το προσωπικό, τους προπτυχιακούς και μεταπτυχιακούς φοιτητές, όπως επίσης και σε άλλα εκπαιδευτικά και ερευνητικά κέντρα της Ρωσίας. Το δίκτυο αυτό αναπτύχθηκε και υποστηρίχθηκε από το Πανεπιστήμιο της Μόσχας. Τη χρηματοδότηση ανέλαβαν κρατικοί και ιδιωτικοί φορείς. Η ανάπτυξη της τεχνολογίας τηλεπικοινωνιών και πληροφορίας στο Πανεπιστήμιο της Μόσχας πραγματοποιείται από το ATIS (Associated Teleinformational Systems), το οποίο αποτελείται από διαφορετικά τμήματα. Τα τμήματα αυτά συνδέονται μεταξύ τους με το δίκτυο κορμού υψηλής ταχύτητας της δομής μεταφοράς του MSUnet.

2.2.2.1 Υπηρεσίες

Το δίκτυο του Πανεπιστημίου της Μόσχας παρέχει στους χρήστες του ένα εύρος μοντέρνων υπηρεσιών επικοινωνίας. Αυτή τη στιγμή πιο ευρεία χρήση γνωρίζουν το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο και ο Παγκόσμιος Ιστός, μέσω του οποίου μπορούν να προσπελαστούν πολλοί πληροφοριακοί πόροι του Πανεπιστημίου. Υπάρχει ένα κεντρικό σύστημα από εξυπηρετητές Web (Web servers) για το πανεπιστήμιο, που περιλαμβάνει έναν κεντρικό (root) εξυπηρετητή και 22 εξυπηρετητές τμημάτων. Αυτό το σύστημα περιέχει τα δεδομένα για τα ακαδημαϊκά προγράμματα και κύκλους σπουδών. Χρησιμοποιείται όχι μόνο από τα τμήματα του Πανεπιστημίου Μόσχας, αλλά και από άλλα Ρωσικά Πανεπιστήμια επίσης.

¹⁹ Η Ιστορία του Παν. της Μόσχας στην ηλεκτρ. διεύθυνση www.msu.ru/english/info/history.htm

²⁰ Περιγραφή του Δικτύου στην ηλεκτρ. διεύθυνση: www.msu.ru/english/ctti/assist.htm

Οι τεχνολογίες ενσωματώνονται στην ακαδημαϊκή διαδικασία μέσω της δομής Technologies MSU Computer Telecommunication. Γίνεται χρήση διαφόρων επιλογών από τεχνολογίες για την πρόσβαση στην πληροφορία, όπως βάσεις δεδομένων, ηλεκτρονικά textbooks, κ.λπ. Το MSUnet επιτρέπει μία ευρεία ποικιλία από τεχνολογίες videoconferencing, που κυμαίνονται από τις πιο απλές (CU-SeeMe) ως τις πιο ανεπτυγμένες. Το CTIT χρησιμοποιεί videoconferencing αρκετά συχνά, ακόμη και με ξένους συμμετέχοντες. Αρκετά τμήματα χρησιμοποιούν εφαρμογές πολυμέσων και υπηρεσίες ήχου και τηλεδιάσκεψης βασιζόμενες στην πολυδιανομή (multicast-based) για εξ αποστάσεως εκπαίδευση. Ρωσικά και ξένα πανεπιστήμια από τις Η.Π.Α., τον Καναδά και τη Δυτική Ευρώπη έχουν συνεργαστεί με το MSU πάνω σε αυτό.

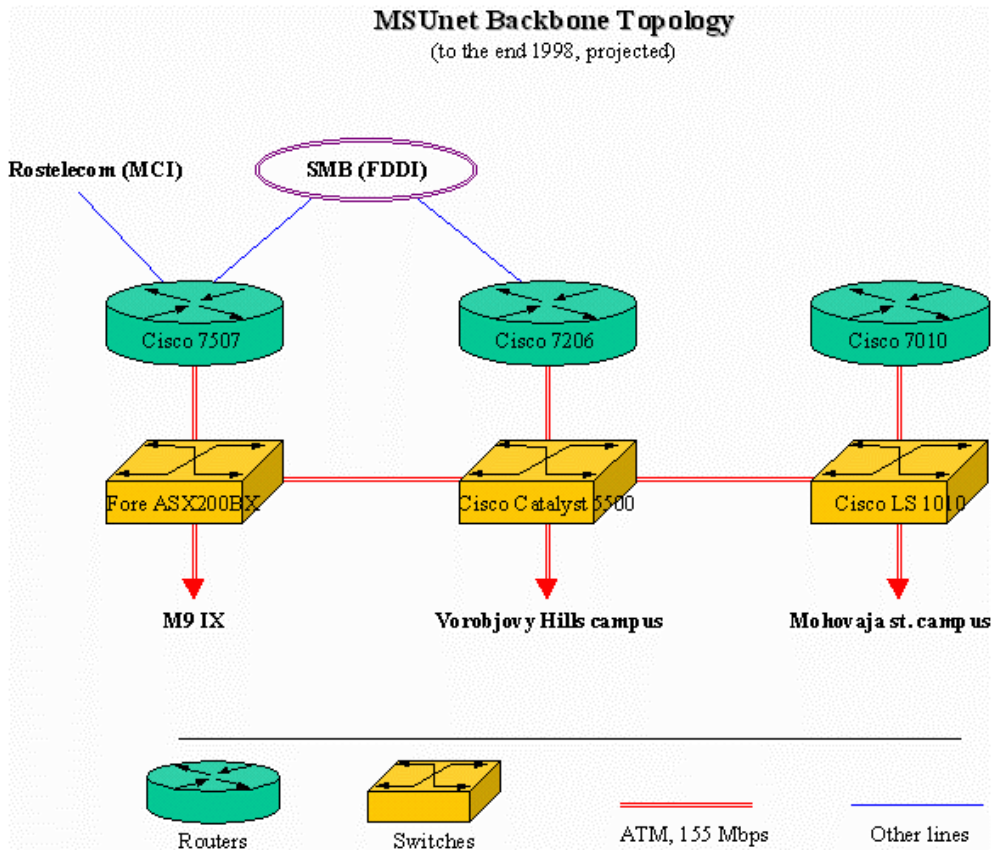
Μετά το ξεκίνημα του ολοκληρωμένου ATM δικτύου υψηλής ταχύτητας, πολλά τμήματα άρχισαν να εργάζονται για την εφαρμογή νέων τεχνολογιών εξ αποστάσεως εκπαίδευσης. Τα τμήματα Φυσικής, Γεωλογίας και Βασικής Ιατρικής επιλέχθηκαν ως απόδειξη αυτών των ερευνών. Για αυτό το έργο το τμήμα Φυσικής το 1997 δημιούργησε ένα σύστημα που θα παρείχε πρόσβαση σε ήχο και κινούμενη εικόνα σε αποσπώμενες πειραματικές συσκευές, όπως slide-servers, consulting systems, κ.λπ. Πρόσφατα το MSU έχει ξεκινήσει το πρώτο στάδιο του έργου που θα παράσχει απομακρυσμένη χρήση του επιστημονικού εξοπλισμού (computer systems, experimental stands) στους φοιτητές και στους επιστήμονες του Πανεπιστημίου Μόσχας και όχι μόνο. Η δημιουργία του ATM δικτύου άνοιξε νέες δυνατότητες για έρευνα στις σύγχρονες τεχνολογίες επικοινωνιών και στον προγραμματισμό εφαρμογών. Αυτόν το καιρό στο Πανεπιστήμιο Μόσχας γίνεται προσπάθεια για την εφαρμογή δικτυακών υπηρεσιών πραγματικού χρόνου για μετάδοση δεδομένων πολυμέσων, όπως "video on request". Σχεδιάζεται, επίσης, διαδικτυακή τηλεφωνία (Internet telephony).

2.2.2.2 Τοπολογία-Συνδέσεις

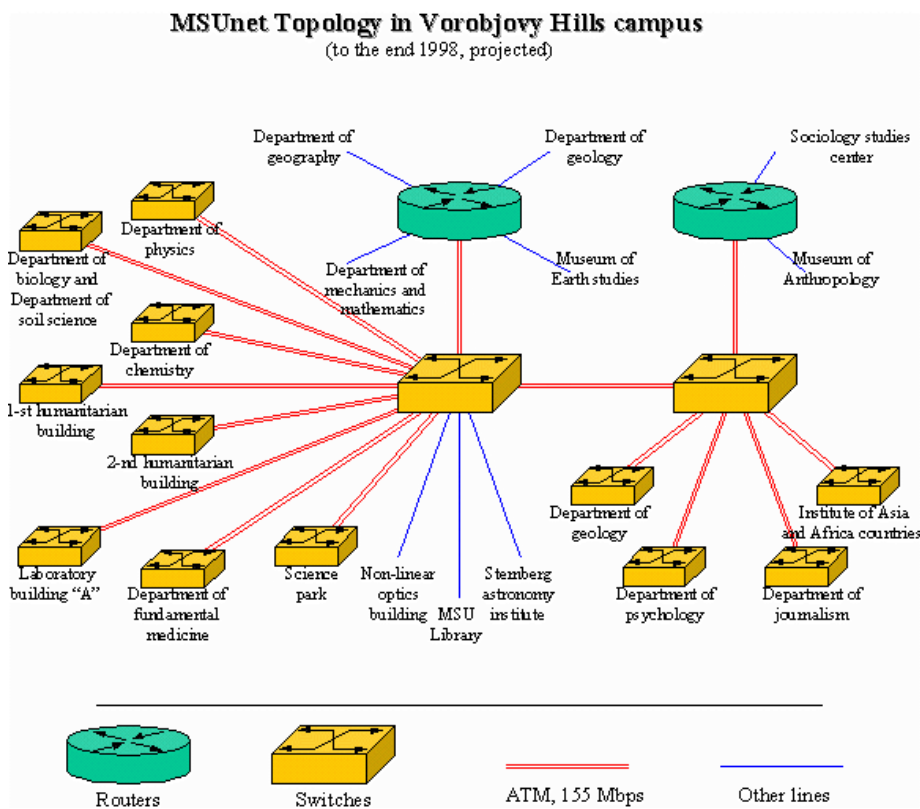
Το MSUnet λειτουργεί ως Βασικός Παροχέας Υπηρεσιών Internet για όλα τα πανεπιστημιακά τμήματα και τους εξωτερικούς χρήστες. Ο συνολικός αριθμός των διασυνδεδεμένων με το δίκτυο MSUnet το καθιστά ως έναν από τους δέκα από τους μεγαλύτερους παροχείς υπηρεσιών Internet στη Ρωσία.

Ο κορμός του δικτύου MSU βασίζεται στην τεχνολογία ATM. Χρησιμοποιεί καλώδια οπτικών ινών με συνολικό μήκος 50 km. Το δίκτυο κορμού ενώνει τρία βασικά κέντρα επικοινωνίας του MSU. Επίσης, συνδέει τα ξεχωριστά κτίρια μέσα στο κάθε campus, παρέχοντας πρόσβαση στο Internet για περισσότερα από 30 πανεπιστημιακά τμήματα, συμπεριλαμβανομένου των μεγάλων τοπικών δικτύων των τμημάτων φυσικής, Γεωλογίας, Χημείας, Ιστορίας, Βιολογίας και Φιλολογίας. Μόνο στην κεντρική πανεπιστημιούπολη (campus) των λόφων του Vorob'evy συνδέονται με το MSUnet περισσότεροι από 2500 υπολογιστές.

Τα τελευταία δύο χρόνια οι προσπάθειες βελτίωσης τους δικτύου έχουν εστιαστεί στην ανάπτυξη της δομής του δικτύου MSU στο campus των λόφων του Vorob'evy, βασίζοντας το δίκτυο στην τεχνολογία ATM και στην ολοκληρωμένη μετάδοση υψηλής ταχύτητας. Ως μέρος αυτού του έργου, το πρώτο στάδιο του κομματιού που βασίζεται στο ATM αναπτύχθηκε στο campus των λόφων του Vorob'evy. Αυτό το δίκτυο συνδέει οκτώ κτίρια, και περιέχει τα τοπικά δίκτυα των διαφόρων τμημάτων και των ερευνητικών ιδρυμάτων του Πανεπιστημίου της Μόσχας.



Εικόνα 6: Τοπολογία κορμού του MSUnet



Εικόνα 7: Τοπολογία του MSUnet στο campus των λόφων του Vorobjov

2.2.2.3 Εξωτερικές Συνδέσεις

Ακολουθώντας την κατασκευή του πρώτου μέρους του δικτύου βασισμένου σε ATM τεχνολογία, και μετά από διαπραγματεύσεις με το Εθνικό Ίδρυμα Επιστημών των Ηνωμένων Πολιτειών (National Science Foundation-NSF), το Πανεπιστήμιο της Μόσχας κατέληξε να συμμετάσχει στο Ρωσο-Αμερικάνικο έργο δημιουργίας ενός άμεσου ATM καναλιού στα αμερικάνικα ATM δίκτυα κορμού, όπως το vBNS. Αυτό το έργο είναι σχεδόν ολοκληρωμένο.

Το έργο αυτό έδωσε στο Πανεπιστήμιο της Μόσχας τη δυνατότητα να δημιουργήσει ένα ATM δίκτυο κορμού που είναι μοναδικό όχι μόνο στη Ρωσία, αλλά και σε ολόκληρο τον κόσμο. Επιπλέον το έργο αυτό αποτελεί την απτή απόδειξη για τις πιο ανεπτυγμένες τεχνολογίες επικοινωνίας επιτρέποντας να εφαρμοστούν σε επιστημονική έρευνα και στην ακαδημαϊκή διαδικασία. Τα κανάλια ATM που λειτουργούν στα 155 Mbps εξυπηρετούν τη Ρωσική Ακαδημία Επιστημών, το κέντρο του δικτύου Επιστημονικών Τηλεπικοινωνιών, και το Κέντρο Διαχείρισης Δικτύου του KOMKOR (Εταιρεία Τηλεπικοινωνιών της Μόσχας). Το δίκτυο του Πανεπιστημίου έχει συνδέσεις υψηλής ταχύτητας με τους μεγαλύτερους παροχείς υπηρεσιών Internet στη Ρωσία (Demos, Relcom, RosNet, Sprint, Sovam Teleport, Glasnet and many others) μέσω σύνδεσης στο M9-IX – το σημείο ανταλλαγής κυκλοφορίας (traffic exchange point) στο M-9 (the Moscow international telephone exchange).

Το υψηλής ταχύτητας δίκτυο κορμού της νότιας Μόσχας, βασισμένο στην τεχνολογία FDDI, συνδέει το δίκτυο του Πανεπιστημίου με τα κύρια ινστιτούτα της Ρωσικής ακαδημίας Επιστημών. Το MSUnet έχει πολλούς πελάτες ανάμεσα στα μεγαλύτερα ινστιτούτα της Μόσχας (MIFI, MGIMO, MISiS, κ.λπ.) και στην ευρύτερη περιοχή της Μόσχας με τους οποίους συνδέεται μέσω radio systems (point-to-multipoint, microwave, radio-Ethernet). Το Πανεπιστήμιο Μόσχας έχει επίσης το τμήμα του δορυφορικού συστήματος του RUNnet (Δίκτυο Ρωσικών Πανεπιστημίων). Τα άμεσα δορυφορικά κανάλια παρέχουν συνδέσμους στο MSUnet από τα τηλεπικοινωνιακά κέντρα στα μεγαλύτερα περιφερειακά πανεπιστήμια. Το MSUnet έχει επίσης μισθώσει γραμμές (28 - 56 kbps) στα πανεπιστημιακά δίκτυα στο Voronezh, το Kazan και το Harkov.

Από τον Οκτώβριο του 1997 το MSUnet είχε ένα επίγειο κανάλι από τη Μόσχα στο Παρίσι για διεθνή πρόσβαση μέσω του Ευρωπαϊκού δικτύου κορμού Ebone. Τώρα, η πρόσβαση στο Internet παρέχεται από επίγεια κανάλια προς το MCI (Η.Π.Α.) και στο NORDUnet (Φινλανδία). Για λόγους δημιουργίας εφεδρικών αρχείων το MSUnet χρησιμοποιεί ένα κανάλι με συνδυασμό των τεχνολογιών (και δορυφορικοί και επίγειοι σύνδεσμοι) που τρέχει από τη Μόσχα μέχρι το Αμβούργο (Γερμανία) και ανήκει στο Radio-MSU δίκτυο.

Η τρέχουσα κατάσταση της ανάπτυξης και της ποικιλίας των μέσων που χρησιμοποιούνται από τα δίκτυα MSUnet και RUNnet επιτρέπουν τη διεξαγωγή έρευνας όσον αφορά τη δημιουργία συστημάτων παρακολούθησης παγκόσμιων δικτύων υπολογιστών.

2.2.3 Μέλλον του δικτύου (μελλοντικές εφαρμογές)

Το MSUnet αναδομεί τα τοπικά δίκτυα των τμημάτων του και ελέγχει τις νέες τεχνολογίες με τις ολοκληρωμένες υπηρεσίες, προκειμένου να υποστηρίξει επιστημονικές έρευνες και να βελτιώσει τη διαδικασία μελέτης. Η προσπάθεια αυτή επιταχύνει την έρευνα σε πολλά διαφορετικά μεταξύ τους τμήματα του Πανεπιστημίου και επομένως και στις αντίστοιχες επιστήμες.

2.2.3.1 Ασφάλεια

Επειδή ακριβώς ένα από τα βασικά προβλήματα που αντιμετωπίζει το Ρωσικό κομμάτι του Internet είναι η ασφάλεια της πληροφορίας, τα τελευταία δύο χρόνια στο πανεπιστήμιο Μόσχας γίνεται εργασία για ένα σύστημα ασφάλειας για το MSUnet. Το πρόβλημα της ασφάλειας περιπλέκεται από τις ιδιαιτερότητες της τεχνολογίας

μεταγωγής πακέτου που χρησιμοποιείται στα δημόσια δίκτυα και από τις αδυναμίες του πρωτοκόλλου IPv4 που παραδοσιακά χρησιμοποιείται στο Internet. Μία προσέγγιση στην επίλυση των προβλημάτων ασφαλείας πρέπει να περιέχει λειτουργίες διοικητικού ελέγχου, μέτρα προστασίας του εξοπλισμού και διαφοροποιημένες μεθόδους προστασίας που διαχωρίζουν τα πιο σημαντικά λειτουργικά κομμάτια του δικτύου και τους εξυπηρετητές πληροφορίας (information servers). Πρόσφατα, έχει οργανωθεί ένα ιεραρχικό σύστημα κανόνων για χρήστες και administrators, που καθορίζει την αλληλεπίδραση με τους κεντρικούς υπολογιστές του δικτύου (network hosts), και διανέμει την ευθύνη για τη διατήρηση της ασφάλειας.

Επίσης, το υψηλού εύρους κομμάτι του MSUnet με οπτικές ίνες ATM έχει επεκτείνει τις δυνατότητες όχι μόνο όσον αφορά την παροχή υπηρεσιών πληροφορίας, αλλά και την εγκατάσταση δικτύων τόσο σε φυσικά όσο και σε εικονικά επίπεδα. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τη δημιουργία εταιρικών υπο-δικτύων με περιορισμένη πρόσβαση. Το πανεπιστήμιο Μόσχας έχει επίσης μελετήσει και εξετάσει το πρωτόκολλο IPv6 για πιθανή χρήση στο δίκτυο MSUnet.

2.3 University College London²¹

2.3.1 Τα Δίκτυα JANET, UKERNA, LMN

Το δίκτυο JANET δημιουργήθηκε τον Απρίλιο του 1984 και από τότε επιδέχεται συνεχώς βελτιώσεις. Το 1989 προτείνεται το δίκτυο SuperJANET ως μία πρωτοβουλία για την ανάπτυξη ενός δικτύου ευρείας περιοχής υψηλής απόδοσης βασισμένου στην τεχνολογία των οπτικών ινών²². Το δίκτυο SuperJANET δέχθηκε βελτίωση το 1995 με το SuperJANET II με τη χρήση IP πάνω σε τεχνολογία ATM και αργότερα με το SuperJANET III με την εγκατάσταση ενός δικτύου κορμού ATM με ταχύτητα 155Mbps. Από το Μάρτιο του 2001 λειτουργεί η τέταρτη βελτίωση στο SuperJANET με το κωδικό όνομα SuperJANET4²³.

Το δίκτυο JANET λειτουργεί και αναπτύσσεται με την ευθύνη του UKERNA²⁴ με τους όρους που έχει ορίσει μία συμφωνία σχετικά με το επίπεδο υπηρεσιών (Service Level Agreement) από την Επιτροπή Κοινών Πληροφοριακών Συστημάτων (Joint Information Systems Committee-JISC) των χρηματοδοτικών Συμβουλίων Ανώτερης και Συνεχούς Εκπαίδευσης του Ηνωμένου Βασιλείου. Το δίκτυο JANET συνδέεται με ισοδύναμα ακαδημαϊκά δίκτυα άλλων χωρών και με πολλά εμπορικά δίκτυα στο Ηνωμένο Βασίλειο και στο εξωτερικό αποτελώντας και αυτό μέρος του παγκόσμιου διαδικτύου. Το δίκτυο UKERNA (United Kingdom Education & Research Networking Association) επίσης διαχειρίζεται τα ονόματα περιοχής (domain names) .ac.uk και .gov.uk.

Το London Metropolitan Network²⁵ αποτελεί ένα από τα δίκτυα MAN που συνδέονται με το δίκτυο κορμού JANET. Το University College London συνδέεται στο LMN μέσω του ULCC²⁶ (University of London Computing Center) με ταχύτητα σύνδεσης 1 Gbps, ενώ το Κολλέγιο Birbeck, το Ινστιτούτο Εκπαίδευσης κ.ά., συνδέονται στα 100Mbps. Το ULCC προσφέρει υπηρεσίες πληροφορικής εδώ και 30 χρόνια. Αρχικά εξυπηρετούσε μόνο το Πανεπιστήμιο του Λονδίνου, έπειτα αναπτύχθηκε σε τοπικό κέντρο και αργότερα σε εθνικό υπολογιστικό κέντρο υψηλών αποδόσεων.

²¹ Βλ. την ηλεκτρονική διεύθυνση www.ucl.ac.uk

²² *A Brief History of JANET* στην ηλεκτρονική διεύθυνση: www.ja.net

²³ Βλ. την ηλεκτρονική διεύθυνση www.superjanet4.net

²⁴ Η Ιστορία του δικτύου UKERNA στην ηλεκτρονική διεύθυνση: www.ukerna.ac.uk/aboutukerna.htm

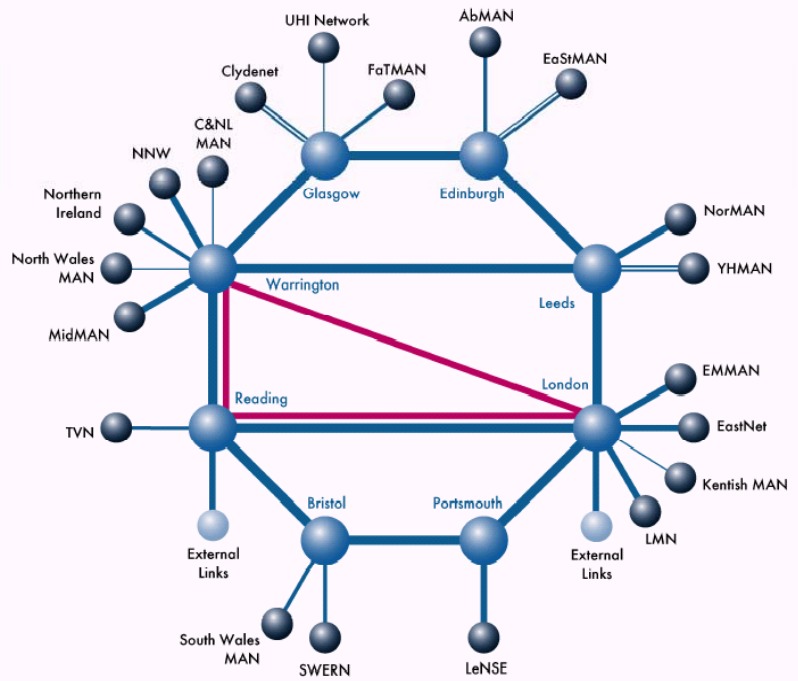
²⁵ London Metropolitan Network στην ηλεκτρονική διεύθυνση: www.lonman.net.uk

²⁶ University of London Computer Center στην ηλεκτρ. διεύθυνση: www.ulcc.ac.uk/about/history.htm

The JANET Backbone

July 2002

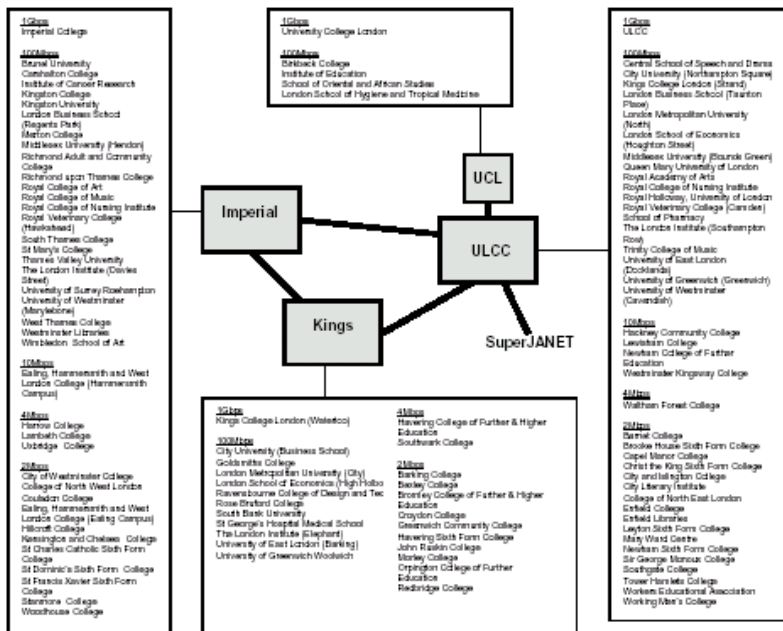
Showing topology and link capacity



- Core Point of Presence Router
- Backbone Access Router
- External Links
- Backbone Link - 10Gb/s DWDM
- Tealbed Network - 2.5Gb/s DWDM
- Dark fibre of 2.5Gb/s
- 2.5Gb/s SDH
- 452 Mb/s SDH
- 155Mb/s SDH

Εικόνα 8: Το Δίκτυο Κορμού του JANET

London Metropolitan Network



Εικόνα 9: Το Μητροπολιτικό Δίκτυο του Λονδίνου

2.3.2 Ιστορία του Πανεπιστημίου

Το UCL είναι το μεγαλύτερο από περισσότερα από 50 κολέγια και ινστιτούτα που αποτελούν το ομοσπονδιακό (federal) Πανεπιστήμιο του Λονδίνου. Το Πανεπιστήμιο του Λονδίνου²⁷, τώρα γνωστό ως Πανεπιστημιακό Κολέγιο του Λονδίνου (University College of London-UCL), ιδρύθηκε το 1826. Υπήρξε το πρώτο Πανεπιστήμιο που ιδρύθηκε στην Αγγλία μετά από τα πανεπιστήμια της Οξφόρδης και του Cambridge. Το 1907 ενσωματώθηκε στο Πανεπιστήμιο του Λονδίνου. Σήμερα το UCL διαθέτει 16 σχολές με 119 τμήματα, ινστιτούτα και ερευνητικά κέντρα.

2.3.3 Το Δίκτυο²⁸

2.3.3.1 Το παλιό δίκτυο FDDI

Από τα τέλη του 1980 η υποδομή κορμού 100Mbit FDDI γινόταν συνεχώς λιγότερο αξιόπιστη. Οι απαιτήσεις σε εύρος ζώνης και η συμβατότητα με το έτος 2000 (Y2K) απαιτούσε μία αναδόμηση της αρχιτεκτονικής και της τεχνολογίας του κορμού. Στην εικόνα 10 φαίνεται η λογική διάταξη της παλιάς FDDI δομής. Η αρχιτεκτονική βασιζόταν σε δρομολογητές Cisco AGS+. Οι κόμβοι ήταν απευθείας συνδεδεμένοι με τον δακτύλιο FDDI με ταχύτητα στα 100Mbps, ενώ οι δρομολογητές των τμημάτων και τα τοπικά δίκτυα (LANs) ήταν συνδεδεμένοι στα 10Mbps.

Στις αρχές του 1999 αποφασίστηκε η αλλαγή του δικτύου, καθώς το υπάρχον δίκτυο κορμού FDDI αποτελούνταν σχεδόν αποκλειστικά από απηρχαιωμένους δρομολογητές Cisco AGS+ , μερικοί από τους οποίους ήταν ηλικίας 9 χρονών. Δυστυχώς το χρονικό περιθώριο για την ανάπτυξη και παράδοση switches Cisco 6500 ήταν πολύ αργά για την εγκατάσταση και την προμήθεια ενός νέου δικτύου πριν από το τέλος του 1999. Για αυτό έγινε διαπραγμάτευση με την εταιρεία Cisco για ένα δάνειο από Cisco 5xxx switches, προκειμένου να δημιουργηθεί ένα προσωρινό δίκτυο (το οποίο πήρε το κωδικό όνομα 'Scaffolding'). Η τεχνολογία 5xxx ήταν γνωστή στην Ομάδα Δικτύου και είχε ήδη αναπτυχθεί σε ζωτικής σημασίας τμήματα του δικτύου του UCL. Η ολοκλήρωση της ανάπτυξης αυτού του μεταβατικού δικτύου έγινε λίγο πριν το τέλος του Νοεμβρίου του 1999.

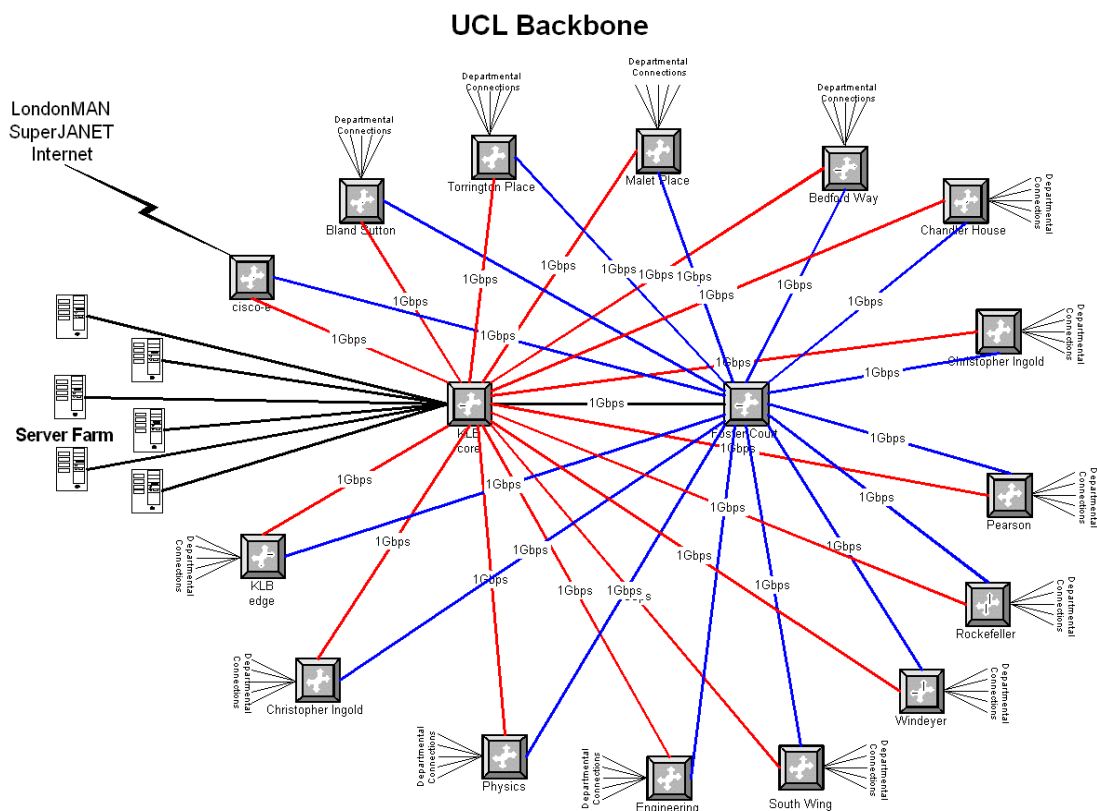
²⁷ UCL History στην ηλεκτρ. διεύθυνση: www.ucl.ac.uk/UCL-Info/AboutUCL/History.htm

²⁸ Πληροφορίες για το δίκτυο του UCL στην ηλεκτρ. διεύθυνση: www.ucl.ac.uk/is/backbone/index.htm

2.3.3.2 Το νέο δίκτυο του UCL

Ο νέος κορμός βασίζεται για λόγους ευελιξίας σε αρχιτεκτονική Gigabit Ethernet διπλού αστέρα. Η τεχνολογία αποτελείται από switches της σειράς Cisco Catalyst 6xxx. Ο φυσικός διπλός αστέρας κατασκευάστηκε με χρήση μονότροπης οπτικής ίνας (single mode fiber optic cable) και με κάθε άκρο να λειτουργεί στο 1Gbps. Αυτό αποτελούταν από δύο κουτιά πυρήνες με 14 ακραία κουτιά (two core boxes with 14 edge boxes). Αποφασίστηκε να 'τρέξει' μεταγωγή επιπέδου 3 σε όλο τον πυρήνα, σε αντίθεση με το δίκτυο 'Scaffolding' όπου λειτουργούσε μεταγωγή επιπέδου 2 στον πυρήνα και επιπέδου 3 στα άκρα. Η πολυπλοκότητα της προτεινόμενης τοπολογίας πλέγματος του διπλού αστέρα και των άκρων σε όλο το νέο δίκτυο απαιτεί υπηρεσίες επιπέδου 3. Τώρα είναι δυνατή η παροχή στα τμήματα συνδέσεων με ταχύτητα στα 10Mbps, τα 100Mbps ή και στο 1Gb.

Το νέο δίκτυο κατά κύριο λόγο βασίζεται στο πρωτόκολλο IP και για την υποστήριξη multicast (εκπομπή σε πολλούς κόμβους) κυκλοφορίας αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθεί το πρωτόκολλο PIM (Protocol Independent-Multicast) σε όλο τον κορμό, παρά να τρέξουν δίοδοι DVMRP σε κάθε δρομολογητή ατομικά. Τελευταία το PIM χρησιμοποιείται και στο μητροπολιτικό δίκτυο του Λονδίνου (London MAN) σε Cisco-e και μετά αναδιανέμεται μέσω δίοδων DVMRP στο campus.

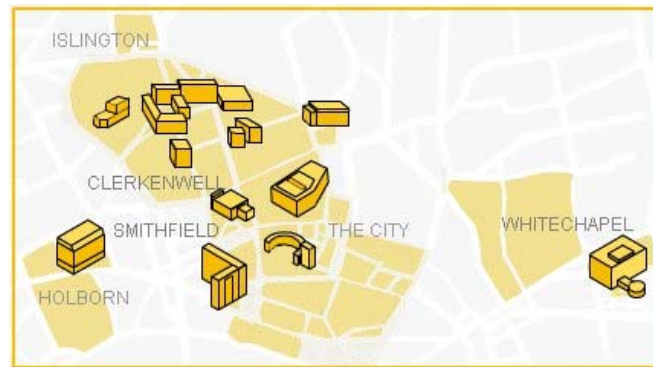


Εικόνα 12: Το νέο δίκτυο του UCL

2.4 City University

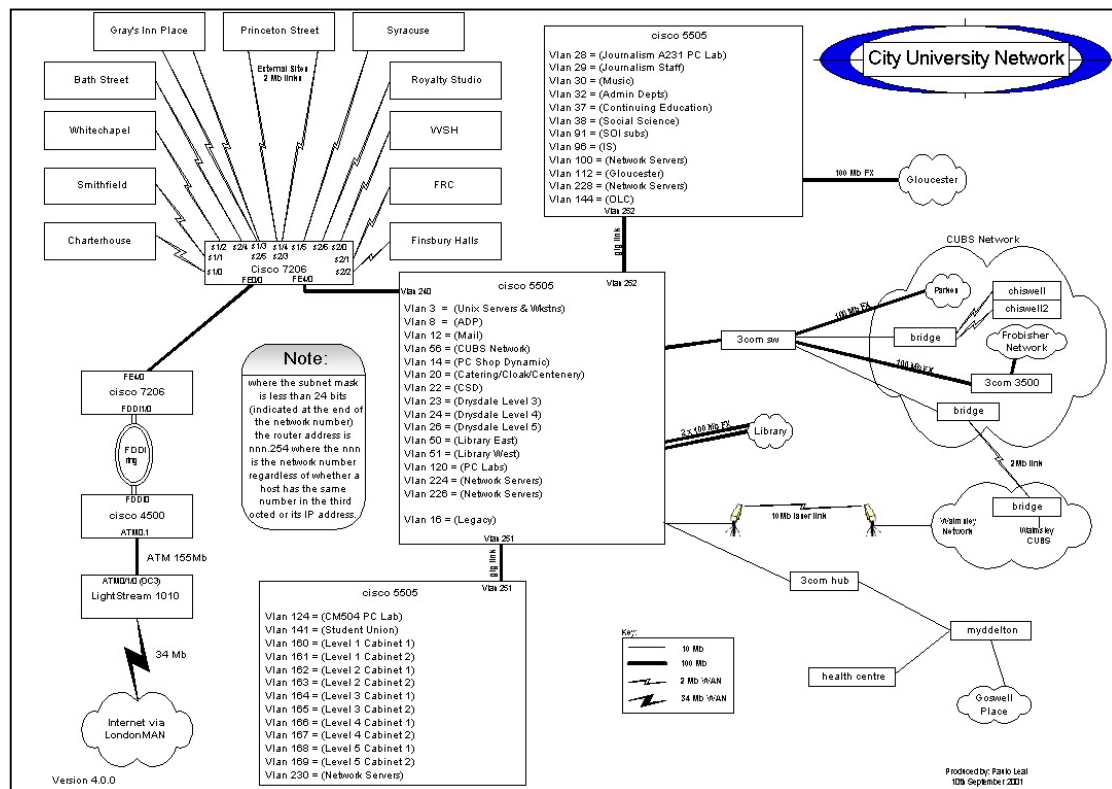
2.4.1 Το Πανεπιστήμιο

Το Πανεπιστήμιο City ιδρύθηκε το 1894 ως Ινστιτούτο Northampton και το 1996 έλαβε πλήρη πανεπιστημιακή ιδιότητα το 1966. Αριθμεί σχεδόν 10.000 φοιτητές από 122 χώρες του κόσμου. Η Πανεπιστημιούπολη (campus), στο κέντρο του Λονδίνου, αποτελείται από 15 βασικά κτίρια: ακαδημαϊκά, διοικητικά, βιβλιοθήκες, κέντρο υγείας και πολλά άλλα – η γεωγραφική κατανομή των χώρων του Πανεπιστημίου παρουσιάζεται στην εικόνα 13. Πρόκειται συνεπώς για μια μικρή πόλη, με όλες τις ανάγκες επικοινωνίας που μπορούν να χαρακτηρίζουν μια τέτοια δομή.



Εικόνα 13: Η Πανεπιστημιούπολη του City

Το δίκτυο του City είναι ένα τοπικό δίκτυο (LAN) που εκτείνεται σε όλο το campus, διασυνδέοντας τα βασικά κτίρια της Πανεπιστημιούπολης, και επεκτείνεται στα εξωτερικά κτίρια και τις φοιτητικές εστίες. Το δίκτυο συνδέεται στο Internet μέσω του δικτύου JANET (Joint Academic Network). Η τοπολογία του δικτύου φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 14: Το δίκτυο του Πανεπιστημίου του City

2.4.2 Ιστορικό του δικτύου

Το πρώτο τμήμα του δικτύου του Πανεπιστημίου εγκαταστάθηκε το 1989, με περιορισμένες δικτυακές εφαρμογές. Κατά τη δεύτερη φάση της εγκατάστασης, το 1991, υπήρξε δραστική αύξηση της χρήσης του δικτύου, ενώ ακόμα μεγαλύτερη ήταν η τελευταία αύξηση της διαθεσιμότητας των γραφικών εφαρμογών που βασίζονται στο Internet. Όσον αφορά τις δυνατότητες του δικτύου στην αρχή της δημιουργίας του, αυτές περιορίζονταν σε διαμοιραζόμενα (shared) 10 Mbps, σύμφωνα με τις τεχνολογίες της εποχής. Μολονότι η ταχύτητα αυτή εξυπηρετούσε χωρίς ιδιαίτερα προβλήματα, το δίκτυο αναβαθμίστηκε, ώστε οι ταχύτητες να υπερβαίνουν τις ανάγκες σε ταχύτητα οποιασδήποτε εφαρμογής έτρεχε στο δίκτυο.

2.4.3 Σύγχρονη εικόνα του δικτύου

Σήμερα, περισσότεροι από 4000 υπολογιστές συνδέονται στο δίκτυο του Πανεπιστημίου. Πρόκειται για συνδυασμό κυρίως προσωπικών υπολογιστών (PC) και σταθμούς εργασίας UNIX/Linux. Πρόσθετες δικτυακές υπηρεσίες παρέχονται στις φοιτητικές εστίες μέσω της υπηρεσίας ResNet²⁹ (Residential Network). Η υπηρεσία αυτή, που χρησιμοποιεί Πρωτόκολλο Internet (IP), παρέχει στους χρήστες πρόσβαση σε ηλεκτρονικό ταχυδρομείο, μεταφορά αρχείων και υπερ-κείμενο (hypertext-WWW). Πρόκειται για ιδιαίτερα εξελιγμένη υπηρεσία, σε σύγκριση με τους περισσότερους παροχείς Internet. Αφού συνδεθεί ένας υπολογιστής στο ResNet, διαθέτει διαρκή άμεση σύνδεση (on-line) καθημερινά, 24 ώρες το 24ωρο. Οι ταχύτητες μεταξύ των υπολογιστών στις εστίες φτάνουν τα 10Mbps, ενώ με το πανεπιστημιακό δίκτυο και το Internet τα 2Mbps.

Οι βασικοί PC και UNIX εξυπηρετητές συνδέονται με ταχύτητα 100 Mbps σε υψηλής ταχύτητας μεταγωγείς Ethernet. Κάθε σταθμός εργασίας των χρηστών (PC ή UNIX) συνδέεται μέσω αποκλειστικής θύρας σε ένα μεταγωγέα Ethernet 100 Mbps, ο οποίος με τη σειρά του συνδέεται στα 100 Mbps με τους μεταγωγείς υψηλής ταχύτητας ή/και με δρομολογητές. Με αυτή τη διεύθυνση μεγιστοποιείται η διακίνηση δεδομένων μεταξύ εξυπηρετητών και χρηστών.

2.4.3.1 Παρεχόμενες υπηρεσίες

Σε όλο το Πανεπιστήμιο, σχεδόν σε κάθε γραφείο, εργαστήριο και αμφιθέατρο, υπάρχουν σημεία πρόσβασης στο δίκτυο (network points) που παρέχουν πρόσβαση σε υπηρεσίες όπως:

- ηλεκτρονικό ταχυδρομείο,
- διαδραστικές (interactive) συνδέσεις και συνδέσεις διακομιδής αρχείων (file serving) με τους κεντρικούς εξυπηρετητές,
- παγκόσμιος δικτυακός ιστός (WWW)

Κύριας σημασίας για τις προσφερόμενες υπηρεσίες είναι το project CADD1 που αφορά τη βελτίωση και τον εκσυγχρονισμό των desktop υπηρεσιών που χρησιμοποιούν οι φοιτητές. Η υλοποίηση του project έχει ως αποτέλεσμα την πρόσβαση των φοιτητών στα τελευταία προϊόντα Microsoft Office, προηγμένη διαχείριση συστήματος και εξελιγμένα συστήματα αποθήκευσης. Αναφέρεται χαρακτηριστικά ότι είναι διαθέσιμα περισσότερα από 3 Terabytes αποθηκευτικού χώρου. Για την υλοποίηση μιας τέτοιας υπηρεσίας, ήταν απαραίτητη η μετεγκατάσταση όλων των βασικών εξυπηρετητών του Πανεπιστημίου σε ένα νέο, ασφαλές κέντρο δεδομένων.

²⁹ Η χρήση του ResNet απαιτεί να εξοπλιστούν οι υπολογιστές με ένα προσαρμογέα (adapter) Ethernet και καλώδιο 10Base T, ενώ δεν απαιτείται modem.

2.4.3.2 Διασύνδεση

Το Πανεπιστήμιο είχε, μέχρι το 1996, ένα σύνδεσμο 2MB με το δίκτυο Janet, μέσω του οποίου επιτυγχάνοταν και η σύνδεση με το Internet. Ο σύνδεσμος αυτός αναβαθμίστηκε το 1996 σε μια υπηρεσία ταχύτητας 34 Mbps, ως τμήμα του ερευνητικού έργου του μητροπολιτικού δικτύου του Λονδίνου (London MAN). Από τη σύνδεση αυτή, τα 8 Mbps αφορούσαν την IP σύνδεση του Πανεπιστημίου. Εντός του 2001 η εν λόγω σύνδεση αναβαθμίστηκε στα 100 Mbps.

2.4.4 Μελλοντικά σχέδια

Εντός του επόμενου έτους σχεδιάζεται η ανάπτυξη ενός νέου desktop περιβάλλοντος (CADD2) που θα υποστηρίζει τις υπολογιστικές ανάγκες του προσωπικού. Επίσης θα αναπτυχθούν περαιτέρω η προσαρμοστικότητα του συστήματος και οι υπηρεσίες ανάκτησης σε περίπτωση καταστροφής. Σχεδιάζεται η εισαγωγή νέων υπηρεσιών όπως spam έλεγχοι των e-mails και πρόσθετη συνδεσιμότητα (connectivity) (σύνδεση περιαγωγής για φορητούς υπολογιστές και περισσότερη radio lan access). Τέλος, θα υποστηριχθεί ο ρόλος του STRIDE και θα διερευνηθούν νέες δικτυακές υπηρεσίες ιστού. Μέσα στα πλαίσια της δικτυακής πολιτικής του City είναι η δημοσίευση της πρώτης στρατηγικής IT (Πληροφορικής Τεχνολογίας).

2.5 FUNET (Finnish University and Research Network)

Το FUNET είναι ένα δίκτυο υψηλών ταχυτήτων που συνδέει πάνω από 80 ερευνητικούς οργανισμούς και περίπου 200.000 χρήστες στη Φινλανδία. Παρέχει στους συνδεδεμένους οργανισμούς ανωτάτου επιπέδου (state-of-the-art) συνδέσμους στο Internet μέσω του Παν-σκανδιναβικού δικτύου NORDUnet.

Όπως φαίνεται στην εικόνα 15, το FUNET συνδέει τη Φινλανδία, τη Σουηδία, τη Νορβηγία και τη Δανία. Επίσης συνδέεται με τη Μεγάλη Βρετανία, την Πολωνία, τη Γερμανία, τη Ρωσία, την Ισλανδία, καθώς και με τις ΗΠΑ. Οι backbone συνδέσεις του δικτύου περιλαμβάνουν τα Φινλανδικά Πανεπιστήμια του Helsinki, του Tampere, του Oulu και του Kuopio.



Εικόνα 15: Το δίκτυο FUNET

2.5.1 Περιγραφή του δικτύου

Οι πρώτες δικτυακές συνδέσεις μεταξύ Πανεπιστημίων της Φινλανδίας, το 1971, λειτουργούσαν στα 2.4 kbps. Σήμερα το backbone δίκτυο έχει ταχύτητα 2.5Gbps, γεγονός που σημαίνει ότι τα τελευταία 30 χρόνια η ταχύτητα των ακαδημαϊκών συνδέσεων αυξήθηκε κατά ένα παράγοντα ενός εκατομμυρίου και το FUNET καθίσταται ένα από τα ισχυρότερους παροχείς δικτύων παγκόσμια, στον τομέα της έρευνας και ακαδημαϊκής εκπαίδευσης. Άλλα ακαδημαϊκά δίκτυα με την ίδια ταχύτητα είναι το Abilene του αμερικανικού Internet2, το καναδικό CA*net3 και το δανικό Surfnet. Το νέο δίκτυο αποτελεί υποδομή για νέες ακαδημαϊκές υπηρεσίες, όπως το εικονικό πανεπιστήμιο, η απομακρυσμένη εκπαίδευση και τα videoconferences. Με την ταχύτητα των 2,5 Gbps καθίσταται δυνατή η μετάδοση ενός βιβλίου 100000 σελίδων μέσα σε ένα δευτερόλεπτο. Η Φινλανδία είναι η πρώτη σκανδιναβική και μία από τις πρωτοπόρες ευρωπαϊκές χώρες που υλοποίησαν το Σχέδιο Δράσης *eEurope 2002* της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, με κύριο σκοπό την αύξηση της δυναμικότητας των ερευνητικών δικτύων των κρατών-μελών στα 2.5 Gbps μέχρι το τέλος του 2001.

2.5.1.1 Τεχνολογίες

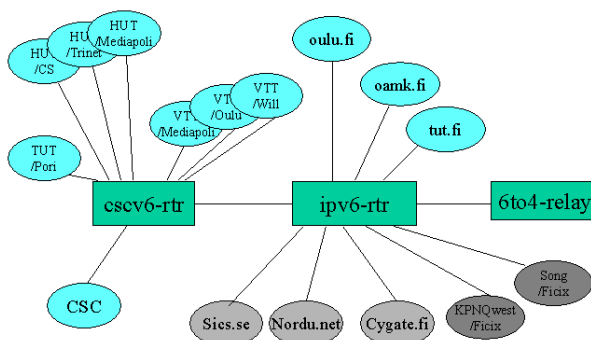
Ο πυρήνας του δικτύου αποτελείται από δρομολογητές Juniper και οι συνδέσεις βασίζονται στην τεχνολογία DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) της εταιρείας Sonera. Συγκεκριμένα, οι δρομολογητές Juniper συνδέονται στο backbone δίκτυο με interface κάρτες STM16 (2.5 Gbps) με Packet-over-Sonet (PoS) line card τεχνολογία. Οι κόμβοι του Funet, οι λεγόμενοι SuperPoPs, είναι διασκορπισμένοι σε διάφορα πανεπιστημιακά ιδρύματα³⁰. Ο hardware εξοπλισμός του δικτύου αποτελείται από ATM

³⁰ University of Helsinki, Tampere Institute of Technology, Abo Akademi University, University of Oulu, University of Kuopio, Finnish IT Center for Science.

connectors της εταιρείας Fore και δρομολογητές 7200VXR της Cisco που θα χρησιμοποιηθούν για να εγκαταστήσουν το interface δίκτυο και τις client συνδέσεις του Funet. Οι τεχνολογίες PoS, ATM και Ethernet θα εφαρμοστούν για παρέχουν σύνδεση στους χρήστες (clients) του Funet. Παράλληλα, κάποιες διαδρομές πρόσβασης θα διαμορφώνονται ανάλογα με την κάθε περίπτωση, ενώ ο ρυθμός των προσβάσεων θα καθορίζεται σύμφωνα με τις ανάγκες των πελατών.

Εδώ και λίγα χρόνια έχει εισαχθεί στο Funet η υπηρεσία IPv6. Πρόκειται για νέο πρωτόκολλο Internet που αναπτύσσεται από τις αρχές της δεκαετίας του 1990. Τα μέλη του Funet έχουν τη δυνατότητα να συνδέσουν το δικό τους IPv6 δίκτυο στα εθνικά και διεθνή IPv6 δίκτυα, μέσω του IPv6 δικτύου του Funet, ζητώντας διευθύνσεις IPv6 και συνδεσιμότητα (connectivity). Το δίκτυο Funet - IPv6 απεικονίζεται παρακάτω:

Funet IPv6-network



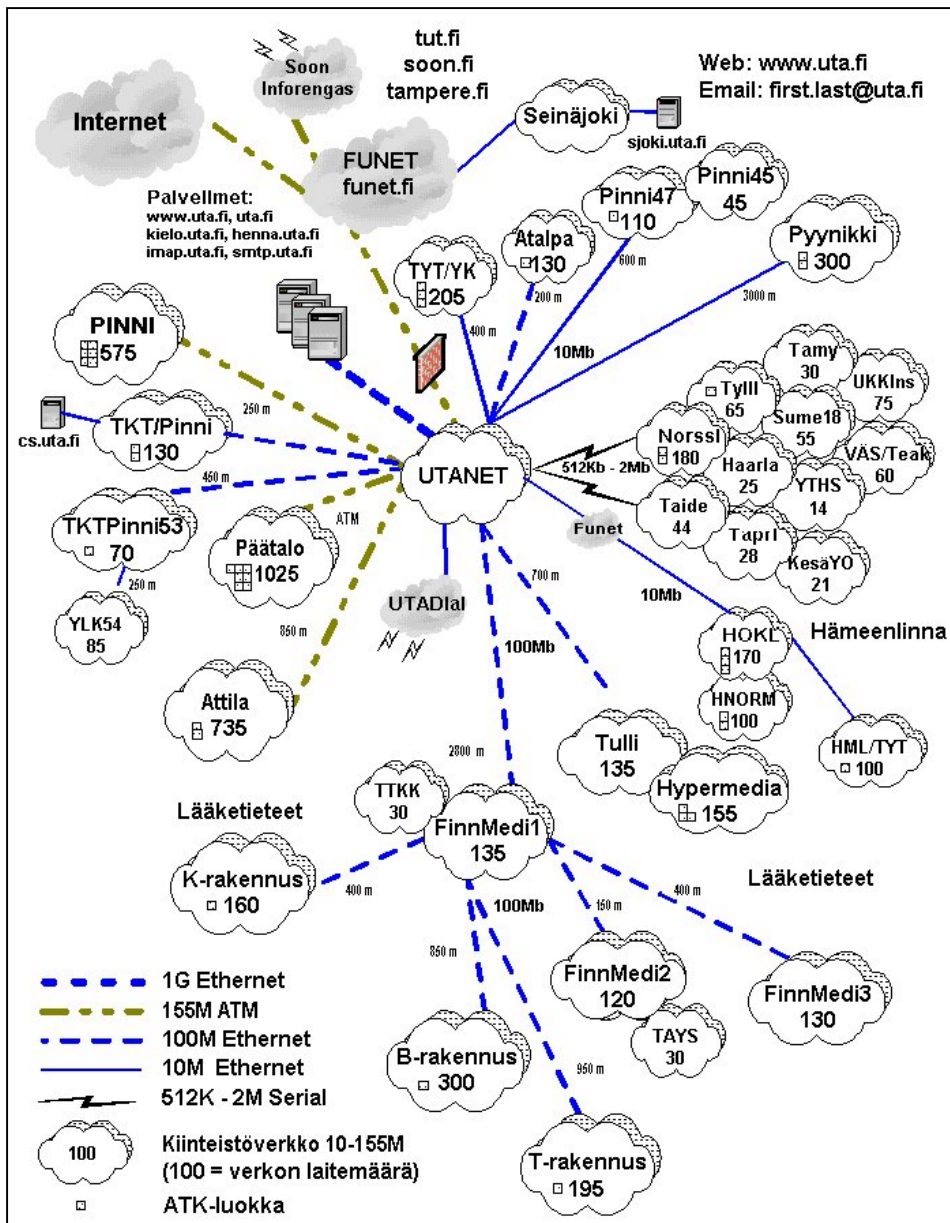
Εικόνα 16: Το δίκτυο IPv6 του FUNET

2.5.2 Το δίκτυο UTANET

Ένα από τα Πανεπιστήμια-μέλη του FUNET είναι το Tampere της Φινλανδίας. Το δίκτυο UTANET (Εικόνα 17) του Πανεπιστημίου Tampere της Φινλανδίας, που υφίσταται από το 1985, είναι ένα Μητροπολιτικό Δίκτυο (MAN) που συνδέει τα κτίρια του Πανεπιστημίου στην πόλη του Tampere. Το Utanet βασίζεται στο standard IEEE 802.3 Ethernet με καλωδίωση συνεστραμμένου ζεύγους, ATM/Ethernet οπτική ίνα και σειριακούς συνδέσμους. Το δίκτυο συνδέεται με το FUNET (Finnish University and Research Network) και με το Internet και χρησιμοποιεί κυρίως τα πρωτόκολλα TCP/IP and Novell IPX. Οι ετήσιες δαπάνες του Πανεπιστημίου για υπολογιστικό εξοπλισμό υπερβαίνουν τα 2,5 εκατομμύρια δολάρια.

Μερικά βασικά στοιχεία για το δίκτυο είναι τα εξής: συνδέονται 4700 προσωπικοί υπολογιστές, υπάρχουν 30 backbones κτιρίων, 80 Πολυθυρικοί Επαναλήπτες / Ομφαλοί, 220 Διακόπτες ATM/Ethernet, 15 Δρομολογητές.

Οι πανεπιστημιακοί φοιτητές και καθηγητές μπορούν να έχουν πρόσβαση σε servers του Utanet από το Internet, συνδέσεις με κεντρικούς υπολογιστές του Πανεπιστημίου καθώς και υπηρεσίες Intranet.



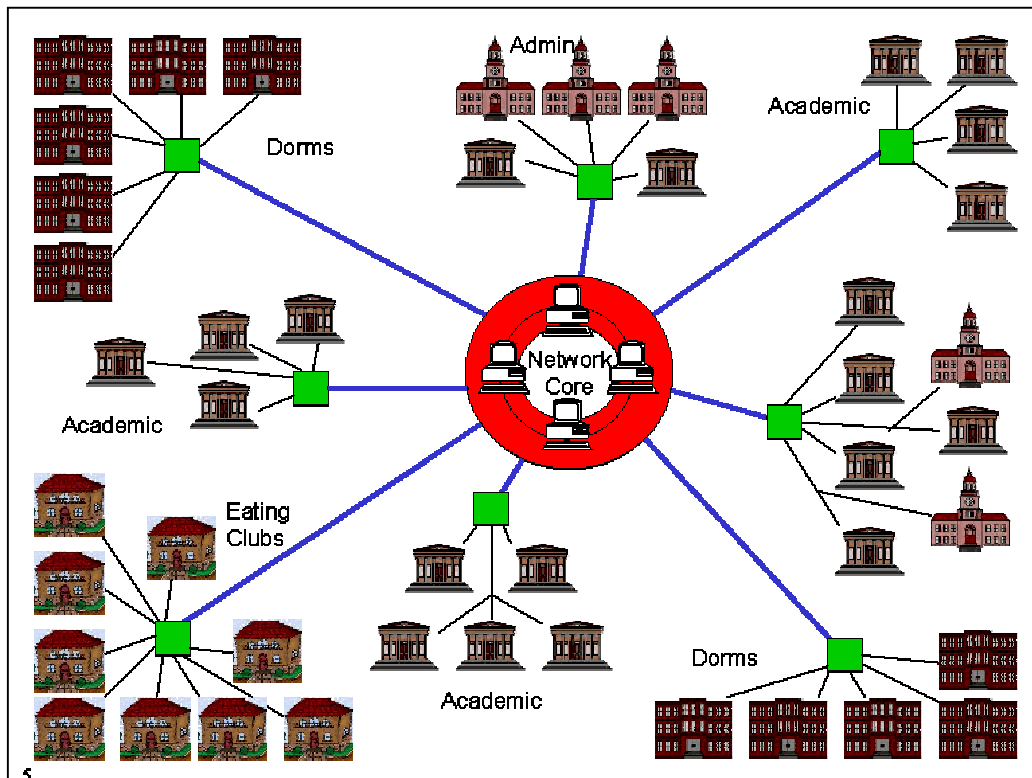
2.6 Princeton University Network

Το Πανεπιστήμιο του Princeton εκτείνεται σε 8 εκατομ. τετραγωνικά πόδια, αποτελείται από 160 κτίρια³¹ και για το ακαδημαϊκό έτος 2001-2002 αριθμεί 6.537 φοιτητές και 12.238 εργαζόμενους.

Η δικτύωση του Πανεπιστημίου του Princeton αποτελείται από: το δίκτυο Ethernet της Πανεπιστημιούπολης, την απομακρυσμένη πρόσβαση (remote access) και τη σύνδεση με το Internet. Παρακάτω περιγράφονται αναλυτικά οι συνδέσεις αυτές.

Η φυσική τοπολογία του δικτύου της Πανεπιστημιούπολης απεικονίζεται στην παρακάτω εικόνα:

³¹ Τα στοιχεία αφορούν την κύρια Πανεπιστημιούπολη (University campus)

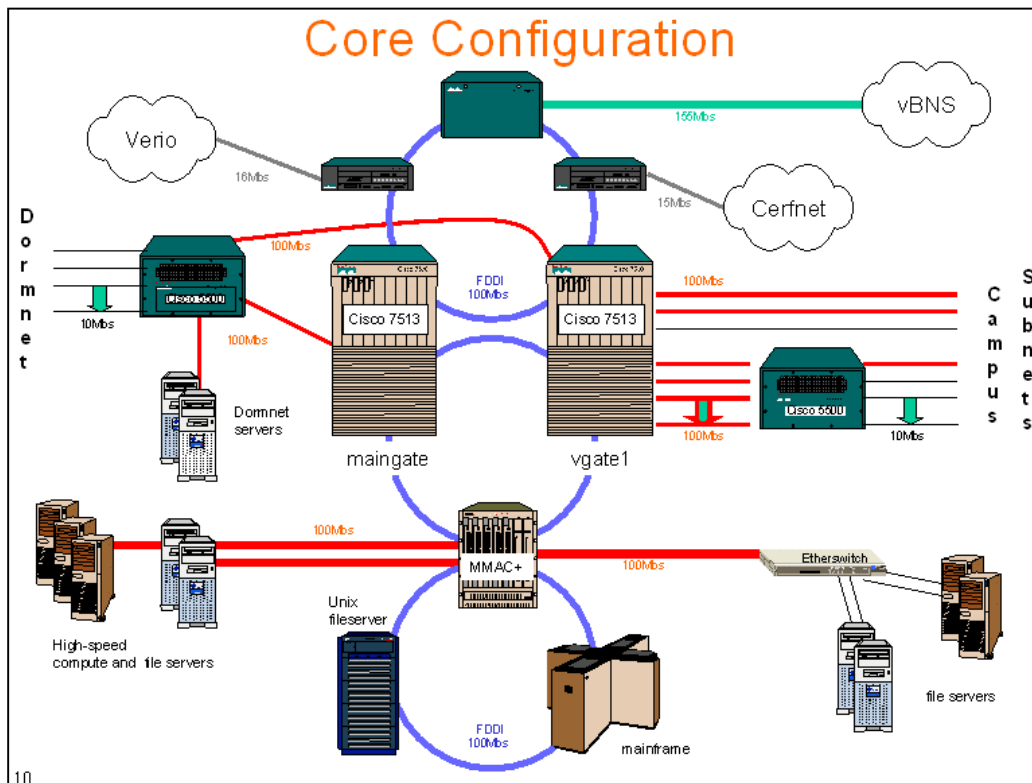


Εικόνα 18: Τοπολογία του δικτύου του Princeton

2.6.1 Δομή του δικτύου

Το δίκτυο του campus αποτελείται από δύο φυσικά δίκτυα: το δίκτυο της Πανεπιστημιούπολης (ακαδημαϊκά και διοικητικά κτίρια) και το δίκτυο Dormnet που συνδέει τους κοιτώνες του Πανεπιστημίου. Συγκεκριμένα, το πρώτο συνδέει περίπου 100 κτίρια και το δεύτερο 40 περίπου κοιτώνες και 12 λέσχες εστίασης. Υπάρχουν 11 κομβικά σημεία (hubsite locations) και από κάθε ομφαλό (hubsite) προς τα κτίρια υπάρχουν 16 μονότροπες και 16 πολύτροπες οπτικές ίνες. Η ραχοκοκαλιά (backbone) του δικτύου αποτελείται από 48 μονότροπες και 48 πολύτροπες οπτικές ίνες. Επίσης υφίσταται ένα σύστημα καναλιών (conduit system) για μελλοντική επέκταση. Όσον αφορά τη λογική δομή των δικτύων, παρέχονται δύο περιοχές διευθυνσιοδότησης IP (IP address spaces) class B: 128.112 για το δίκτυο των ακαδημαϊκών μονάδων (64 υποδίκτυα – subnets) και 140.180 για το δίκτυο των κοιτώνων (Dormnet, 2 υποδίκτυα). Επίσης για τα διάφορα projects υπάρχουν class C διευθύνσεις. Οι κεντρικοί υπολογιστές των δικτύων (hosts) ανέρχονται σε 10.000 περίπου για το ακαδημαϊκό-διοικητικό δίκτυο και σε 4.500 περίπου για το Dormnet.

Η διαμόρφωση του δικτύου του Princeton παρουσιάζεται στην επόμενη εικόνα:



Εικόνα 19: Διευθέτηση του πυρήνα του δικτύου του Princeton

Ο κορμός του δικτύου αποτελείται από δίκτυα οπτικής ίνας FDDI στα 100 Mbps. Έτσι, οι μεταγωγείς (switches) Ethernet συνδέονται μεταξύ τους με οπτική ίνα, ενώ η σύνδεση μεταγωγέων με τους υπολογιστές του δικτύου της Πανεπιστημιούπολης γίνεται με καλώδιο συνεστραμμένου ζεύγους στα 10 Mbps. Όσον αφορά το Dormnet, εκεί τα κομβικά σημεία (hubs) συνδέονται επάνω σε ομοαξονικό Ethernet, ενώ καλώδιο συνεστραμμένου ζεύγους συνδέει τα hubs με τους υπολογιστές των κοιτώνων. Το κεντρικό hub του Dormnet συνδέεται επίσης στο οπτικό backbone του πανεπιστημιακού δικτύου.

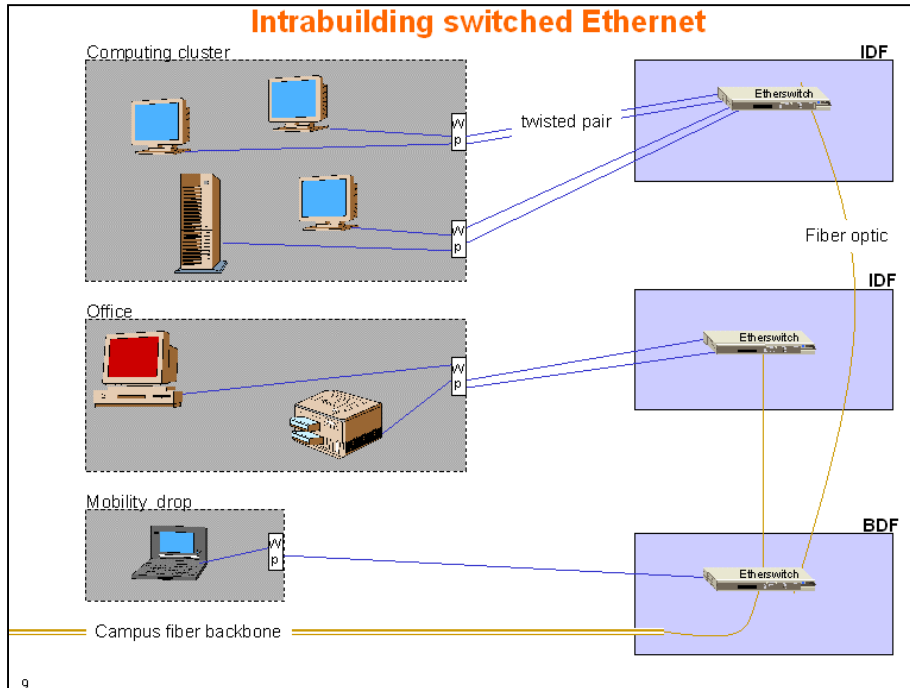
2.6.1.1 Καλωδίωση

Όσον αφορά την εσωτερική καλωδίωση των κτιρίων, αποτελείται από τα εξής:

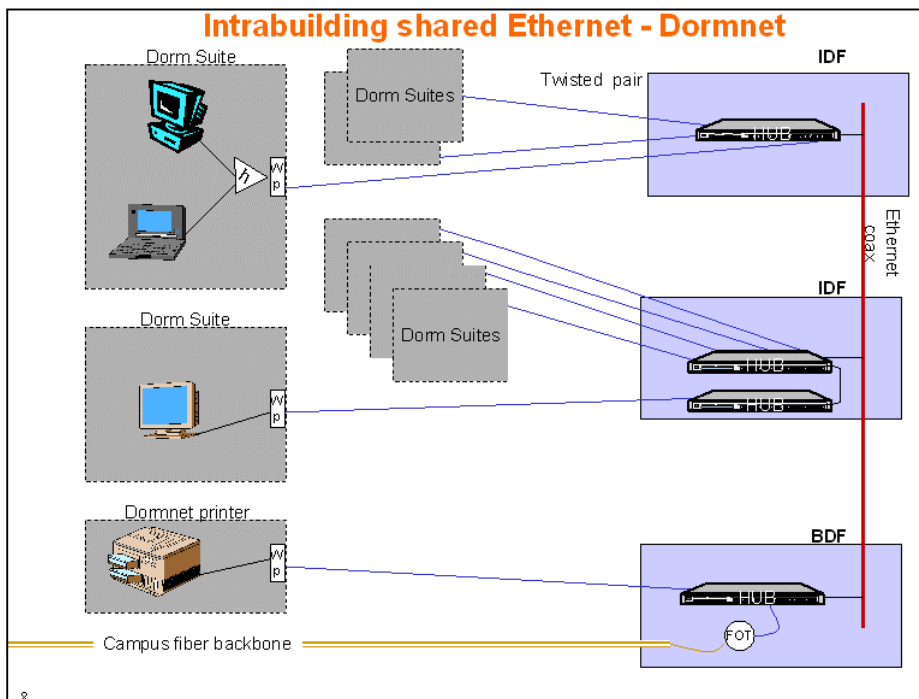
- Καλώδιο συνεστραμμένου ζεύγους κατηγορίας 5, 100 Mbps
- Desktop ίνα MM
- Desktop to closet – 100 μέτρα
- Desktop ίνα 2 χλμ
- Riser (closet to closet) ομοαξονικό καλώδιο, CATV, ίνα

Οι ταχύτητες που υποστηρίζει το δίκτυο κυμαίνονται από τα 10Mbps μεταξύ των δικτύων (Campus και Dormnet) και των δρομολογητών (Cisco), στα 100Mbps του οπτικού δικτύου FDDI.

Στις επόμενες εικόνες παρουσιάζεται η δομή του Switched Ethernet μεταξύ των κτιρίων για το ακαδημαϊκό δίκτυο και για το δίκτυο Dormnet.



Εικόνα 20: Δίκτυο Ethernet του Πανεπιστημίου



Εικόνα 21: Δίκτυο Ethernet του Dormnet

2.6.2 Απομακρυσμένη πρόσβαση

Η απομακρυσμένη πρόσβαση επιτρέπει στα μέλη της Πανεπιστημιακής κοινότητας να συνδέονται στο δίκτυο της Πανεπιστημιούπολης από το σπίτι τους ή όταν ταξιδεύουν, από οποιαδήποτε τοποθεσία.

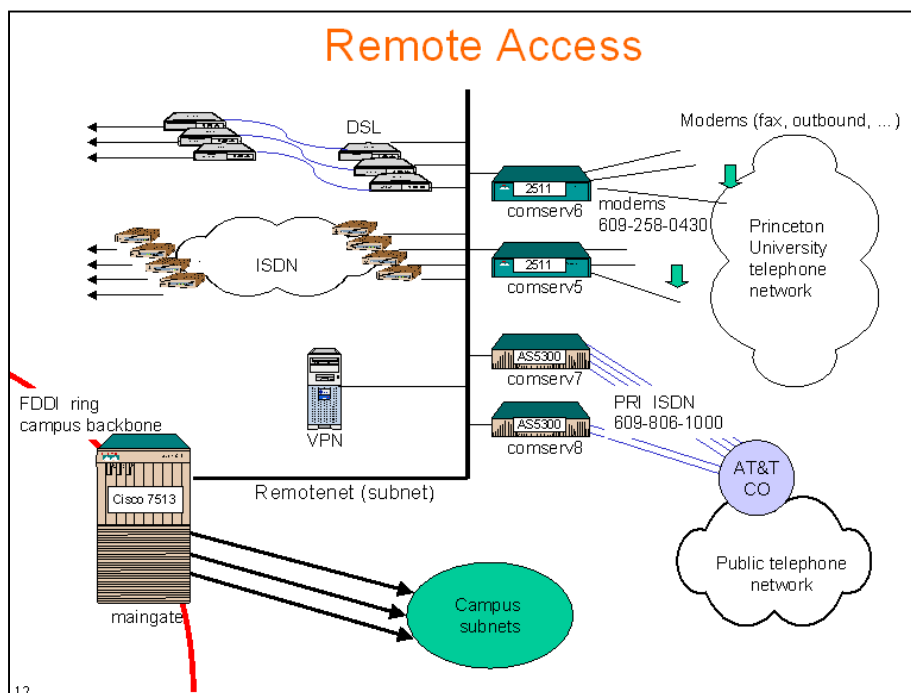
Οι υποστηριζόμενες υπηρεσίες περιλαμβάνουν:

- Υπηρεσίες τερματικών
- IP πάνω από PPP
- IP πάνω από SLIP

- AppleTalk πάνω από PPP
- IPX πάνω από PPP

Η βασική υπηρεσία, που παρέχεται με χρέωση, παρέχει επί του παρόντος 138 γραμμές (modems) με ταχύτητα μέχρι και 56Kbps και υποστηρίζει τα εξής πρότυπα: V.32, V.32bis, V.34, V.34bis, V.42bis, V.42, K56Flex version 1.1 και V.90. Προσφέρεται παράλληλα μια παλαιότερη υπηρεσία, επίσης με χρέωση, που περιλαμβάνει γραμμές (modems) με ταχύτητα μέχρι και 33,6 Kbps. Η υπηρεσία αυτή δεν προβλέπεται να επεκταθεί και υποστηρίζει τα V.32, V.32bis, V.34, V.34bis, V.42bis, και V.42. Τέλος, παρέχεται μια περιορισμένη υπηρεσία χωρίς χρέωση, με 14 modems και ταχύτητα μέχρι και 33,6 Kbps, η οποία δεν προβλέπεται να υποστηρίξει μελλοντικά υψηλότερες ταχύτητες, καθώς υπάρχει η βασική υπηρεσία για μεγαλύτερες απαιτήσεις σε ταχύτητα. Υποστηριζόμενα standards είναι τα ίδια με την προηγούμενη υπηρεσία.

Η επόμενη εικόνα παρουσιάζει το σχήμα της απομακρυσμένης πρόσβασης.



Εικόνα 22: Απομακρυσμένη πρόσβαση στο δίκτυο του Princeton

2.6.3 Σύνδεση με το Internet

Το Πανεπιστήμιο συνδέεται με το Internet, καθώς και με το Internet2³². Η δομή του δικτύου της Πανεπιστημιούπολης και η σύνδεσή του με το Internet και το I2 είναι αρκετά σύνθετη, η βασική αρχή όμως που διαρρέει τις συνδέσεις είναι ότι κάθε host χρησιμοποιεί μια μοναδική IP διεύθυνση για να εγκαθιστά συνδέσεις με άλλες συσκευές. Μέσω της υπηρεσίας DNS, κάθε host εντοπίζει και συνδέεται με servers της Πανεπιστημιούπολης ή των Internet και I2. Η σύνδεση με τα Internet και I2 πραγματοποιείται μέσω δύο ISP, του Fastnet και του AT&T. Σύμφωνα με στοιχεία του Ιουνίου 2002, το εύρος ζώνης σύνδεσης της Πανεπιστημιούπολης με το Internet είναι 65 Mbps και για το I2 είναι 45 Mbps. Η ύπαρξη δύο ISP εξασφαλίζει τη συνεχή παροχή δικτυακών υπηρεσιών, ακόμα και στην περίπτωση αποτυχίας / βλάβης ενός ISP.

³² I2: Διεθνές δίκτυο περισσότερων από 180 Πανεπιστημίων που συνεργάζονται με επιχειρηματικούς και κυβερνητικούς φορείς για την ανάπτυξη ανώτερων δικτυακών εφαρμογών και τεχνολογιών.

2.6.4 Παρεχόμενες υπηρεσίες

Το Πανεπιστήμιο, μέσω του Γραφείου Πληροφορικής Τεχνολογίας, παρέχει επίσης ασύρματη δικτύωση για τις διάφορες σχολές, το προσωπικό και τους φοιτητές. Η ασύρματη Ethernet υπηρεσία λέγεται Varonet και επιτρέπει στους χρήστες την πρόσβαση στους πόρους του Internet του campus από ένα μεγάλο εύρος τοποθεσιών. Η ασύρματη δικτύωση στηρίζεται στο IEEE 802.11b standard. Χρησιμοποιεί Φάσμα Άμεσης Ακολουθίας (Direct Sequence Spread Spectrum - DSSS) στο ραδιοφωνικό φάσμα 2.4 GHz και υποστηρίζει ταχύτητες 1, 2, 5.5 και 11 Mbps.

Οι δικτυακές υπηρεσίες που προσφέρονται στο Πανεπιστήμιο του Princeton συνοψίζονται στις εξής:

- Host registration – Hostmaster : αποτελεί βάση άλλων υπηρεσιών και λογιστική δικτύου
- DHCP – Dynamic Host Configuration Protocol (Πρωτόκολλα Δυναμικής Διευθέτησης Κεντρικών Υπολογιστών): παρέχει πληροφορίες για τη διαμόρφωση των κεντρικών υπολογιστών του δικτύου
- DNS – Domain Name Service (Ονοματοθεσία): μετάφραση ονομάτων σε διευθύνσεις IP (και το αντίστροφο)

2.6.5 Ασφάλεια του δικτύου

Όσον αφορά την ασφάλεια του δικτύου, λαμβάνονται τα εξής μέτρα προστασίας:

- Φίλτρα Internet : IP spoofing, SNMP, netbios in IP (NT)
- Εξυπηρετητές δικτύου : TCP wrappers, SNK access
- Παρακολούθηση (monitoring) του δικτύου μέσω MRTG και Tivoli/NetView.
- Υπηρεσίες VPN και MTS
- Firewalls

2.6.6 Μελλοντικοί στόχοι

Οι στόχοι της δικτυακής πολιτικής του Πανεπιστημίου, όπως εκφράζονται μέσω του Γραφείου Πληροφορικής Τεχνολογίας³³ του Princeton, συνοψίζονται στα παρακάτω:

- Αναβάθμιση όσο το δυνατό περισσότερων κτιρίων της Πανεπιστημιούπολης στη νέα εσωτερική καλωδίωση και/ή στο switched Ethernet.
- Αύξηση της χωρητικότητας του πυρήνα του δικτύου και της σύνδεσης με το Internet, ώστε να υποστηριχθούν οι απαιτήσεις σε bandwidth των νέων διδακτικών και εκπαιδευτικών εφαρμογών, καθώς και οι γενικότερες ανάγκες των δύο δικτύων (Campus και Dormnet).
- Ελάττωση του νεκρού χρόνου (network downtime) μέσω αυξημένης χρήσης των πλεοναζόντων διαδρομών (paths) και εγκατάστασης πρόσθετων υπηρεσιών στο backbone του δικτύου.
- Αύξηση των γνώσεων σε θέματα νέων τεχνολογιών, όπως το ασύρματο Ethernet, τα firewalls, η εξισορρόπηση φορτίου (load balancing) κ.ά.
- Βελτίωση της απόδοσης κρίσιμων δικτυακών εφαρμογών με την υλοποίηση των Quality of Service και traffic shaping.
- Μείωση του χρόνου προσδιορισμού των προβλημάτων μέσω της βελτιωμένης παρακολούθησης του δικτύου και των διαγνωστικών διαδικασιών.
- Προαγωγή της ανάπτυξης και χρήσης εφαρμογών υψηλής ταχύτητας του Internet2.

³³ OIT: Office of Information Technology

2.7 University of Waterloo

2.7.1 Το Πανεπιστήμιο

Το Πανεπιστήμιο του Waterloo στο Οντάριο του Καναδά αναγνωρίζεται ως το πιο καινοτόμο πανεπιστημιακό ίδρυμα στον Καναδά. Ιδρύθηκε το 1957, αριθμεί 100.000 απόφοιτους σε 133 χώρες του κόσμου και σχεδόν 23.000 φοιτητές. Είναι ένα πολύ μεγάλο Πανεπιστήμιο και από πλευράς χωροταξίας, καθώς η Πανεπιστημιούπολη (campus) εκτείνεται σε μια περιοχή 4.047 στρεμμάτων που συνεχίζει να επεκτείνεται για να καλύψει τις απαιτήσεις των αυξανόμενων φοιτητών. Για το 2003 προβλέπεται περαιτέρω επέκταση του χώρου κατά 28 στρέμματα, που θα περιλαμβάνουν νέους χώρους διδασκαλίας, έρευνας και διαμονής. Περίπου 15 στρέμματα διατέθηκαν για την κατασκευή του Κέντρου για την Περιβαλλοντική και Πληροφορική Τεχνολογία (Centre for Environmental and Information Technology – CEIT) που θα ολοκληρωθεί το καλοκαίρι του 2003.

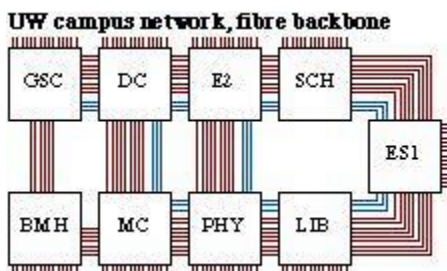
2.7.2 Αρχιτεκτονική του δικτύου

Το δίκτυο του Waterloo, με περίπου 11.000 συνδεδεμένους υπολογιστές, είναι ένα διαδίκτυο (internet). Πρόκειται δηλαδή για διασύνδεση διαφόρων IP δικτύων, καθώς καθένα από τα διασυνδεδεμένα συστήματα μετάδοσης συνιστά ένα υποδίκτυο του IP δικτύου του Πανεπιστημίου. Η διασύνδεση των εν λόγω υποδικτύων αποτελεί το εσωτερικό διαδίκτυο του Waterloo, το οποίο χαρακτηρίζεται και ως intranet, ακριβώς λόγω του ότι είναι εσωτερικό δίκτυο ενός οργανισμού. Επίσης, το δίκτυο του Waterloo είναι τμήμα ενός extranet που σχηματίζεται από οργανισμούς – μέλη της εταιρείας ONet Networking.

Η αρχιτεκτονική του δικτύου του Waterloo βασίζεται στην αρχή της “τοποθεσίας αναφοράς” (locality of reference). Σύμφωνα με αυτή, ο Ethernet μεταγωγέας (switch) και οι συνδεδεμένοι σε αυτόν υπολογιστές συνθέτουν την “τοπική ομάδα εργασίας” (local workgroup) για μια οργανωσιακή μονάδα. Η τοπική αυτή μονάδα εργασίας περιλαμβάνει όλους τους εξυπηρετητές της οργανωσιακής μονάδας και όλους τους πελάτες (clients) που εξαρτώνται από τους εν λόγω εξυπηρετητές. Υπάρχουν ορισμένες διευθετήσεις client/server που δύνανται να υποστηρίξουν πολύ μεγάλους όγκους διακίνησης. Μια συνήθης περίπτωση είναι αυτή που υλοποιείται με ένα πλήθος σταθμών εργασίας χωρίς δικό τους δίσκο και τους αντίστοιχους εξυπηρετητές συστήματος αρχείων. Τέτοιες διευθετήσεις client/server θα πρέπει να συνδέονται στον ίδιο workgroup μεταγωγό, έτσι ώστε η κυκλοφορία μεταξύ τους να παραμένει τοπική στον μεταγωγό.

2.7.2.1 Δίκτυο επιπέδου 1

Το δίκτυο επιπέδου 1 είναι το backbone δίκτυο του campus (εικόνα 23) και περιέχει τις δικτυακές πηγές που είναι απαραίτητες για ολόκληρο το Πανεπιστήμιο, όπως μεταγωγείς/δρομολογητές για τη σύνδεση με τα δίκτυα επιπέδου 2 και τη διάταξη που συνδέει το δίκτυο με το ONet και το υπόλοιπο Internet. Επίσης περιλαμβάνει τα συστήματα που λειτουργούν αποκλειστικά ως βασικοί servers για το DNS, την πιστοποίηση του campus, την υπηρεσία ειδήσεων (news server), τους τερματικούς εξυπηρετητές που παρέχουν πρόσβαση από χώρους εκτός πανεπιστημίου μέσω modem.



Εικόνα 23: Το δίκτυο κορμού του Waterloo

2.7.2.2 Δίκτυα επιπέδου 2

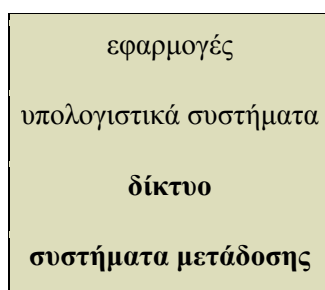
Βασική προϋπόθεση της δικτυακής διευθέτησης είναι η εξασφάλιση της βιωσιμότητας σε περίπτωση βλάβης / διακοπής της λειτουργίας του δρομολογητή του επιπέδου 1, ώστε το δίκτυα επιπέδου 2 και τα υποδίκτυά τους να μπορούν να συνεχίσουν τη λειτουργία τους ως ένα αυτόνομο λειτουργικό δίκτυο. Για το σκοπό αυτό, κάθε δίκτυο επιπέδου 2 θα πρέπει να περιέχει όλους τους εξυπηρετητές που είναι απαραίτητοι για τη λειτουργία των υπόλοιπων συστημάτων μέσα στο δίκτυο (επιπέδου 2) και στα υπόλοιπα δίκτυα χαμηλότερων επιπέδων. Οι δικτυακές υπηρεσίες που παρέχονται από τα δίκτυα επιπέδου 2 περιλαμβάνουν ένα εξυπηρετητή DNS, εξυπηρετητές διαχείρισης αρχείων και εφεδρικών αντιγράφων (backup), εξυπηρετητές για σταθμούς X και προσωπικούς υπολογιστές, εξυπηρετητή αλληλογραφίας (mail server) για client υπολογιστές και άλλες λειτουργίες που κρίνονται απαραίτητες για κάθε οργανωσιακή μονάδα.

2.7.2.3 Δίκτυα χαμηλότερου επιπέδου

Η εξέλιξη του δικτύου του Πανεπιστημίου απαιτεί την ελαχιστοποίηση των δικτύων χαμηλότερου επιπέδου. Η δημιουργία νέων τέτοιων δικτύων επιτρέπεται μόνο σε περιπτώσεις όπου υπάρχουν ειδικές τεχνολογικές συνθήκες που δεν μπορούν να εξυπηρετηθούν με άλλο τρόπο.

2.7.3 Μεταγωγή επιπέδου μετάδοσης και δρομολόγηση επιπέδου δικτύου

Ένα σύστημα μετάδοσης είναι μια φυσική κατασκευή. Συγκεκριμένα, πρόκειται για το κατώτερο στρώμα του απλοποιημένου μοντέλου τεσσάρων στρωμάτων:



Περιέχει α) το τοπικό σύστημα καλωδίωσης στο οποίο συνδέονται οι γειτονικές συσκευές και β) το ένα πρωτόκολλο για τη μετάδοση δεδομένων μεταξύ των συσκευών, δια του εν λόγω μέσου. Η επικοινωνία εκτός του τοπικού συστήματος μετάδοσης απαιτεί τη χρήση ενός πρωτοκόλλου επιπέδου δικτύου (network-layer protocol).

Το δίκτυο, αντίθετα, είναι μια εικονική κατασκευή που συνίσταται α) σε ένα σύστημα διευθυνσιοδότησης, ανεξάρτητο από τα διάφορα τοπικά συστήματα μετάδοσης, και β) σε ένα πρωτόκολλο για τη μετάδοση πακέτων πληροφορίας μεταξύ συσκευών σε διαφορετικά συστήματα μετάδοσης, μέσω των διευθύνσεών τους (στο επίπεδο δικτύου, όχι στο επίπεδο μετάδοσης).

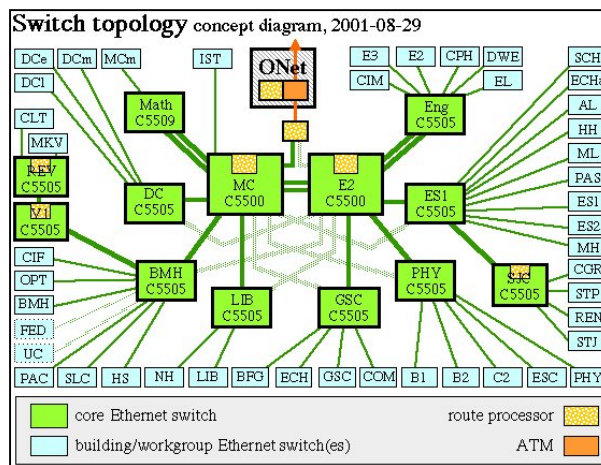
2.7.3.1 Το στρώμα συστημάτων μετάδοσης

Το πρωτόκολλο μετάδοσης δεδομένων του Waterloo είναι το Ethernet. Οι ταχύτητες κυμαίνονται από 10 Mbps στα περισσότερα σημεία, σε 100 Mbps (Fast Ethernet) όπου υπάρχουν ανάλογες ανάγκες, σε 1 Gbps (Gigabit Ethernet) όπου θα χρειάζεται σε λίγα χρόνια, μέχρι και 10Gbps (Fast Gigabit Ethernet) όπου οι ανάγκες θα αυξηθούν στα ανάλογα επίπεδα. Τα μέσα καλωδίωσης που χρησιμοποιούνται είναι η ίνα (στο backbone

δίκτυο και τους συνδέσμους του εντός των κτιρίων) και το συνεστραμμένο ζεύγος UTP κατηγορίας 5/5e (για τους συνδέσμους στους σταθμούς εργασίας και τους εξυπηρετητές). Τα δύο μέσα διασυνδέονται με πολυθυρικούς επαναλήπτες (multi-port repeaters που μεταδίδουν τα πάντα σε όλες τις θύρες) ή μεταγωγείς (μεταδίδουν μόνο στη συγκεκριμένη θύρα όπου συνδέεται η συσκευή προορισμού). Υπάρχουν και μερικά άλλα συστήματα καλωδίωσης σε άλλα σημεία του δικτύου, ορισμένα από αυτά για ερευνητικούς σκοπούς.

Η τοπολογία της ίνας του backbone δικτύου (εικόνα 23) συνίσταται σε 11 δέσμες ίνας πολλαπλού ζεύγους (multi-pair) που συνδέουν 9 κέντρα καλωδίωσης του backbone. Οι δύο πρώτες δέσμες (MC-BMH και BMH-GSC) εγκαταστάθηκαν στις αρχές της δεκαετίας του 1990. Για μελλοντικές ανάγκες πολύ υψηλών ταχυτήτων, όπως τα Gigabit ή 10Gb Ethernet μεταξύ των οποίων υπάρχει διαθέσιμη ίνα απλού ζεύγους (single-pair).

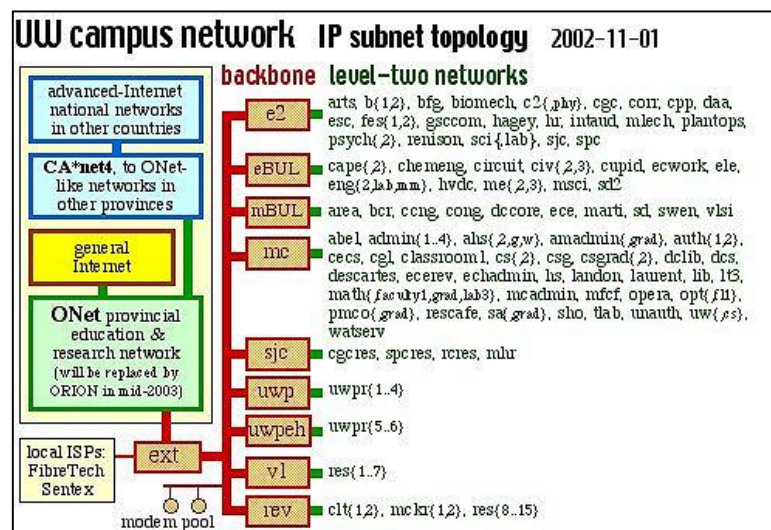
Όσον αφορά την τοπολογία μεταγωγής του backbone δικτύου (εικόνα 24), πρόκειται για ένα πυρήνα δέκα enterprise-class μεταγωγών Ethernet της οικογένειας Cisco Catalyst 5500. Οι workgroup-class μεταγωγείς ανήκουν στις κατηγορίες Cisco Catalyst 1900, 2900 και 3500.



Εικόνα 24: Τοπολογία των διακοπών Ethernet του δικτύου του Waterloo

2.7.3.2 Το στρώμα δικτύου

Όπως αναφέρθηκε αρχικά, το πρωτόκολλο του δικτύου του Waterloo είναι το IP. Η λειτουργία δρομολόγησης κάθε (υπο)δικτύου επιπέδου 2 υλοποιείται από μια υπομονάδα δρομολόγησης (routing module) σε έναν από τους μεταγωγείς Ethernet του backbone. Κάποια υποδίκτυα επιπέδου 2 περιέχουν επίσης υποδίκτυα χαμηλότερων επιπέδων, η λειτουργία δρομολόγησης των οποίων πραγματοποιείται με ένα σύστημα διπλής σύνδεσης στο υποδίκτυο επιπέδου 2, καθώς τα χαμηλότερα υποδίκτυα συνήθως χρησιμοποιούν ακόμα πεπαλιωμένα συστήματα μετάδοσης χωρίς μεταγωγή.



Εικόνα 25: Τοπολογία των IP υποδικτύων του Waterloo

2.7.3.3 Ολοκληρωμένη μεταγωγή Ethernet και IP δρομολόγηση

Οι δύο βασικοί κόμβοι του πυρήνα του δικτύου είναι συσκευές Cisco Catalyst 5500. Καθένας από τους κόμβους περιλαμβάνει μεταγωγή Ethernet και μια υπομονάδα (module) route-processor. Οι σύνδεσμοι μεταξύ των δύο βασικών κόμβων είναι 100Mbps full-duplex (δηλαδή, 100Mbps και προς τις δύο κατευθύνσεις). Οι υπόλοιποι κόμβοι του πυρήνα είναι Cisco Catalyst 5505 ή 5509 που περιλαμβάνουν μεταγωγή Ethernet και ένα είδος ολοκληρωμένης δρομολόγησης IP.

2.7.4 Ασύρματη επικοινωνία

Σε συγκεκριμένα σημεία της Πανεπιστημιούπολης (κτίρια Μαθηματικών και Μηχανικής) παρέχεται ασύρματη πρόσβαση σύμφωνα με το standard Userid-authenticated 802.11b. Πρόσθετα σημεία πρόσβασης θα είναι διαθέσιμα εντός του 2003, ενώ διερευνάται η σχεδίαση ενός σημείου πρόσβασης για εξωτερική χρήση και πιθανή διασύνδεση από χώρους εκτός του campus, από φοιτητές, προσωπικό και διδάσκοντες. Το project *Waterloo Wireless* σχεδιάζει την κατασκευή ενός ασύρματου δικτύου που θα καλύπτει την περιοχή του Waterloo, με τη χρήση της τεχνολογίας 802.11, στην ραδιοφωνική συχνότητα ISM, 2.4 GHz.

2.7.5 Ομάδες εργασίας Client/Server

Ορισμένα συστήματα πελάτη/εξυπηρετητή δε χρησιμοποιούν πρωτόκολλα IP για την παροχή υπηρεσιών μεταξύ εξυπηρετητή και πελατών. Ιστορικά, αυτά ήταν πρωτόκολλα για ειδικούς σκοπούς, όπως πιστοποίηση χρηστών, υπηρεσίες εκτύπωσης ή αρχείων. Η στρατηγική του Waterloo για την ολοκλήρωση του δικτύου προτείνει την παροχή τέτοιων υπηρεσιών μέσα στο πλαίσιο των IP standards.

2.7.6 Τοπολογία του δικτύου ResNet

Το ResNet είναι το δίκτυο που συνδέει τις εστίες του Πανεπιστημίου. Κάθε ένοικος συνδέεται με UTP κατηγορίας 5 σε μία αποκλειστική (dedicated) θύρα 10Mbps σε ένα μεταγωγό Ethernet, Cisco Catalyst 1900. Άλλοι χώροι διαμονής (σπίτια κλπ) εξυπηρετούνται από μια δέσμη δύο ή τριών μεταγωγών C1900, που διασυνδέονται μέσω των 100Mbps UTP θυρών τους. Κάθε δέσμη έχει μια σύνδεση ίνας 100Mbps στον κεντρικό μεταγωγό της κατοικίας. Ο κεντρικός μεταγωγός είναι Cisco Catalyst 5505 με μια υπομονάδα δρομολόγησης με πολλαπλές θύρες ίνας 100Mbps και μια σύνδεση ίνας 100Mbps σε ένα μεταγωγό στον πυρήνα του δικτύου του campus.

2.7.7 Εξωτερικές συνδέσεις

Η συμμετοχή του Waterloo στο δίκτυο ONet του παρέχει σύνδεση σε επαρχιακό, εθνικό και διεθνές επίπεδο. Το ONet με τη σειρά του συνδέεται με ένα μεγάλο αριθμό εθνικών δικτύων στον Καναδά, καθένα από τα οποία παρέχει διεθνείς συνδέσεις με τις ΗΠΑ και άλλα κράτη. Συγκεκριμένα:

- Για τη γενική/Internet κυκλοφορία, το ONet συνδέεται με πολλούς παροχείς Internet (ISP) με εθνική και διεθνή συνδεσιμότητα.
- Για την κυκλοφορία του Πανεπιστημίου, το ONet περιλαμβάνει συνδέσεις στο backbone του δικτύου CA*net4 "optical IP", το οποίο συνδέει πολλά επαρχιακά δίκτυα και έχει συνδέσεις με προηγμένα δίκτυα Internet σε άλλες χώρες. Η σύνδεση λοιπόν του Πανεπιστημίου με τις Κοινότητες του Καναδά μεταφέρει όλη την κυκλοφορία από και προς τα περισσότερα Πανεπιστήμια στο Οντάριο και στον υπόλοιπο Καναδά, τις ΗΠΑ και πολλά άλλα κράτη. Η γενική/ Internet σύνδεση που προαναφέρθηκε, φέρει την υπόλοιπη κυκλοφορία.

2.7.8 Αναβάθμιση του δικτύου – Μελλοντικά σχέδια

Μέσα στα πλαίσια της διαρκούς προσπάθειας του Πανεπιστημίου του Waterloo για συνεχή παρακολούθηση και εφαρμογή των πιο εξελιγμένων τεχνολογιών δικτύων, υλοποιήθηκε ένα πολυετές project για την αναβάθμιση της υποδομής του δικτύου. Οι αναβαθμίσεις περιέλαβαν συνδέσεις σε ατομικά γραφεία, καλωδίωση εντός κτιρίων και εξοπλισμό για ταχύτερη μετάδοση. Το πρόγραμμα αναβάθμισης εκτελέστηκε σε δύο φάσεις: η πρώτη, κατά το διάστημα 1997 – 1998, είχε ως αποτέλεσμα, μεταξύ άλλων, την εγκατάσταση 12 μεταγωγέων πυρήνα Ethernet και την αναβάθμιση 1800 συνδέσεων υπολογιστών. Η δεύτερη φάση, 1999-2002, αφορούσε εγκατάσταση πρόσθετης καλωδίωσης UTP και Ethernet μεταγωγών που αντικατέστησαν την παλιά ομοαξονική καλωδίωση και τους Ethernet επαναλήπτες. Τα σχέδια για μελλοντικές αναβαθμίσεις περιλαμβάνουν την αντικατάσταση της ομοαξονικής καλωδίωσης και των επαναληπτών Ethernet, όπου υπάρχουν ακόμα.

Τα σχέδια του Πανεπιστημίου του Waterloo για τις μελλοντικές δικτυακές εξελίξεις περιλαμβάνουν, μεταξύ άλλων, τα εξής:

- Ανάπτυξη ενός multi-gigabit "Οπτικού IP" επαρχιακού backbone δικτύου στο Τορόντο που θα διασυνδέει τα Πανεπιστήμια, σχολεία, ερευνητικούς και άλλους οργανισμούς της περιοχής του Τορόντο, με μία σύνδεση από το ORION στο CA*net4.
- Δημιουργία ενός IP backbone δικτύου, ανοιχτού σε όλους, για τη διασύνδεση των εσωτερικών δικτύων των δημόσιων/ιδιωτικών οργανισμών και των παροχών Internet σε ιδιώτες, στην περιοχή του Waterloo.

3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στις μελέτες περιπτώσεων που παρουσιάστηκαν παρατηρήθηκε ότι οι τεχνολογίες που κυρίως προτιμώνται από τα Πανεπιστήμια είναι το FDDI, το Fast Ethernet, το ATM και τα Ασύρματα Δίκτυα (Wireless Networks).

3.1 FDDI

Το FDDI προσφέρει υψηλές ταχύτητες με χρήση οπτικών ινών και για αυτό χρησιμοποιείται κυρίως για δίκτυο κορμού. Αν και προοριζόταν να αποτελέσει την επόμενη γενιά των LAN, ποτέ δεν έπιασε ιδιαίτερα πέρα από την αγορά δικτύων κορμού, καθώς η διαχείριση των σταθμών ήταν υπερβολικά περίπλοκη. Τα περίπλοκα ολοκληρωμένα κυκλώματα και το υψηλό κόστος δεν επέτρεψαν τη μαζική παραγωγή του FDDI. Η αποτυχία αυτή του FDDI άφησε το πεδίο ελεύθερο σε μία ποικιλία LAN ταχυτήτων πάνω από τα 10Mbps³⁴.

Το FDDI χρησιμοποιείται ως δίκτυο κορμού στα Πανεπιστήμια Μακεδονίας και Princeton, και μέχρι το 1999 ως δίκτυο κορμού και στο Πανεπιστημιακό Κολέγιο του Λονδίνου (UCL). Επίσης, το Πανεπιστήμιο της Μόσχας διασυνδέεται με τα κύρια ινστιτούτα της Ρωσικής ακαδημίας Επιστημών μέσω του δικτύου κορμού υψηλής ταχύτητας της νότιας Μόσχας, που είναι βασισμένο στην τεχνολογία FDDI. Η τεχνολογία FDDI χρησιμοποιείται και στο δίκτυο του Πανεπιστημίου City, όπως φαίνεται στην εικόνα 14.

3.2 Fast Ethernet (IEEE 802.3u)

Προσφέρει υψηλές ταχύτητες με συμβατότητα προς τα πίσω με χιλιάδες υπαρχόντων LAN. Έτσι χρησιμοποιείται ως τοπικό δίκτυο που συνδέεται με υψηλές ταχύτητες με το δίκτυο κορμού. Η βασική ιδέα πίσω από το Ταχύ Ethernet ήταν απλή: διατήρησε όλες τις παλιές μορφές πακέτων, τις διεπαφές και τους διαδικασιακούς κανόνες, με τη μόνη διαφορά τη μείωση της διάρκειας ενός bit από τα 100nsec στα 10nsec³⁵.

Μία άλλη έκδοση που χρησιμοποιείται αποτελεί την επόμενη λογική ανάπτυξη της Ethernet ιεραρχίας και ονομάζεται 10 Gigabit Ethernet. Διατηρεί πολλά χαρακτηριστικά των προηγούμενων εκδόσεων Ethernet, συνεχίζοντας με αυτόν τον τρόπο την παράδοση μίας από τις πιο αποδοτικές και ταυτόχρονα εύκολες στην υλοποίησή τους τεχνολογίες δικτύωσης³⁶.

Η τεχνολογία Fast Ethernet χρησιμοποιείται στα τοπικά δίκτυα του πανεπιστημίου Μακεδονίας. Η τεχνολογία Gigabit Ethernet επιλέχθηκε ως η πλέον κατάλληλη για την κατασκευή του νέου δικτύου κορμού του Πανεπιστημιακού Κολέγιου του Λονδίνου (UCL), με αποτέλεσμα να είναι δυνατή η παροχή στα τμήματα συνδέσεων με ταχύτητα στα 10Mbps, τα 100Mbps ή και στο 1Gb. Το δίκτυο Utanet βασίζεται στην τεχνολογία Ethernet και συγκεκριμένα στο πρότυπο IEEE 802.3.

3.3 ATM

Ο γενικός στόχος των ευρυζωνικών ψηφιακών δικτύων ενοποιημένων υπηρεσιών είναι η ενοποίηση όλων των υπαρχόντων δικτύων σε μια ενιαία ομογενή υποδομή, η οποία θα υποστηρίζει όλους τους τύπους επικοινωνιακών υπηρεσιών. Τα ευρυζωνικά δίκτυα ενοποιημένων υπηρεσιών βασίζονται στο Ασύγχρονο Τρόπο Μεταφοράς (ATM)³⁷. Το ATM μπορεί να εγκλωβίσει πολλά διαφορετικά πρωτόκολλα και τύπους κυκλοφορίας σε μία κοινή

³⁴ Andrew S.Tanenbaum, *Δίκτυα Υπολογιστών*, Αθήνα: Παπασωτηρίου, 2000, 398.

³⁵ Andrew S.Tanenbaum, *Δίκτυα Υπολογιστών*, Αθήνα: Παπασωτηρίου, 2000, 399.

³⁶ “10 Gigabit Ethernet Alliance Frequently Asked Questions” στην ηλεκτρ. διεύθυνση www.10gea.org

³⁷ Ανδρέας Πομπόρτσης, *Εισαγωγή στις Νέες Τεχνολογίες Επικοινωνιών*, Θεσσαλονίκη: Α. Τζιόλα Ε., 1997, 307.

μορφή για μεταφορά. Είναι αρκετά ακριβό στην υλοποίησή του, αλλά μπορεί να προσφέρει υψηλό εύρος ζώνης, υψηλές ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων και ταυτόχρονο έλεγχο κυκλοφορίας. Έτσι, προτιμάται κυρίως ως λύση για την κατασκευή δικτύων κορμού.

Ως δίκτυο κορμού επιλέχθηκε στο πανεπιστήμιο της Μόσχας, ενώ στο Πανεπιστήμιο Μακεδονίας επιλέχθηκε ως η πλέον αξιόπιστη λύση για επικοινωνία με τον έξω κόσμο. Η τεχνολογία ATM επιλέχθηκε και για την κατασκευή ενός ισχυρότατου δικτύου κορμού στην Αγγλία, το SuperJanet4, που συνδέει πολλά μητροπολιτικά δίκτυα της χώρας. Η τεχνολογία ATM χρησιμοποιείται και στο δίκτυο του Πανεπιστημίου City για πρόσβαση στο Μητροπολιτικό Δίκτυο του Λονδίνου, όπως φαίνεται στην εικόνα 14.

3.4 Ασύρματα Δίκτυα

Η ασύρματη δικτύωση δεν είναι τίποτε άλλο από ένα δίκτυο που διανέμει τα δεδομένα μεταξύ των υπολογιστών και/ή άλλων συσκευών πολυμέσων με ραδιοκύματα, και όχι με τη χρήση ακριβής καλωδίωσης³⁸. Η πλειοψηφία των ασύρματων τοπικών δικτύων βασίζεται στην τεχνολογία IEEE 802.11b³⁹. Ένα ασύρματο τοπικό δίκτυο προσφέρει τη λειτουργικότητα ενός παραδοσιακού δικτύου τύπου Ethernet, αλλά με μεγαλύτερη ευελιξία. Ανάμεσα στα πιο σημαντικά αποτελέσματα που αποκάλυψαν πρόσφατες έρευνες⁴⁰ είναι και το ότι οι τελικοί χρήστες μπορούν να μείνουν συνδεδεμένοι με το δίκτυο για περίπου 1 ώρα και $\frac{3}{4}$ περισσότερο κάθε μέρα.

Ένα μέρος του δικτύου του Πανεπιστημίου Μακεδονίας είναι ασύρματο δίκτυο και χρησιμοποιείται για εξωτερικές συνδέσεις. Σε συγκεκριμένα σημεία της Πανεπιστημιούπολης Waterloo (κτίρια Μαθηματικών και Μηχανικής) παρέχεται ασύρματη πρόσβαση σύμφωνα με το IEEE 802.11b. Επίσης στο ίδιο Πανεπιστήμιο σχεδιάζεται το έργο “*Waterloo Wireless*”, ένα ασύρματο δίκτυο που θα καλύπτει την περιοχή του Waterloo, με τη χρήση της τεχνολογίας 802.1, στην ραδιοφωνική συχνότητα ISM, 2.4 GHz.

³⁸ Envara, “Introduction to Wireless Networking”, στην ηλεκτρονική διεύθυνση: www.envara.com/resources

³⁹ Για περισσότερες πληροφορίες σχετικά με το πρότυπο IEEE 802.11b βλ. επίσης IEEE 802.11 Wireless Local Area Networks στην ηλεκτρονική διεύθυνση: <http://grouper.ieee.org/groups/802/11/>

⁴⁰ Cisilion, “Advantages of Wireless Networking” στην ηλεκτρονική διεύθυνση: www.cisilion.com/wireless_advantages.htm

4. ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Τα Πανεπιστήμια ως χώροι όπου κατεξοχήν διεξάγεται η έρευνα φαίνεται να είναι πρωτοπόροι στην υιοθέτηση και στην εφαρμογή νέων τεχνολογιών. Έτσι, όπως παρουσιάστηκε από την παρούσα έρευνα νέες τεχνολογίες, όπως το ATM, το Gigabit Ethernet, και τα Ασύρματα Δίκτυα (Wireless Networks), έχουν ήδη αναπτυχθεί σε αυτά για τις δικτυακές τους ανάγκες. Μερικές από τις νέες αυτές τεχνολογίες παρουσιάζονται και εδώ.

4.1 10 Gigabit Ethernet

Μία από τις νέες τεχνολογίες για την κατασκευή δικτύων κορμού ονομάζεται Gigabit Ethernet. Είναι ακριβώς το ίδιο με το 10Mbps Ethernet και το διάδοχό του, 100 Mbps Fast-Ethernet, με τη διαφορά ότι τρέχει γρηγορότερα στα 1000 Mbps⁴¹. Το 10 Gigabit Ethernet θεωρείται ως μία τεχνολογία υψηλής ταχύτητας που ενοποιεί δικτυακές εφαρμογές σε δίκτυα LAN, MAN και WAN. Προσφέρει μεγάλο εύρος ζώνης με απλό τρόπο και με χαμηλό κόστος. Σε εφαρμογές τοπικών δικτύων, επιτρέπει στους οργανισμούς να κυμάνουν τα δίκτυα τους που είναι βασισμένα σε πακέτα από τα 10Mbps έως τα 10.000 Mbps. Σε εφαρμογές μητροπολιτικών και δικτύων ευρείας περιοχής, επιτρέπει στους παροχείς υπηρεσιών Internet (ISPs) σε άλλους παροχείς δικτυακών υπηρεσιών (NSPs) να δημιουργούν εξαιρετικά ταχείς συνδέσμους Ethernet σε μεγαλύτερη απόσταση και με ανταγωνιστικές τιμές. Η τεχνολογία αυτή θα επιτρέψει επίσης την κατασκευή μητροπολιτικών δικτύων και δικτύων ευρείας περιοχής, που θα συνδέουν γεωγραφικά διάσπαρτα τοπικά δίκτυα μέσω πανεπιστημίων ή μέσα από σημεία παρουσίας (points of presence - PoPs). Αυτές οι συνδέσεις θα χρησιμοποιούν dark fiber, dark wavelengths, ή δίκτυα SONET/SDH⁴².

4.2 ATM

Ο Ασύγχρονος Τρόπος Μετάδοσης (Asynchronous Transfer Mode -ATM) αποτελεί μία ευρύτατα διαδεδομένη τεχνολογία δικτύου κορμού. Το ATM είναι γνωστό για την εύκολη ολοκλήρωσή του με άλλες τεχνολογίες και για τα περίπλοκα διοικητικά χαρακτηριστικά γνωρίσματά. Συχνά οι χαρακτηριστικές δυνάμεις του ATM συνδυάζονται και με άλλες τεχνολογίες, όπως το ATM πάνω σε SONET/SDH ή DSL πάνω σε ATM. Με αυτόν τον τρόπο, επεκτείνονται τα διοικητικά χαρακτηριστικά γνωρίσματά του σε άλλες πλατφόρμες με έναν οικονομικά αποδοτικό τρόπο⁴³. Η προσοχή επίσης, μετατοπίζεται και προς τη χρήση της τεχνολογίας ATM για τη σύνδεση υαρχόντων LAN. Στην προσέγγιση αυτή, το δίκτυο ATM μπορεί να λειτουργήσει είτε ως LAN που συνδέει δύο ξεχωριστούς χρήστες είτε ως γέφυρα που συνδέει περισσότερα LAN. Ενώ η εξομοίωση LAN στο ATM είναι μία ενδιαφέρουσα ιδέα, υπάρχουν σοβαρά ερωτήματα ως προς την επίδοση και το κόστος της και υπάρχει οπωσδήποτε σκληρός ανταγωνισμός από τα υπάρχοντα ως και τις γέφυρες που είναι καθιερωμένα και βελτιστοποιημένα. Το κατά πόσο τα LAN και οι γέφυρες του ATM θα αντικαταστήσουν ποτέ τα LAN και τις γέφυρες του 802, αυτό θα ξεκαθαριστεί στο μέλλον⁴⁴.

⁴¹ Scott Conti, Future Directions for the Campus Network Infrastructure, στην ηλεκτρονική διεύθυνση: www.oit.umass.edu/publications/at_oit/Archive/fall98/future-cwn.html

⁴² www.10gea.org

⁴³ www.atmforum.com

⁴⁴ Andrew S.Tanenbaum, *Δίκτυα Υπολογιστών*, Αθήνα: Παπασωτηρίου, 2000, 586-588

4.3 IP και IPv6

Το IP αποτελεί μία πολύ ισχυρή υποψηφιότητα ως μία δικτυακή τεχνολογία του μέλλοντος. Σήμερα, το IP αποτελεί το *de facto* πρότυπο μετάδοσης δεδομένων στο Διαδίκτυο. Ένα από τα χαρακτηριστικά του στα οποία οφείλεται η επιτυχία του είναι το γεγονός ότι είναι τελείως ανεξάρτητο από την υποκείμενη δικτυακή τεχνολογία. Το IP μπορεί να λειτουργεί πάνω από ετερογενείς μεταξύ τους δικτυακές υποδομές. Από την άλλη μεριά η μεγαλύτερη αδυναμία του IP είναι η έλλειψη της ποιότητας υπηρεσιών. Το IP προσφέρει μόνο την καλύτερη παράδοση προσπάθειας. Αποτελεί σήμερα μία από τις επικρατούσες τεχνολογίες δικτύωσης και σήμερα αντιμετωπίζεται το θέμα πώς μπορεί να λειτουργήσει μαζί με το ATM αν και έχουν μία βασική διαφορά: το IP αποτελεί ένα πρωτόκολλο χωρίς σύνδεση, ενώ το ATM είναι πλήρως προσανατολισμένο προς τη σύνδεση.

Το IPv6 (Internet Protocol Version 6) αποτελεί το πρωτόκολλο νέας γενιάς που θα αντικαταστήσει την τρέχουσα έκδοση πρωτοκόλλου Internet, το IPv4 (IP Version 4). Το IPv6 διορθώνει έναν αριθμό προβλημάτων του IPv4, όπως ο περιορισμένος αριθμός διαθέσιμων IPv4 διευθύνσεων. Επίσης προσθέτει πολλές βελτιώσεις στο IPv4 σε τομείς, όπως η δρομολόγηση και η αυτοδιευθέτηση του δικτύου (*network autoconfiguration*)⁴⁵. Βλέποντας τις μεγάλες δυνατότητες του IP και το σίγουρο μέλλον του στη δικτύωση του αύριο, είναι εύκολο να προβλεφθεί ότι η δικτυακή τεχνολογία που θα επικρατήσει θα είναι η απλούστερη, η γρηγορότερη, η φθηνότερη και η ευκολότερη στη χρήση της με το IP.

4.4 Σύγκριση Τεχνολογιών

4.4.1 ATM και Ethernet

Το ATM αποτελεί μία περίπλοκη τεχνολογία. Η πολυπλοκότητα αποτελεί ίδιο χαρακτηριστικό του ATM και είναι αναμενόμενη, εφόσον ο κύριος στόχος του ATM είναι να προσφέρει κοινή λύση σε όλα τα προβλήματα των δικτύων. Ένα μεγάλο πλεονέκτημα του ATM είναι ότι είναι ανεξάρτητο από τον υποκείμενο μηχανισμό μεταφοράς. Το ATM δεν καθορίζει κάποιο μηχανισμό ούτε για τον Έλεγχο Πρόσβασης στο Μέσο (Media Access Control - MAC), που αποτελεί το χαμηλότερο υποεπίπεδο του επιπέδου datalink, ούτε για το φυσικό επίπεδο. Αντίθετα το Ethernet καθορίζει συγκεκριμένους μηχανισμούς. Αποτελεσματικά, το ATM μπορεί να “τρέχει” πάνω από διαφορετικές τεχνολογίες και να προσαρμόζεται σε διαφορετικές τεχνολογίες μεταφοράς και σε μεγαλύτερες ταχύτητες.

Αντίθετα το μεγάλο πλεονέκτημα του Ethernet είναι η απλότητά του, γεγονός που οδήγησε στην ευρεία χρήση που αυτό γνωρίζει σήμερα. Επίσης, η αρχική τεχνολογία Ethernet είναι διαθέσιμη ήδη από το 1976, ενώ η τεχνολογία ATM χρησιμοποιείται μόλις από το 1994. Η τεχνολογία Ethernet είναι πιο ώριμη από αυτή του ATM. Ωστόσο, σήμερα υφίσταται σύγκριση ανάμεσα στο Gigabit Ethernet και στο ATM, έστω αν και το πρώτο σε αντίθεση με το αρχικό Ethernet και το ATM αποτελεί χωρίς αμφιβολία μία λιγότερη ώριμη τεχνολογία⁴⁶.

Σύμφωνα με σχετική έρευνα⁴⁷ και οι δύο τεχνολογίες (ATM, Ethernet) μπορούν να παράσχουν εξαιρετική απόδοση. Η εγκατάσταση διακοπών Ethernet σε ένα ήδη υπάρχον διαμοιρασμένο τοπικό δίκτυο θα παράσχει σημαντική βελτίωση στην απόδοση και θα επεκτείνει τη ζωή του παρόντος δικτύου βασισμένου στην τεχνολογία Ethernet. Παρομοίως, όσον αφορά την απόδοση, η Ethernet εξομοίωση τοπικού δικτύου πάνω σε ATM (Ethernet LAN Emulation over ATM-LANE) και η σύνδεση μέσω γέφυρα ATM-προς- Ethernet

⁴⁵ <http://www.ipv6.org/>

⁴⁶ Tomi Mickelsson, ATM versus Ethernet στην ηλεκτρονική διεύθυνση: www.tml.hut.fi/Opinnot/Tik-110.551/1999/papers/07ATMvsEthernet/iworkpaper.htm, 1999.

⁴⁷ Andrew Rindos et. al., Performance Considerations in Positioning Emerging Networking Technologies: ATM, ATM-To-The-Desktop and Switched/High Speed Ethernet, IBM PC Company Networking Hardware Division, 1996, www.networking.ibm.com/per/per8.html

αντιπροσωπεύουν ένα αποδεκτό μέσο ένωσης υπαρχόντων τοπικών δικτύων Ethernet με ένα δίκτυο κορμού ATM. Μία προσέγγιση είναι ο συνδυασμός αυτών των δύο τεχνολογιών, με αποτέλεσμα οι υψηλές ταχύτητες του Gigabit Ethernet να επαυξάνονται κατά πολύ, όταν συνδυάζεται με το ATM. Τα χαρακτηριστικά του ATM (έλεγχος της κυκλοφορίας, ποιότητα υπηρεσιών, διοικητικά γνωρίσματα) μπορούν να συμπληρώσουν την απλότητα και τη φθηνή απόδοση του Ethernet με χαρακτηριστικά και λειτουργικότητα σε επίπεδο μεταφορέων (carrier-grade).

4.4.2 ATM-IP

Το IP αποτελεί μία τεχνολογία δρομολόγησης πακέτων με κυμαινόμενο μήκος και δίχως εγγυήσεις καθυστέρησης, ενώ το ATM αποτελεί μία τεχνολογία μεταγωγής κελιού με αυστηρή τήρηση της ποιότητας υπηρεσιών. Το IP και το ATM αποτελούν τεχνολογίες που δεν μπορούν εύκολα να συνεργαστούν μεταξύ τους. Η ολοκλήρωση του IP και του ATM, προκειμένου να λειτουργούν ικανοποιητικά μαζί, αποτελεί μία πρόκληση στο χώρο των δικτύων⁴⁸. Πράγματι το βέλτιστο θα είναι η ενοποίηση των δυνάμεων των δύο αυτών τεχνολογιών. Το μειονέκτημα του ATM στα περιβάλλοντα δεδομένων να προσθέτει αυξημένη κυκλοφορία στα δίκτυα προσανατολισμένα στο πακέτο έχει ξεπεραστεί με τη χρήση του ATM βασισμένου σε πλαίσιο πάνω από μεταφορά Sonet/SDH. Με το να συνδυαστούν οι τεχνολογίες IP και ATM, οι μεταφορείς απολαμβάνουν την έκταση των IP και τη διαχειρισιμότητα, την ασφάλεια, τη μεταβλητότητα και την προβλεψιμότητα του ATM.

Η χρήση του ATM μπορεί να προσφέρει στα δίκτυα IP δυνατότητες πέρα από αυτές που το παραδοσιακό IP έχει προσφέρει: κλιμάκωση (scalability), κυκλοφορία εφαρμοσμένης μηχανικής, διαφοροποίηση υπηρεσιών, υψηλή διαθεσιμότητα και εφαρμογές προστιθεμένης αξίας όπως τα ιδεατά ιδιωτικά δίκτυα (VPNs). Για αυτό το λόγο αναπτύσσονται πολλές εφαρμογές και προδιαγραφές για την υποστήριξη δεδομένων και συγκεκριμένα του IP πάνω σε ATM. Μερικές από αυτές τις εφαρμογές και προδιαγραφές είναι: το Multi-Protocol over ATM (MPOA) ως προσθήκη στα περιβάλλοντα LAN/MAN για εξομοίωση LAN (LANE), προσθήκες στο πρωτόκολλο δρομολόγησης του ATM, PNNI, και τέλος, η υιοθέτηση του βασισμένου σε πλαίσιο ATM πάνω από Sonet/SDH (Frame-based ATM over Sonet/SDH-FAST) για περιβάλλοντα Πάροχων Υπηρεσιών. Λαμβάνοντας υπόψη αυτές τις αναπτύξεις, το ATM καθιερώνεται σαφώς ως τεχνολογία της επιλογής στο στρώμα πρόσβασης, το στρώμα συνάθροισης και ανάλογα με το μέγεθος του δικτύου ακόμα και στον πυρήνα. Αυτό είναι βασισμένο στην πρωτοφανή δυνατότητά του να υποστηρίζει δεδομένα, IP, φωνή και βίντεο σε διάφορα περιβάλλοντα και σε διαφορετικές εφαρμογές με μια ενιαία, ώριμη και δοκιμασμένη υποδομή⁴⁹.

4.4.3 ATM και SONET/SDH

Το ATM σχεδιάστηκε για να προσφέρει ευρυζωνική δικτύωση κατά τρόπο αποτελεσματικό εξίσου σε LAN και WAN. Αλλά το πρόβλημα του ATM είναι το IP, καθώς δημιουργείται μεγάλη κυκλοφορία με το IP επάνω σε ATM. Εναλλακτικές λύσεις έναντι του ATM ως τεχνολογία μεταφοράς ερευνώνται. Μία τέτοια τεχνολογία είναι το Packet over SONET, ή το IP over SONET, όπως επίσης καλείται. Το Ευρωπαϊκό ανάλογο του SONET είναι το SDH. Στο IP over SDH, το ATM αγνοείται τελείως κατά τη διάρκεια της μετάδοσης, καθώς τα IP-πακέτα μεταδίδονται απευθείας πάνω από SDH πλαίσια με τη χρήση του πρωτοκόλλου Point to Point (PPP). Σαν αποτέλεσμα το εύρος ζώνης χρησιμοποιείται πιο ικανοποιητικά. Αγνοώντας το ATM, χάνουμε τη δυνατότητα διαχείρισης, δρομολόγησης και αξιοποίησης των δυνατοτήτων που γενικά προσφέρει αυτή η τεχνολογία. Η υποδομή διαχείρισης που απαιτείται για το SDH είναι τελείως διαφορετική από εκείνη του ATM. Το

⁴⁸ Tomi Mickelsson, ATM versus Ethernet στην ηλεκτρονική διεύθυνση: www.tml.hut.fi/Opinnot/Tik-110.551/1999/papers/07ATMvsEthernet/iworkpaper.htm, 1999.

⁴⁹ www.atmforum.com

IP over SDH είναι μάλλον καταλληλότερο για διατάξεις Σημείο-προς-Σημείο με μεγάλο όγκο.

Το ATM πάνω από SONET/SDH έχει αποδειχτεί ως μία από τις πιο αξιόπιστες, ευέλικτες και αποδοτικές προσεγγίσεις στη διαχείριση δικτύων. Αυτή η ενίσχυση ενδυναμώνει την προστασία για τις μεταδόσεις μέσω διακοπών ATM. Το ATM συμπιέζοντας τα σήματα από διάφορες πηγές μπορεί να μεγιστοποιήσει το εύρος ζώνης που παράγεται από τον εξοπλισμό SONET/SDH, μειώνοντας παράλληλα και τις δαπάνες που προκύπτουν με τον επιπρόσθετο εξοπλισμό. Οι τελευταίες έρευνες για το συνδυασμό των δύο αυτών τεχνολογιών εστιάζουν το ενδιαφέρον τους στην επίτευξη μεγαλύτερων δικτυακών αποδόσεων επιτρέποντας για παράδειγμα στο ATM να εξομοιώνει το SONET/SDH σε ορισμένα σημεία του δικτύου. Αυτό ελαχιστοποιεί την ανάγκη για SONET/SDH και επομένως μειώνει τον αριθμό των επιπέδων δικτύου και ταυτόχρονα τη λειτουργική πολυπλοκότητα και το κόστος. Ο συνδυασμός τους μπορεί να δημιουργήσει ένα πολύ αξιόπιστο δίκτυο.

4.5 Επιλογή τεχνολογιών για την κατασκευή LAN, WAN, MAN και Backbone Network

4.5.1 Τοπικά δίκτυα - LAN

Το Ethernet παραμένει η πιο δημοφιλής τεχνολογία τοπικών δικτύων και το πιο ευρέως αναπτυγμένο δίκτυο πρόσβασης στο μέλλον, όπως πολλοί προβλέπουν. Το Ethernet έχει μία τεράστια βάση εγκαταστάσεων, η τεχνολογία του είναι απλή και κατανοητή. Για εκείνους που επιθυμούν περισσότερο εύρος ζώνης, το Ethernet παρέχει μεταγωγή και εύκολη αναβάθμιση στις νέες του εκδόσεις, το Γρήγορο (Fast) Ethernet και το Gigabit Ethernet. Προκειμένου να φτάσει το ATM στα τοπικά δίκτυα απαιτούνται μεγάλες και ακριβές αλλαγές στην υποδομή, αν και η εφαρμογή του σε αυτά μπορεί να τα προφυλάξει από προβλήματα που σχετίζονται με μεγάλους όγκους κυκλοφορίας που κατακλύζουν τα μεγαλύτερα δίκτυα. Το Ethernet έχει αναπτυχθεί από μικρά LAN έως δίκτυα κορμού. Το ερώτημα από τη μεριά των ATM είναι πόσο βαθιά προς τα LAN μπορεί το ATM να διεισδύσει ενώ από τη μεριά του Ethernet είναι πόσο βαθιά μέχρι το δίκτυο κορμού μπορεί το Ethernet να διεισδύσει.

4.5.2 Δίκτυα Ευρείας Περιοχής (WAN) και Μητροπολιτικά Δίκτυα (MAN)

Στα δίκτυα WAN και MAN αφθονούν κυρίως οι τεχνολογίες ATM, IP και Gigabit Ethernet. Το Gigabit Ethernet επιτρέπει τη δημιουργία συνδέσμων υψηλής ταχύτητας με χαμηλό κόστος. Αλλά ούτε το Gigabit Ethernet ούτε το IP δεν μπορούν να προσφέρουν ολοκληρωμένη υποστήριξη και τόσο δυνατά διοικητικά γνωρίσματα όσο η τεχνολογία ATM, για την οποία, πρέπει να διευκρινιστεί ότι η απόσταση δεν αποτελεί πρόβλημα.

4.5.3 Δίκτυα Κορμού - Backbone Networks

Το ATM ευρέως έχει χρησιμοποιηθεί σε Internet WAN δίκτυα κορμού. Σχεδόν όλοι οι διαχειριστές διαδικτύου (Internet operators) προσφέρουν υπηρεσίες ATM. Η μεγάλη πλειοψηφία (σχεδόν το 80%) των παγκόσμιων μεταφορέων (carriers) χρησιμοποιούν ATM στον πυρήνα των δικτύων τους. Το ATM έχει ευρέως υιοθετηθεί λόγω της απαρτίωσης ευελιξίας του στην υποστήριξη μίας ευρύτατης σειράς τεχνολογιών, συμπεριλαμβανομένου του DSL, του IP Ethernet, του Frame Relay, του SONET/SDH και ασύρματων πλατφόρμων. Επίσης δρα ως η μοναδική γέφυρα ανάμεσα στον παραδοσιακό εξοπλισμό και στη νέα γενιά λειτουργικών συστημάτων και πλατφόρμων επιτρέποντας τη μεγιστοποίηση των επενδύσεων σε δικτυακές υποδομές.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

5.1 ΒΙΒΛΙΑ-ΑΡΘΡΑ ΠΕΡΙΟΔΙΚΩΝ-ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΕΙΜΕΝΑ

Π

Πομπόρτσος, Ανδρέας. *Εισαγωγή στις Νέες Τεχνολογίες Επικοινωνιών*. Θεσσαλονίκη: Α. Τζιόλα Ε., 1997.

C

Cisco. “*White Paper: Campus Network Services*” (www.cisco.com)

Cisilion, “Advantages of Wireless Networking” (www.cisilion.com/wireless_advantages.htm)

Conti, Scott. “Future Directions for the Campus Network Infrastructure” (www.oit.umass.edu/publications/at_oit/Archive/fall98/future-cwn.html)

E

Envara, “Introduction to Wireless Networking” (www.envara.com/resources)

K

Kenyon, Tony. *High-Performance Data Network Design: Design Techniques and Tools*. Boston: Digital Press, 2002.

M

Mickelsson, Tomi. “ATM versus Ethernet”, 1999 (www.tml.hut.fi/Opinnot/Tik-110.551/1999/papers/07ATMvsEthernet/iworkpaper.htm)

R

Rindos, Andrew et. al. “Performance Considerations in Positioning Emerging Networking Technologies: ATM, ATM-To-The-Desktop and Switched/High Speed Ethernet”. IBM PC Company Networking Hardware Division, 1996 (www.networking.ibm.com/per/per8.html)

S

Sharma, Roshan L.. *Network Topology Optimization: the Art and Science of Network Design*. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990.

Stallings, William. *Networking Standards: a Guide to OSI, ISDN, LAN, and MAN Standard*. Reading Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company, 1993.

T

Tanenbaum, Andrew S.. *Δίκτυα Υπολογιστών*. Αθήνα: Παπασωτηρίου, 2000.

“Topologies”, *Network Magazine* (Feb 1 1990) (www.networkmagazine.com/article/NMG20000727S0011)

U

University of Missouri. “*Information Technology Standards: Networking*” (www.umsystem.edu/itstd/network.htm)

W

Woodcock, JoAnne. *Εισαγωγή στα Δίκτυα Υπολογιστών*. Αθήνα: Κλειδάριθμος, 2000.

5.2 ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

5.2.1 Πανεπιστήμια

Πανεπιστήμιο Μακεδονίας

1. www.noc.uom.gr Το Κέντρο Διαχείρισης Δικτύου του Πανεπιστημίου Μακεδονίας.
2. www.uom.gr/gen_info/history.htm Η Ιστορία του Πανεπιστημίου Μακεδονίας.

Πανεπιστήμιο της Μόσχας

3. www.msu.ru/english/info/history.htm Η Ιστορία του Πανεπιστημίου της Μόσχας.
4. www.msu.ru/english/ctti/assist.htm Περιγραφή του Δικτύου.

Πανεπιστημιακό Κολέγιο του Λονδίνου

5. www.ucl.ac.uk Η αρχική σελίδα του Κολέγιου.
6. www.ucl.ac.uk/is/backbone/index.htm Το δίκτυο του UCL.
7. www.ja.net Σύντομη Ιστορία του δικτύου JANET.
8. www.superjanet4.net Η τέταρτη έκδοση του δικτύου JANET, SuperJanet4.
9. www.ukerna.ac.uk/aboutukerna.htm Η Ιστορία του δικτύου UKERNA.
10. www.lonman.net.uk Το μητροπολιτικό δίκτυο του Λονδίνου.

Πανεπιστήμιο του City, Λονδίνο

11. www.city.ac.uk Η αρχική σελίδα του City University
12. www.city.ac.uk/csd/network/comms/network.htm Το δίκτυο του Πανεπιστημίου
13. www.city.ac.uk/csd/network/resnet Το δίκτυο RESNet

FUNET, Φινλανδικό Δίκτυο Πανεπιστημίων

14. www.csc.fi/suomi/funet Η σελίδα του FUNET στο Finnish IT Centre for Science
15. www.uta.fi/laitokset/tkk/english/networking Η σελίδα του UTANET, Πανεπιστήμιο του Tampere

Πανεπιστήμιο του Princeton

16. www.princeton.edu Η αρχική σελίδα του Πανεπιστημίου
17. www.net.princeton.edu Το δίκτυο του Πανεπιστημίου

Πανεπιστήμιο του Waterloo, Καναδάς

18. www.uwaterloo.ca Η αρχική σελίδα του Πανεπιστημίου
19. <http://ist.uwaterloo.ca/cn> Το δίκτυο του Πανεπιστημίου

5.2.2 Τεχνολογίες Δικτύων

20. www.conta.uom.gr/conta/ekpaideysh/metaptyxiaka/technologies_diktyvn/teaching_m/ Εκπαιδευτικό υλικό από το Εργαστήριο Δικτύων του Πανεπιστημίου Μακεδονίας
21. www.anixter.com/techlib/standard/cabling/d0502p08.htm
22. www.anixter.com/techlib/standard/cabling/d0502p09.htm

* Οι πηγές 14, 15 παρέχουν πληροφορίες για το πρότυπο ANSI/TIA/EIA-568-A. Οι ιστοσελίδες αυτές είναι από την τεχνική βιβλιοθήκη της εταιρείας Anixter.

23. www.10gea.org Η επίσημη ιστοσελίδα της 10 Gigabit Ethernet Alliance.
24. www.atmforum.com Η επίσημη ιστοσελίδα του ATM Forum
25. <http://www.ipv6.org/> Η επίσημη ιστοσελίδα του οργανισμού για το πρωτόκολλο IPv6.
26. <http://grouper.ieee.org/groups/802/11/> Η επίσημη ιστοσελίδα της ομάδας IEEE 802.11, υπεύθυνη για τα Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα.