

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΔΠΜΣ ΜΙΣ

**ΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟ ΜΑΘΗΜΑ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΩΝ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΟΙΚΟΝΟΜΙΔΗΣ ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ**

IP over SONET/SDH Networks

IP over DWDM Networks

IP over ATM Networks

IP over wireline & wireless LANs

IP over Satellite Networks

IP over Mobile Ad-Hoc Networks

Μουρατίδης Ευστράτιος M11/00

Παπαϊωάννου Κωνσταντίνος M4/00

Θεσσαλονίκη, 18 Ιανουαρίου 2001

Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια γίναμε όλοι μάρτυρες της ραγδαίας εξάπλωσης του Internet σε ολόκληρο τον κόσμο. Η εξάπλωση αυτή έγινε πραγματικότητα χάρη στο Internet Protocol (IP), ενώ πολύ επιστήμονες μιλούν για μια νέα εποχή, την εποχή του “IP παντού” (IP anywhere). Για το λόγο αυτό το πρωτόκολλο IP χρησιμοποιήθηκε σχεδόν πάνω από κάθε υπάρχουσα δικτυακή υποδομή. Στην εργασία αυτή αναλύεται η χρησιμοποίηση του IP πάνω από διάφορους τύπους δικτυακών τεχνολογιών. Οι τύποι δικτύων που παρουσιάζονται είναι στην αιχμή της σύγχρονης τεχνολογίας και υπόκεινται σε συνεχή εξέλιξη.

Στο δεύτερο κεφάλαιο (IP over ATM) παρουσιάζεται η λειτουργία του IP πάνω από ATM δίκτυα. Αρχικά εξετάζονται δυο μοντέλα που χρησιμοποιούνται ευρέως για κυκλοφορία IP πακέτων πάνω από ATM δίκτυα. Στη συνέχεια εξετάζονται κάποιες βασικές έννοιες που βρίσκουν εφαρμογή στο πρόβλημα αυτό και συγκεκριμένες τεχνολογίες υλοποίησης, για τις οποίες αναφέρονται και τα μειονεκτήματα και πλεονεκτήματά τους.

Στο τρίτο κεφάλαιο (IP over SONET/SDH) εξετάζονται μέθοδοι υλοποίησης για λειτουργία του IP πρωτοκόλλου πάνω από σύγχρονα δίκτυα SONET/SDH. Συγκεκριμένα, μελετώνται δύο βασικές μέθοδοι και αναφέρονται τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά τους.

Στο τέταρτο κεφάλαιο (IP over DWDM) ασχολούμαστε με δίκτυα πολυπλεξίας σημάτων διαφορετικών μηκών κύματος (WDM) και πιο συγκεκριμένα με δίκτυα πυκνής πολυπλεξίας σημάτων διαφορετικών μηκών κύματος (DWDM). Αναφέρονται οι δυο βασικότερες μέθοδοι, οι οποίες σημειωτέον βρίσκονται σε εξέλιξη.

Φτάνοντας στο 5^ο κεφάλαιο γίνεται μια λεπτομερής περιγραφή του τρόπου που λειτουργεί το IP πάνω από τα ενσύρματα τοπικά δίκτυα, βασισμένοι στα RFC 1042 και IEEE 802.3, 4 και 5. Η περιγραφή περιλαμβάνει το ARP (Address Resolution Protocol) ενώ παρουσιάζονται τα MTU (Maximum Transmission Units) για κάθε διαφορετική τεχνολογία και συγκρίσεις διάφορων τύπων δικτύων. Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα wireless LANs, οι διάφοροι τύποι τους και οι διαφορές τους με τα wireline LANs. Ακόμα παρουσιάζονται αναλυτικά η λειτουργία του mobile IP (RFC 2002) και οι αλλαγές που θα επιφέρει η εμφάνιση του IPv6.

Στο 6^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι δορυφόροι, τα είδη και ο τρόπος λειτουργίας τους κάτω από IP καθώς και οι σύγχρονες εξελίξεις που αφορούν το συνδυασμό IP – δορυφόρων. Επίσης αναλύονται οι σημερινές σύγχρονες υπηρεσίες που προσφέρουν και ο τρόπος που γίνεται η δρομολόγηση. Τέλος παρουσιάζονται κάποια στατιστικά στοιχεία που παρουσιάζουν

την βασισμένη στο IP κίνηση στους δορυφόρους και κάποιες προβλέψεις ειδικών για το μέλλον τους.

Στο 7^ο και τελευταίο κεφάλαιο γίνεται μια συνοπτική παρουσίαση των mobile ad hoc δικτύων, του τρόπου λειτουργίας τους και των δυνατοτήτων που προσφέρουν συνεργαζόμενα με το IP. Ακόμα παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα χρησιμοποίησης σε αυτά δρομολόγησης IP επιπέδου .

Abstract

In recent years we all witness the vast spread of Internet around the world. This spread has become a reality due to the Internet Protocol (IP), while many scientists talk about a new era, era of “IP anywhere”. For this reason, IP protocol has been used over almost any existent network infrastructure. In this paper we analyze the use of IP over different types of network technologies. The network types that are presented are state-of-the art and undergo continuous development.

In chapter 2 (IP over ATM) we deal with the operation of IP over ATM networks. Firstly, we examine two models which have widespread use for IP packet transportation over ATM networks. Next, we examine some basic terms concerning this particular problem, as well as specific implementation technologies, whose advantages and disadvantages are also dealt with.

In chapter 3 (IP over SONET/SDH) we examine methods of IP implementation over synchronous SONET/SDH networks. Specifically, we deal with two basic methods and we also refer their advantages and disadvantages.

In chapter 4 (IP over DWDM) we study wavelength division multiplexing (WDM) networks; in fact we deal with their modern version, dense wavelength division multiplexing (DWDM) networks. Two basic methods are studied herein, which notably undergo extensive development.

In chapter 5 we discuss, based on RFC 1042 and IEEE 802.3, 4 and 5, in detail the mode of operation of IP over wired local networks. This description includes ARP (Address Resolution Protocol), while at the same time we present MTUs (Maximum Transmission Units) for different technologies and compare different types of networks. Next we deal with different types of wireless LANs and their differences when compared to wireline LANs. We also study in depth the mode of operation of mobile IP (RFC 2002) and the changes that IPv6 will bring.

In chapter 6 we deal with different kinds of satellites and their mode of operation under IP as well as the recent advancements that refer to the combination of IP – satellites. We also analyze the modern services they offer and the way the routing is done concerning satellites. Finally, there are some statistical data cited concerning the IP – based traffic in satellites; some experts' opinions are also referred as far as the future of satellites is concerned.

In chapter 7 we place a brief presentation of mobile ad hoc networks, their mode of operation and of the capabilities they offer when working together with IP. We also refer the advantages of using IP – level routing in these networks.

1 Εισαγωγή

Είναι γεγονός ότι η εξέλιξη των κοινωνιών του μέλλοντος θα περάσει μέσα από τα δίκτυα και τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Στον τομέα των δικτύων οι αλλαγές είναι ταχύτατες και επικεντρώνονται στην χρήση νέων τεχνολογιών που θα συνεργάζονται με το πρωτόκολλο IP του διαδικτύου. Η επικείμενη εμφάνιση του IPv6 δίνει στα δίκτυα νέες δυνατότητες και αναμένεται να προσφέρει στο μέλλον νέες υπηρεσίες..

Στην εργασία αυτή παρουσιάζονται οι τεχνολογίες δικτύων που χρησιμοποιούνται σε συνεργασία με το IP πρωτόκολλο του διαδικτύου. Αναλύονται σύγχρονες δικτυακές λύσεις ενσύρματες και ασύρματες, που μπορεί να βρίσκονται ακόμα σε στάδια εξέλιξης. Κατά την δημιουργία της καταβλήθηκε προσπάθεια να βασιστεί σε αναγνωρισμένα πρότυπα οργανισμών (IEEE και ETS) και να ληφθούν αξιοπιστές πηγές (όπως RFCs) και βιβλιογραφία. Αντλήθηκαν επίσης πληροφορίες από sites μεγάλων εταιρειών ώστε να είναι έγκυρες, σύγχρονες και αξιόπιστες.

2 IP over ATM

2.1 Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια η τεχνολογία ATM (Asynchronous Transfer Mode) έχει αρχίσει να κερδίζει ολοένα μεγαλύτερη δημοτικότητα, ενώ είναι σχεδόν βέβαιο ότι θα διαδραματίσει στο μέλλον τον σημαντικότερο ρόλο, κυρίως λόγω της εγγενούς δυνατότητάς της για μεταφορά πακέτων διαφορετικών πρωτοκόλλων και ιδίως πακέτων IP.

Στην παρούσα ενότητα θα ασχοληθούμε με αυτήν ακριβώς την δυνατότητα (την μετάδοση δηλαδή πακέτων IP μέσω ATM δικτύου ή, αλλιώς, IP over ATM). Πρέπει αρχικά να τονίσουμε ότι παρά το ότι κάτι τέτοιο είναι τεχνικά εφικτό, εν τούτοις υπάρχουν δύο σημαντικές διαφορές μεταξύ IP και ATM που καθιστούν την όλη διαδικασία δυσκολότερη [Xu]:

- η τεχνολογία ATM είναι προσανατολισμένη προς τη σύνδεση (connection oriented), πρέπει δηλαδή πριν από κάθε μεταφορά δεδομένων να προηγηθεί η δημιουργία μιας σύνδεσης μεταξύ πηγής και προορισμού. Αντίθετα, το πρωτόκολλο IP προσφέρει υπηρεσίες χωρίς σύνδεση (connectionless service), δεν απαιτείται δηλαδή εκ των προτέρων σύνδεση και κάθε πακέτο IP δρομολογείται πιθανώς μέσω διαφορετικών διαδρομών.
- τα δίκτυα ATM προσφέρουν ποιότητα υπηρεσίας (Quality of Service – QoS) που αφορά σε εξασφάλιση συγκεκριμένων απαιτήσεων σε παραμέτρους όπως το εύρος ζώνης και η καθυστέρηση. Η παρούσα έκδοση του IP (IPv4) δεν μπορεί να προσφέρει τέτοιες υπηρεσίες.

2.2 Μοντέλα για IP over ATM

Προτού ασχοληθούμε με συγκεκριμένες μεθόδους υλοποίησης για IP over ATM, πρέπει να εξετάσουμε τους τρόπους με τους οποίους μπορεί να γίνει η διευθυνσιοδότηση σε ένα ATM δίκτυο. Τα μοντέλα που έχουν αναπτυχθεί διαφέρουν στον τρόπο με τον οποίο συσχετίζονται τα πρωτόκολλα του ATM επιπέδου (ATM layer) με τα πρωτόκολλα (π.χ. IP, IPX, AppleTalk) του επιπέδου δικτύου (network layer). Έχουν προταθεί τα εξής δύο μοντέλα [Alles]:

- **Peer Model.** Τα υπάρχοντα πρωτόκολλα επιπέδου δικτύου (π.χ. IP, IPX, AppleTalk) έχουν το καθένα τον δικό τους τρόπο διευθυνσιοδότησης και χρησιμοποιούν συγκεκριμένα πρωτόκολλα για δρομολόγηση (π.χ. IGRP, OSPF [Dickie]). Προτάθηκε λοιπόν να χρησιμοποιούν και τα δίκτυα ATM τα πρωτόκολλα αυτά. Έτσι, οι ATM hosts θα αναγνωρίζονται βάσει υπάρχοντων

διευθύνσεων (όπως οι διευθύνσεις IP) και οι αιτήσεις σηματοδοσίας θα μεταφέρουν τέτοιες διευθύνσεις [RFC2331], ενώ οι ενδιάμεσοι μεταγωγείς (switches) θα δρομολογούν βάσει των υπαρχόντων πρωτοκόλλων.

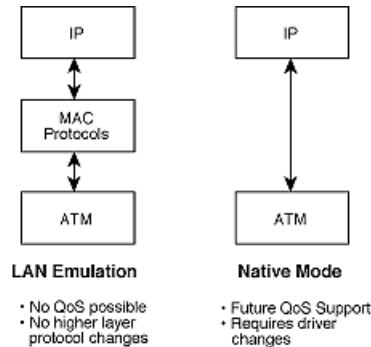
- **Overlay Model.** Στο μοντέλο αυτό διαχωρίζεται πλήρως το επίπεδο ATM (ATM layer) από οποιοδήποτε υπάρχον πρωτόκολλο επιπέδου δικτύου (network layer protocol) και πρωτόκολλο δρομολόγησης (routing protocol). Κατ' αυτό τον τρόπο, τα διάφορα πρωτόκολλα τρέχουν πάνω από το ATM δίκτυο (εξ ου και ο όρος overlay). Κάτι ανάλογο συμβαίνει και με τη δρομολόγηση IP πακέτων μέσω dial up συνδέσεων. Βέβαια, απαιτείται τώρα ο ορισμός μιας καινούριας μορφής διευθύνσεων (κάθε ATM μηχανήμα θα πρέπει να έχει και μια ATM διεύθυνση παράλληλα με οποιαδήποτε άλλη διεύθυνση όποιου τυχόν πρωτοκόλλου υποστηρίζει) καθώς και κάποιου πρωτοκόλλου δρομολόγησης. Δεδομένου δε ότι ο ATM χώρος διεθύνσεων (address space) θα είναι ανεξάρτητος από οποιονδήποτε άλλο χώρο διευθύνσεων τυχόν υποστηριζόμενου πρωτοκόλλου και δεν θα σχετίζεται με αυτόν, είναι αναγκαίο να υπάρχει και ένα πρωτόκολλο ανάλυσης διευθύνσεων (address resolution protocol), το οποίο θα αντιστοιχεί διευθύνσεις πρωτοκόλλων υψηλότερων επιπέδων (π.χ. IP διευθύνσεις) στις αντίστοιχες ATM διευθύνσεις.

Το βασικό πλεονέκτημα του peer μοντέλου είναι η έλλειψη αναγκαιότητας για ορισμό νέων πρωτοκόλλων και διευθύνσεων, καθώς και η αποφυγή για ανάλυση διευθύνσεων. Εξ αιτίας όμως ενός βασικού μειονεκτήματος, που είναι η αύξηση της πολυπλοκότητας των ATM μεταγωγών (ATM switches), μιας και αυτοί θα πρέπει στην ουσία να λειτουργούν ως δρομολογητές πολλαπλών πρωτοκόλλων (multiprotocol routers) και να διατηρούν πίνακες διευθύνσεων για κάθε υποστηριζόμενο πρωτόκολλο, επιλέχθηκε τελικά από τον οργανισμό ATM Forum το overlay μοντέλο. Ένας επιπλέον λόγος είναι ότι τα υπάρχοντα πρωτόκολλα δρομολόγησης δεν λειτουργούν καλά και δεν υποστηρίζουν υπηρεσίες QoS για ATM δίκτυα. Υπάρχει όμως και ένα σημαντικό πλεονέκτημα που απορρέει από την απόζευξη μεταξύ πρωτοκόλλων του ATM επιπέδου και πρωτοκόλλων διευθυνσιοδότησης και δρομολόγησης υψηλότερου επιπέδου και συνηγορεί στην υιοθέτηση του overlay μοντέλου: η ξεχωριστή ανάπτυξή τους. Στην αντίθετη περίπτωση, η ανάπτυξη εμπλεκόμενων μεταξύ τους πρωτοκόλλων θα οδηγούσε στην αργή εγκαθίδρυση της τεχνολογίας ATM.

2.3 Τεχνολογίες υλοποίησης IP over ATM

Οι ακόλουθοι τρόποι υλοποίησης IP over ATM στηρίζονται στο overlay μοντέλο που εξετάστηκε προηγουμένως.

Ουσιαστικά υπάρχουν δύο διαφορετικές λύσεις (Σχήμα 1) στο πρόβλημα που μας απασχολεί [Alles]:



Σχήμα 1

- **Native mode.** Στη μέθοδο αυτή χρησιμοποιούνται μηχανισμοί ανάλυσης διευθύνσεων (address resolution mechanisms) για την αντιστοίχιση διευθύνσεων επιπέδου δικτύου σε ATM διευθύνσεις. Κατόπιν αυτού, τα πακέτα επιπέδου δικτύου (network layer packets) μεταφέρονται μέσω του ATM δικτύου.
- **LAN Emulation (LANE).** Βάσει της μεθόδου αυτής γίνεται στην ουσία εξομοίωση ενός LAN δικτύου πάνω σε ένα ATM δίκτυο. Ειδικότερα, το πρωτόκολλο LANE ορίζει μηχανισμούς για την εξομοίωση δικτύων IEEE 802.3 Ethernet και IEEE 802.5 Token Ring.

Στις παρακάτω ενότητες θα επιχειρηθεί μια αναλυτικότερη παρουσίαση των δύο αυτών τεχνολογιών καθώς και κάποιων παραλλαγών τους.

2.3.1 Τεχνολογίες native mode

Βάσει της μεθόδου αυτής επιχειρείται η μεταφορά ενός πρωτοκόλλου επιπέδου δικτύου (όπως είναι το IP) πάνω από ένα δίκτυο ATM. Για τον σκοπό αυτό, είναι απαραίτητο να οριστούν δύο βασικές έννοιες:

- **Ενθυλάκωση δεδομένων (data encapsulation).** Πρόκειται για μια μέθοδο μεταφοράς διαφορετικών τύπων πακέτων επιπέδου δικτύου μέσω μιας ATM σύνδεσης (βασισμένης στο επίπεδο AAL 5). Υπάρχουν δύο διαφορετικοί τρόποι με τους οποίους μπορεί να επιτευχθεί αυτό [RFC1483]:

- i. *LLC/SNAP Encapsulation.* Βάσει της μεθόδου αυτής, διαφορετικά πρωτόκολλα (π.χ. IP, IPX, AppleTalk) μπορούν να μεταφερθούν μέσω της ίδιας VC (Virtual Circuit) σύνδεσης. Σε κάθε πακέτο προσαρτάται μια IEEE 802.2 LLC/SNAP κεφαλίδα (header), που το ορίζει, και κατόπιν αυτό ενθυλακώνεται σε ένα AAL 5 πλαίσιο (frame). Η μέθοδος αυτή είναι η εξ ορισμού μέθοδος ενθυλάκωσης για όλα τα πρωτόκολλα IP over ATM και χρησιμοποιείται κυρίως όταν δεν είναι οικονομικό να έχουμε πολλά VC εγκατεστημένα.

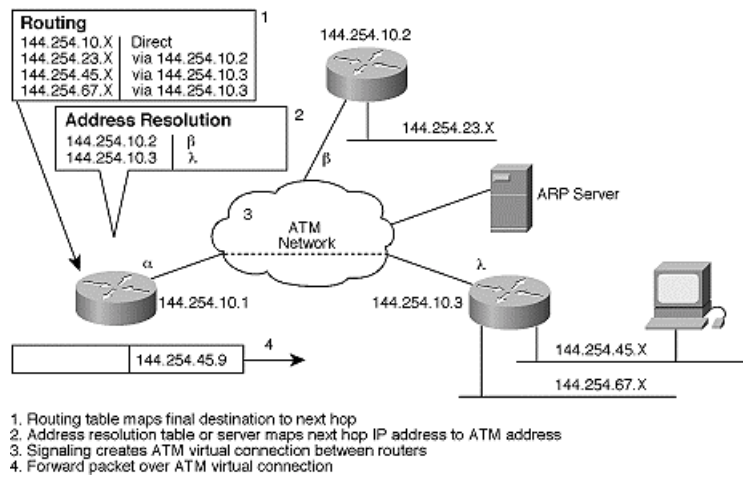
- ii. *VC Multiplexing.* Στη μέθοδο αυτή, μόνο ένα πρωτόκολλο μεταφέρεται σε μια VC σύνδεση. Ο τύπος του πακέτου ορίζεται κατά την διάρκεια εγκατάστασης της σύνδεσης (connection setup). Αποφεύγεται έτσι η χρήση μιας επιπλέον κεφαλίδας για την ταυτοποίηση του μεταφερόμενου πακέτου.

- **Ανάλυση διευθύνσεων (address resolution).** Βάσει του μηχανισμού αυτού γίνεται αντιστοίχιση IP σε ATM διευθύνσεις. Για παράδειγμα (δες Σχήμα 2), έστω ότι κάποιοι δρομολογητές συνδέονται σε ένα ATM δίκτυο. Αν ένας από αυτούς δεχθεί ένα πακέτο για δρομολόγηση, θα εξετάσει τον πίνακα δρομολόγησης (routing table) για να δει σε ποιόν δρομολογητή και μέσω ποιάς θύρας θα στείλει το πακέτο. Αν η προώθηση του πακέτου απαιτείται να γίνει μέσω μιας ATM διεπαφής (ATM interface), τότε θα πρέπει να εξεταστεί και ένας επιπλέον πίνακας αντιστοίχισης διευθύνσεων (address resolution table) για να αποφασισθεί η ATM διεύθυνση του επόμενου δρομολογητή.

2.3.1.1 Κλασσικό (classical) IP over ATM

Για την αυτόματη ενημέρωση του πίνακα ανάλυσης διευθύνσεων (address resolution table) έχει αναπτυχθεί μια μεθοδολογία που είναι γνωστή ως “classical IP over ATM” [RFC2225]. Η μέθοδος αυτή εισάγει και στηρίζεται στην έννοια του λογικού IP υποδικτύου (logical IP subnet, LIS) [Tanenbaum, RFC2225]. Εντελώς αντίστοιχα με το IP υποδίκτυο (IP subnet), ένα λογικό IP υποδίκτυο αποτελείται από μια ομάδα IP κόμβων (υπολογιστές και δρομολογητές) που συνδέονται τώρα σε ένα ATM δίκτυο. Η διαφορά με ένα IP υποδίκτυο είναι ότι οι κόμβοι ενός λογικού

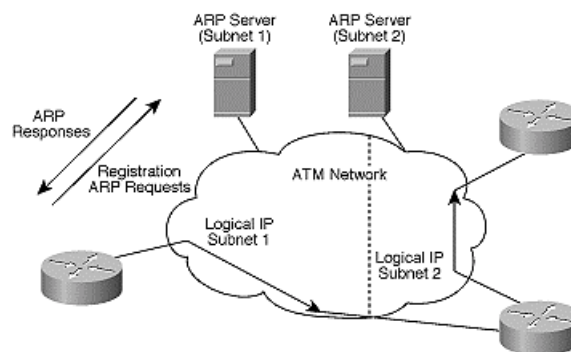
υποδικτύου μπορεί να ανήκουν σε διαφορετικά δίκτυα (π.χ. διαφορετικά LANs) δημιουργώντας στην ουσία εικονικά τοπικά δίκτυα (virtual LANs, VLANs).



Σχήμα 2

Οι περιορισμοί τους οποίους πρέπει να πληρεί μια τέτοια τοπολογία και οι οποίοι καθορίζουν τον τρόπο λειτουργίας του όλου συστήματος, είναι οι εξής [RFC2225]:

- Όλα τα μέλη ενός LIS έχουν τον ίδιο αριθμό δικτύου/υποδικτύου (network/subnet number) και την ίδια μάσκα διευθύνσεως (address mask). Κατ' αυτό τον τρόπο, τα LISs μοιάζουν με τα IP υποδίκτυα ενός LAN δικτύου. Η διαφορά όμως είναι ότι τα IP υποδίκτυα συνδέονται μεταξύ τους μέσω δρομολογητών (routers), ενώ τα LISs ανήκουν όλα στο ίδιο ATM δίκτυο (δες Σχήμα 3).



Σχήμα 3

- Όλα τα μέλη ενός LIS υποδικτύου πρέπει να συνδέονται με το ATM δίκτυο.

- Όλα τα μέλη ενός LIS υποδικτύου πρέπει να έχουν ένα μηχανισμό για την αντιστοίχιση IP διευθύνσεων σε ATM διευθύνσεις (και αντίστροφα) όταν χρησιμοποιούνται μεταγωγίμα νοητά κυκλώματα (switched virtual circuits, SVCs) [RFC826, RFC1293].
- Όλα τα μέλη ενός LIS υποδικτύου πρέπει να έχουν ένα μηχανισμό για την αντιστοίχιση αριθμών νοητών κυκλωμάτων (virtual circuits, VCs) σε IP διευθύνσεις [RFC1293] όταν χρησιμοποιούνται μόνιμα νοητά κυκλώματα (permanent virtual circuits, PVCs).
- Όλα τα μέλη ενός LIS υποδικτύου πρέπει να μπορούν να επικοινωνούν απευθείας με οποιοδήποτε άλλο μέλος του ίδιου LIS μέσω του ATM δικτύου· δηλαδή όλα τα μέλη του ίδιου LIS πρέπει να συνδέονται μεταξύ τους με νοητά κυκλώματα (VCs) δημιουργώντας μια fully meshed τοπολογία.

Κάθε LIS υποδίκτυο έχει έναν ATMARP (ATM address resolution protocol) server, ο οποίος δέχεται αιτήσεις για ανάλυση διευθύνσεων από τους κόμβους (πελάτες ή δρομολογητές) του LIS. Για να γίνει αυτό, κάθε LIS κόμβος γνωρίζει εκ των προτέρων την ATM διεύθυνση του ATMARP server. Όταν ένας νέος κόμβος συνδεθεί στο LIS υποδίκτυο, εγκαθιστά αμέσως μια σύνδεση με τον ATMARP server. Όταν ο τελευταίος αντιληφθεί την σύνδεση με τον νέο κόμβο, στέλνει σε αυτόν μια αίτηση με την οποία ζητά την ATM και την αντίστοιχη IP διεύθυνσή του. Έτσι, ο ATMARP server έχει καταχωρημένα σε ένα πίνακα ζεύγη της μορφής {IP address, ATM address}. Οι κόμβοι (πελάτες ή δρομολογητές) του ATM δικτύου επικοινωνούν με τους άλλους κόμβους χρησιμοποιώντας IP διευθύνσεις.

Αν ένας κόμβος-πηγή του LIS υποδικτύου επιθυμεί επικοινωνία με κάποιον άλλο κόμβο-προορισμό **που βρίσκεται στο ίδιο LIS υποδίκτυο**, στέλνει στον ATMARP server την IP διεύθυνση του προορισμού και ζητά την εύρεση της αντίστοιχης ATM διεύθυνσης του. Αν η διεύθυνση αυτή βρεθεί, ο ATMARP server την στέλνει στον κόμβο-πηγή, αλλιώς στέλνει μήνυμα αδυναμίας εύρεσης της. Από τη στιγμή που ο κόμβος-πηγή λαμβάνει την ATM διεύθυνση του προορισμού, μπορεί να εγκαταστήσει μια VC (virtual circuit) σύνδεση με αυτόν.

Αν ένας κόμβος-πηγή του LIS υποδικτύου επιθυμεί επικοινωνία με κάποιον άλλο κόμβο-προορισμό **που βρίσκεται σε διαφορετικό LIS υποδίκτυο**, τότε θα πρέπει να στείλει την αίτηση στον δρομολογητή (router) που βρίσκεται στο υποδίκτυό του. Αν ο δρομολογητής αυτός βρίσκεται και στο LIS υποδίκτυο του κόμβου προορισμού (όπως είναι φυσικό, τα LIS υποδίκτυα μοιράζονται από έναν τουλάχιστο δρομολογητή), τότε αρχίζει η διαδικασία της σύνδεσης μεταξύ πηγής και προορισμού. Αλλιώς, ακολουθούνται οι ενδιάμεσοι δρομολογητές έως ότου βρεθεί η πηγή.

Από την τελευταία αυτή διαδικασία προκύπτει και το βασικό μειονέκτημα της κλασσικής μεθόδου για IP over ATM. Πράγματι, αν και θα ήταν δυνατό δυο μηχανές που ανήκουν σε διαφορετικά LIS υποδίκτυα να επικοινωνήσουν εγκαθιστώντας μεταξύ τους μια απευθείας σύνδεση – αφού ανήκουν στο ίδιο ATM δίκτυο – εν τούτοις (όπως είδαμε παραπάνω) θα πρέπει για κάθε πακέτο που ανταλλάσσεται μεταξύ των δύο κόμβων να μεσολαβούν οι ενδιάμεσοι δρομολογητές, που εισάγουν όμως επιπλέον πληροφορία ελέγχου (overhead) και καθυστέρηση (delay). Για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα αυτό έχει αναπτυχθεί μια παραλλαγή της κλασσικής μεθόδου, η οποία εξετάζεται παρακάτω.

2.3.1.2 Μέθοδος NHRP

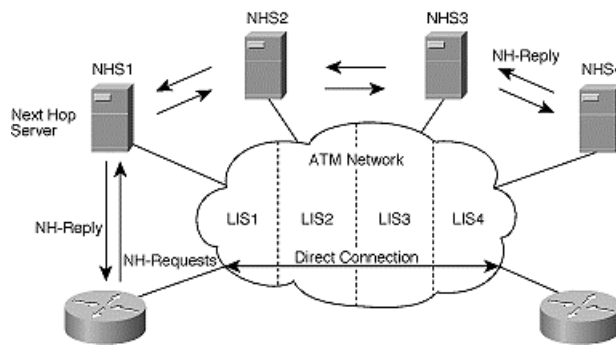
Στην προηγούμενη ενότητα εξετάστηκε το βασικό μειονέκτημα της κλασσικής μεθόδου για IP over ATM.

Για την αντιμετώπισή του προβλήματος αυτού εφαρμόζεται η μέθοδος NHRP (next hop resolution protocol) [RFC2332].

Σε ένα NHRP σύστημα υπάρχουν δυο βασικές οντότητες: οι NHRP εξυπηρέτες (NHRP servers, NHSs) και οι NHRP πελάτες (NHRP clients, NHCs). Κάθε LIS υποδίκτυο έχει τουλάχιστον έναν NHRP server, ενώ οι κόμβοι (υπολογιστές ή δρομολογητές) είναι οι NHRP clients. Όταν ένας πελάτης θέλει να αναλύσει μια IP διεύθυνση, στέλνει μια αίτηση στον NHS του υποδικτύου του. Ένας τώρα NHS μπορεί να εξυπηρετεί περισσότερα από ένα LIS υποδίκτυα και διατηρεί πίνακα της μορφής {IP address, ATM address} για όλες τις μηχανές που ανήκουν στα υποδίκτυα που εξυπηρετεί.

Αν η προς ανάλυση IP διεύθυνση **ανήκει σε ένα από αυτά τα υποδίκτυα** και υπάρχει ανάλογη καταχώρηση στον παραπάνω πίνακα, ο NHS στέλνει στην μηχανή που έκανε την αίτηση την αντίστοιχη ATM διεύθυνση. Αν δεν υπάρχει καταχώρηση, ο NHS στέλνει αρνητική απάντηση.

Αν η προς ανάλυση IP διεύθυνση **δεν ανήκει σε ένα από τα υποδίκτυα τα οποία εξυπηρετεί ο NHS**, τότε ο τελευταίος προωθεί την αίτηση στον NHS που εξυπηρετεί το υποδίκτυο στο οποίο ανήκει η διεύθυνση αυτή (δες και Σχήμα 4).

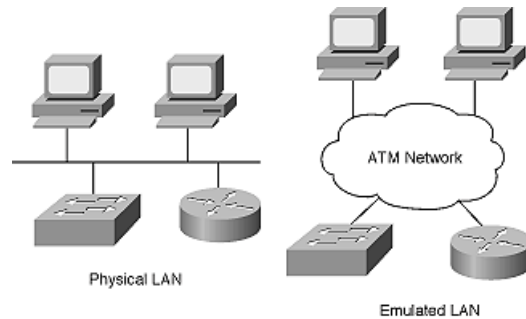


Σχήμα 4

Η δυνατότητα αυτή υπάρχει, μιας και οι NHS servers ενός ATM δικτύου έχουν εκ των προτέρων γνωστές μεταξύ τους συνδέσεις και μάλιστα επικοινωνούν μεταξύ τους με πρωτόκολλα δρομολόγησης όπως το OSPF (όπως και οι IP δρομολογητές). Ο τελικός NHS θα στείλει στον αρχικό αιτούντα κόμβο μέσω της αντίστροφης διαδρομής (μέσω δηλαδή των ενδιάμεσων NHS servers) την ζητούμενη ATM διεύθυνση. (Αρα κάθε ενδιάμεσος NHS θα ενημερώσει και τον πίνακα που διατηρεί έτσι ώστε μελλοντικές αναφορές στην ίδια IP διεύθυνση να μπορούν να αναλυθούν αμέσως). Από τη στιγμή που η αρχική μηχανή λαμβάνει την ATM διεύθυνση της μηχανής με την οποία θέλει να επικοινωνήσει, μπορεί να εγκαταστήσει μια απευθείας σύνδεση με αυτή για την ανταλλαγή IP πακέτων. (Στην κλασική μέθοδο της προηγούμενης ενότητας, η δρομολόγηση κάθε πακέτου θα έπρεπε να γίνεται μέσω των ενδιάμεσων δρομολογητών).

2.3.2 LAN Emulation (LANE)

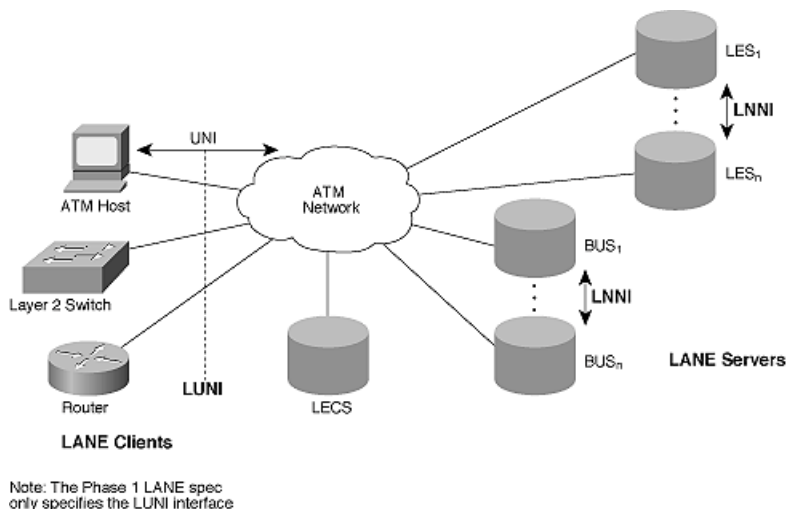
Βάσει της μεθόδου αυτής γίνεται προσομοίωση ενός τοπικού δικτύου (LAN) Ethernet ή Token Ring πάνω σε ένα δίκτυο ATM. Το δίκτυο που προκύπτει ονομάζεται ELAN (emulated LAN). Πιο αναλυτικά (δες και Σχήμα 1), το πρωτόκολλο LANE ορίζει μια υπηρεσία (service) για το επίπεδο δικτύου (network layer) η οποία είναι ίδια με αυτή που προσφέρεται από τα αντίστοιχα υπάρχοντα πρωτόκολλα των LAN δικτύων. Έτσι, στην ουσία, οι IP εφαρμογές που τρέχουν σε LAN δίκτυα μπορούν να εκτελεστούν χωρίς καμμία τροποποίηση και σε ATM δίκτυα (Σχήμα 5).



Σχήμα 5

Οι οντότητες που αποτελούν ένα ELAN είναι οι εξής (Σχήμα 6) [Alles]:

- **LAN Emulation Client (LEC).** Μια οντότητα LEC (πελάτης) τρέχει σε κάθε μηχανή που ανήκει στο ELAN δίκτυο εξομοιώνοντας έναν Ethernet ή Token Ring κόμβο. Κάθε τέτοια οντότητα έχει μια MAC διεύθυνση και επικοινωνεί με μια οντότητα LES (δες παρακάτω) για την αντιστοίχιση μεταξύ MAC και ATM διευθύνσεων. Η οντότητα αυτή προσφέρει στο επίπεδο δικτύου (network layer) υπηρεσίες (services) ανάλογες με αυτές ενός Ethernet ή Token Ring δικτύου, ενθυλακώνοντας τα εξερχόμενα IP πακέτα σε πλαίσια (frames) του ELAN δικτύου και εξάγοντας από τα εισερχόμενα ELAN πλαίσια τα IP πακέτα.
- **LAN Emulation Server (LES).** Σε κάθε ELAN δίκτυο υπάρχει μια μηχανή LES που διατηρεί έναν πίνακα με ζεύγη της μορφής {MAC address, ATM address} για κάθε μηχανή LEC.
- **Broadcast and Unknown Server (BUS).** Κάθε ELAN δίκτυο έχει μια μηχανή BUS με τη βοήθεια της οποίας εξομοιώνεται η δυνατότητα που έχει ένα LAN δίκτυο για broadcasting. Κάθε πελάτης LEC που θέλει να κάνει broadcasting, στέλνει τα πακέτα σε μια μηχανή BUS η οποία στη συνέχεια τα προωθεί σε κάθε μέλος ενός ELAN. Επίσης, πριν την εγκατάσταση της απευθείας σύνδεσης δύο LEC πελατών, η μεταξύ τους ανταλλαγή μηνυμάτων γίνεται μέσω ενός BUS server.



Σχήμα 6

- **LAN Emulation Configuration Server (LECS).** Σε περίπτωση που υπάρχουν πάνω σε ένα ATM δίκτυο περισσότερα από ένα ELAN δίκτυα, ο LECS εξυπηρετής διατηρεί τις πληροφορίες (configuration) για κάθε LES, LEC και BUS μηχανή καθενός ELAN δικτύου.

Οι διαδικασίες που επιτελούνται για την έναρξη λειτουργίας ενός ELAN δικτύου είναι οι ακόλουθες [Alles]:

- Configuration (ρύθμιση).** Κάθε LEC επικοινωνεί με τον LECS για να μάθει σε ποιά ELAN δίκτυα ανήκει καθώς και την διεύθυνση των αντίστοιχων LES και BUS εξυπηρετών του κάθε ELAN δικτύου. Τρεις τρόποι υπάρχουν για την σύνδεση ενός LEC με τον LECS: πρώτον, η ATM διεύθυνση του LECS είναι γνωστή εξ αρχής σε κάθε LEC, δεύτερον, κάθε LEC έχει μια σταθερή σύνδεση (VC) με τον LECS και τρίτον, μέσω του πρωτοκόλλου ILMI (του οποίου η ανάλυση ξεφεύγει από τους σκοπούς της παρούσας εργασίας).
- Registration (καταχώρηση).** Γνωρίζοντας τώρα ο LEC την ATM διεύθυνση του LES εξυπηρετή του ELAN δικτύου στο οποίο ανήκει, στέλνει στον τελευταίο την MAC και την ATM διεύθυνσή του. Ο LES εξυπηρετής με τη σειρά του θα καταχωρήσει στον πίνακα αντιστοίχισης διευθύνσεων (address resolution table) αυτό το ζεύγος διευθύνσεων και θα εγκαταστήσει μερικές συνδέσεις (VCs) με τον LEC πελάτη για την μεταφορά δεδομένων και πληροφοριών ελέγχου.
- BUS connection (σύνδεση με τον BUS εξυπηρετή).** Χρησιμοποιώντας την ATM διεύθυνση της μηχανής BUS (γνωστή από το βήμα (i)), ο LES πελάτης εγκαθιστά μια σύνδεση με την τελευταία για την μεταφορά broadcast δεδομένων στο ELAN δίκτυο.

iv. **Data transfer (μεταφορά δεδομένων).** Όταν ένας πελάτης LEC θέλει να στείλει δεδομένα σε έναν άλλο LEC πελάτη, ζητά από τον LES εξυπηρέτη την ATM διεύθυνση του. Αφού τη λάβει, εγκαθιστά μια απ' ευθείας σύνδεση με τον LEC πελάτη. Τα πλαίσια (frames) Ethernet ή Token Ring μεταφέρονται μεταξύ των δύο πελατών ενθυλακωμένα σε πλαίσια επιπέδου AAL 5 με LLC/SNAP ενθυλάκωση (δες προηγούμενα). Σε περίπτωση μετάδοσης ενός broadcast μηνύματος, ο LEC πελάτης στέλνει τα αντίστοιχα πακέτα στον BUS εξυπηρέτη, ο οποίος με τη σειρά του τα προωθεί σε κάθε μέλος του ELAN.

2.3.2.1 MultiProtocol over ATM (MPOA)

Το βασικό μειονέκτημα της LANE μεθόδου είναι ότι, αν και πελάτες LECs που ανήκουν στο ίδιο ELAN επικοινωνούν μεταξύ τους με απ' ευθείας συνδέσεις, πελάτες LECs που ανήκουν σε διαφορετικά ELANs πρέπει να επικοινωνούν μέσω δρομολογητών. (Το πρόβλημα είναι ανάλογο με αυτό που έχει η κλασική μέθοδος για IP over ATM). Συνοπτικά αναφέρουμε ότι για την επίλυση του προβλήματος αυτού αναπτύχθηκε το πρωτόκολλο MPOA (multiprotocol over ATM) που είναι στην ουσία ένας συνδυασμός μεταξύ της μεθόδου LANE και του πρωτοκόλλου NHRP που εξετάστηκε παραπάνω. (Για περισσότερες πληροφορίες δες [Finn, Ginsburg]).

3 IP over SONET/SDH

3.1 Εισαγωγή

Η ολοένα αυξανόμενη κίνηση δεδομένων μέσω Internet (διπλασιασμός των μεταφερόμενων δεδομένων κάθε έξι μήνες) θα οδηγήσει – σύμφωνα με συντηρητικούς υπολογισμούς – σε συνολικούς ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων της τάξης των 35 Tb/s μέχρι το 2001 και 280 Tb/s μέχρι το 2005 [Shariff].

Γίνεται λοιπόν φανερή η ανάγκη για την αύξηση της ταχύτητας μεταφοράς δεδομένων, έτσι ώστε ο τελικός χρήστης να έχει πρόσβαση σε μια πληθώρα νέων υπηρεσιών.

Μια τεχνολογία που επιτρέπει μια τέτοια αύξηση είναι η τεχνολογία IP over SONET/SDH ή με άλλα λόγια, η μεταφορά IP πακέτων πάνω από το φυσικό επίπεδο που ορίζουν τα πρότυπα SONET (Synchronous Optical Network) και SDH (Synchronous Digital Hierarchy). Η τεχνολογία SONET/SDH επιτρέπει τέτοιου είδους χειρισμούς, καθώς η επιπλέον πληροφορία ελέγχου (overhead) του κάθε πλαισίου (frame) διευκολύνει την μεταφορά πληροφορίας πρωτοκόλλων όπως τα ATM, FDDI και IP.

Πρέπει εδώ να τονίσουμε ότι αν και κάθε ένα από τα πρότυπα αυτά έχει οριστεί από διαφορετικούς οργανισμούς (η ANSI έχει προτυποποιήσει το SONET [T1.105] και η CCITT – ή αλλιώς ITU-T – το SDH [G.707]), εν τούτοις οι διαφορές μεταξύ τους είναι μικρές και για αυτό θα αναφερόμαστε στο εξής από κοινού και στα δύο με το όνομα SONET.

3.2 Τεχνολογίες υλοποίησης IP over SONET

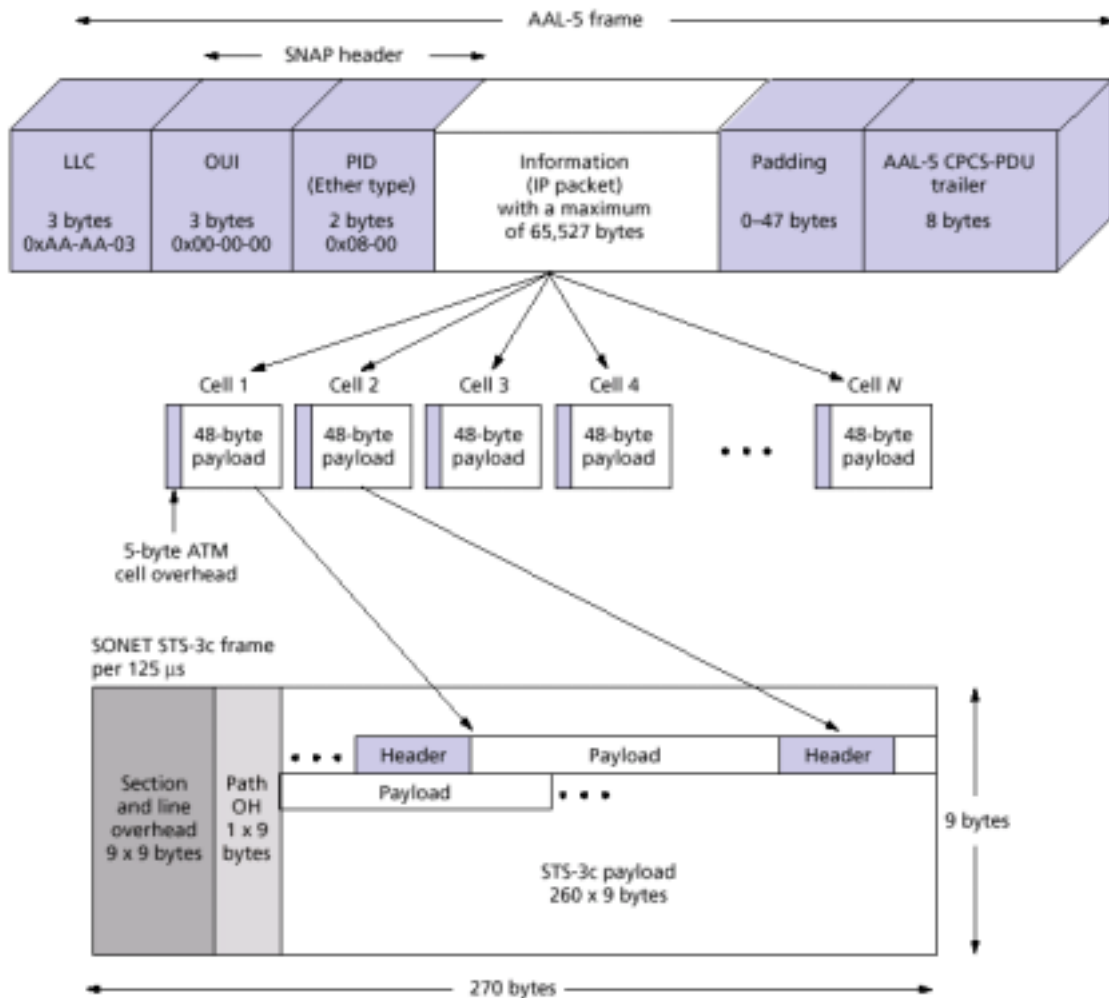
Υπάρχουν στην ουσία δύο τρόποι με τους οποίους μπορούμε να μεταφέρουμε IP πακέτα πάνω από ένα δίκτυο SONET:

- **IP over ATM over SONET.** Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί έναν έμμεσο τρόπο για την μεταφορά IP κυκλοφορίας σε δίκτυο SONET. Αρχικά, τα IP πακέτα τροποποιούνται έτσι ώστε να μπορούν να μεταφερθούν μέσω ATM πλαισίων (βάσει της κλασσικής μεθόδου που εξετάστηκε προηγουμένως) και κατόπιν τα πλαίσια (cells) αυτά μεταφέρονται από το SONET δίκτυο.
- **IP directly over SONET.** Βάσει της μεθόδου αυτής, τα IP πακέτα μεταφέρονται εξ αρχής, χωρίς καμμία ενδιάμεση μετατροπή, από το δίκτυο SONET.

Παρακάτω θα εξεταστεί κάθε μια από τις προσεγγίσεις αυτές.

3.2.1 IP over ATM over SONET

Η μέθοδος αυτή υλοποιείται σε τρία στάδια (δες Σχήμα 7) [Anderson]:



Σχήμα 7

- Κάθε IP πακέτο ενσωματώνεται σύμφωνα με την κλασσική μέθοδο για IP over ATM σε ένα πλαίσιο του επιπέδου AAL 5 (ATM Adaptation Layer 5) χρησιμοποιώντας ενθυλάκωση LLC/SNAP.
- Το υποεπίπεδο κατάρτησης και επανασυναρμολόγησης (segmentation and reassembly sublayer) [Tanenbaum, Suzuki] του επιπέδου AAL 5 κατατμήνει το παραπάνω πλαίσιο σε

ομάδες των 48 bytes. Το επίπεδο ATM με τη σειρά του παραλαμβάνει τις ομάδες αυτές και προσθέτει σε κάθε μια μια κεφαλίδα (header) μήκους 5 bytes δημιουργώντας έτσι πλαίσια ATM (ATM cells) των 53 bytes.

iii. Τα ATM πλαίσια (ATM cells) ενσωματώνονται εν τέλει σε ένα πλαίσιο SONET (SONET frame) και μεταφέρονται.

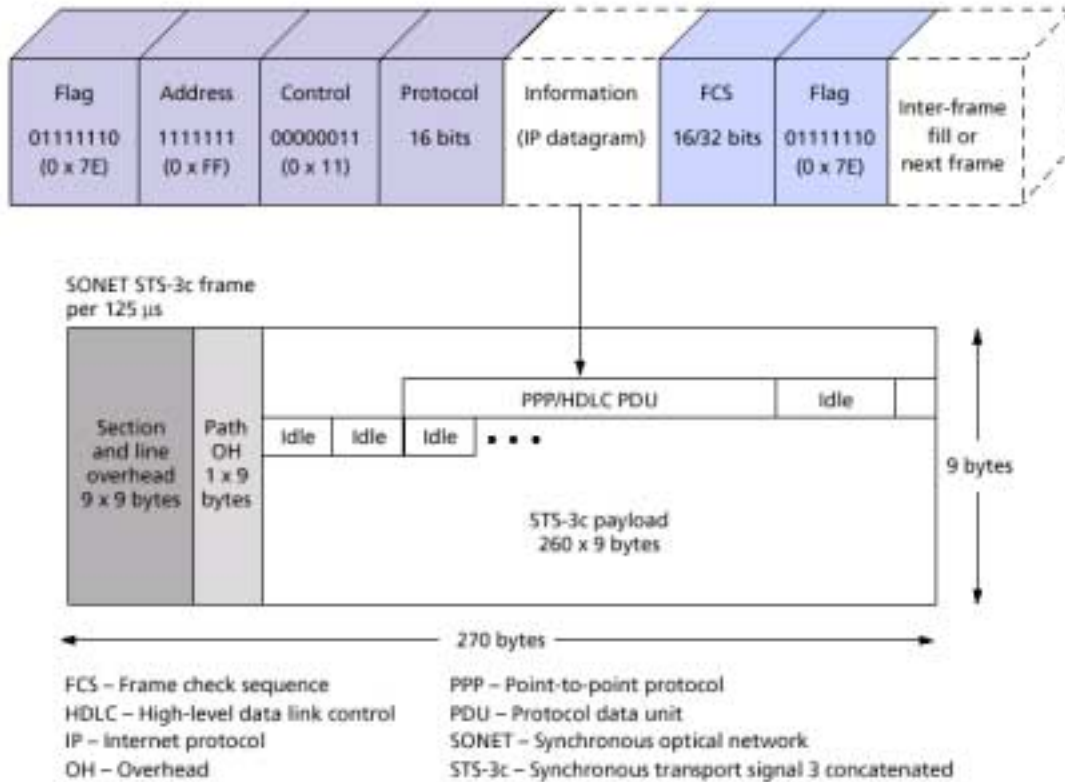
Βάσει της μεθόδου αυτής επιτυγχάνονται ρυθμοί μεταφοράς της τάξης των 155 Mb/s (ιεραρχικό επίπεδο OC-3) και 622 Mb/s (ιεραρχικό επίπεδο OC-12).

Παρά το ότι η μέθοδος αυτή συνδυάζει πλεονεκτήματα των τεχνολογιών SONET (δυνατότητες διαχείρισης απόδοσης – performance management – και σφαλμάτων σε επίπεδο μονοπατιού – path level fault management) και ATM (δυναμικός διαμοιρασμός εύρους ζώνης στα νοητά κυκλώματα – virtual circuits), έχει εν τούτοις ένα βασικό μειονέκτημα: η επιπλέον πληροφορία που απαιτείται (overhead) είναι ίση με 18% έως 25% επιπροσθέτως του 4% που απαιτείται εξ ορισμού για το SONET [Anderson]. Για το λόγο αυτό έχει αναπτυχθεί μια μέθοδος για απ' ευθείας μεταφορά IP πακέτων πάνω από δίκτυα SONET (IP directly over SONET).

3.2.2 IP directly over SONET

Η μέθοδος βάσει της οποίας μπορούν να μεταφερθούν IP πακέτα απ' ευθείας πάνω από δίκτυα SONET, χωρίς δηλαδή τη διαμεσολάβηση ATM επιπέδων, διατηρεί τα περισσότερα από τα πλεονεκτήματα της έμμεσης μεθόδου, ενώ παράλληλα επιτρέπει ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων της τάξης των 2.5 Gb/s (ιεραρχικό επίπεδο OC-48) [Anderson]. Τέτοιες ταχύτητες είναι δύσκολο να επιτευχθούν όταν εφαρμόζεται η προηγούμενη μέθοδος, γιατί τότε, το υποεπίπεδο κατάρτισης και επανασυναρμολόγησης (segmentation and reassembly sublayer) του ATM δικτύου αρχίζει να εμφανίζει αυξανόμενη πολυπλοκότητα.

Η μέθοδος IP directly over SONET συνίσταται στα εξής (Σχήμα 8) [Manchester, RFC1619]: η πληροφορία IP (IP datagrams) ενθυλακώνεται σε PPP (point-to-point protocol) πλαίσια. (Το πρωτόκολλο PPP επιτρέπει την μεταφορά πακέτων διαφορετικών



Σχήμα 8

πρωτοκόλλων ανωτέρων επιπέδων, όπως το IP). Τα πλαίσια αυτά (που κατατμήνονται σύμφωνα με τον τρόπο που ορίζει το πρωτόκολλο HDLC [RFC1662]) ενσωματώνονται τελικά σε πλαίσια SONET και μεταφέρονται.

Το βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής σε σχέση με την προηγούμενη είναι (όπως αναφέρθηκε) η δυνατότητα για επίτευξη μεγαλύτερων ταχυτήτων μεταφοράς δεδομένων, καθώς και η μείωση της απαιτούμενης επιπλέον πληροφορίας ελέγχου (overhead 2% σε σχέση με 18% έως 25% της προηγούμενης μεθόδου). Εν τούτοις, βάσει της μεθόδου αυτής δεν μπορεί να γίνει διαχείριση του εύρους ζώνης (bandwidth) της σύνδεσης (link) μεταξύ δύο μηχανών ενός δικτύου SONET, γιατί για την μεταφορά δεδομένων θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί όλο το διαθέσιμο εύρος ζώνης (έστω και αν ο όγκος των δεδομένων δεν απαιτεί κάτι τέτοιο). Αντίθετα, στην προηγούμενη μέθοδο (IP over ATM over SONET) κάτι τέτοιο είναι εφικτό χάρη στην έννοια του νοητού κυκλώματος (virtual circuit) [Anderson].

4 IP over DWDM

4.1 Εισαγωγή

Η τεχνολογία DWDM (dense wavelength division multiplexing) είναι η περισσότερα υποσχόμενη τεχνολογία για μεταφορά δεδομένων μέσα από οπτικές ίνες και αποτελεί σίγουρα μονόδρομο για την υλοποίηση σχεδίων όπως το Gigabit Internet.

Η τεχνολογία αυτή συνίσταται στην πολυπλεξία (multiplexing) σημάτων διαφορετικού μήκους κύματος (wavelength) και στην μετάδοσή τους μέσω μιας μόνο οπτικής ίνας. Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι η αύξηση του συνολικού ρυθμού μεταφοράς δεδομένων ανά οπτική ίνα, που προκύπτει από την άθροιση των ρυθμών μεταφοράς κάθε σήματος διαφορετικού μήκους κύματος. Ενδεικτικά, αναφέρουμε ότι με τα σημερινά δεδομένα είναι δυνατή η πολυπλεξία σαράντα τέτοιων σημάτων σε μια και μόνο οπτική ίνα, κάθε ένα από τα οποία μπορεί να μεταφέρει δεδομένα με ρυθμό 10 Gb/s, κάτι που οδηγεί σε συνολικό ρυθμό μεταφοράς δεδομένων ίσο με 400 Gb/s. Σε πειραματικό, μάλιστα, επίπεδο έχουν επιτευχθεί ρυθμοί μεταφοράς δεδομένων της τάξης των Tb/s [Kartalopoulos].

Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί ότι στα αρχικά στάδια η τεχνολογία αυτή είχε την ονομασία WDM (wavelength division multiplexing) και ήταν δυνατόν να πολυπλεχθούν λιγότερα από σαράντα σήματα διαφορετικού μήκους κύματος. Σε κατοπινά στάδια (και μέχρι σήμερα) έγινε εφικτή η πολυπλεξία περισσότερων τέτοιων σημάτων, κάτι που οδήγησε στην αλλαγή της ονομασίας σε DWDM, όπου “D” είναι το αρχικό γράμμα της λέξης “dense”, δηλαδή “πυκνός”. Η εννοιολογία είναι προφανής.

Η παραπάνω διαδικασία μπορεί να ειπωθεί ως μεταφορά πληροφορίας μέσω οπτικών καναλιών (optical channels), τα οποία έχουν ένα κοινό μέσο μεταφοράς: την οπτική ίνα. Έτσι είναι δυνατή η αύξηση και η καλύτερη διαχείριση της χωρητικότητας των ήδη υπάρχοντων οπτικών ινών, χωρίς να είναι απαραίτητη η εγκατάσταση νέων. Γίνεται λοιπόν δυνατή, η επέκταση των δυνατοτήτων των ήδη εγκατεστημένων δικτυακών υποδομών, χωρίς να είναι αναγκαία η προσφυγή σε δαπανηρές λύσεις.

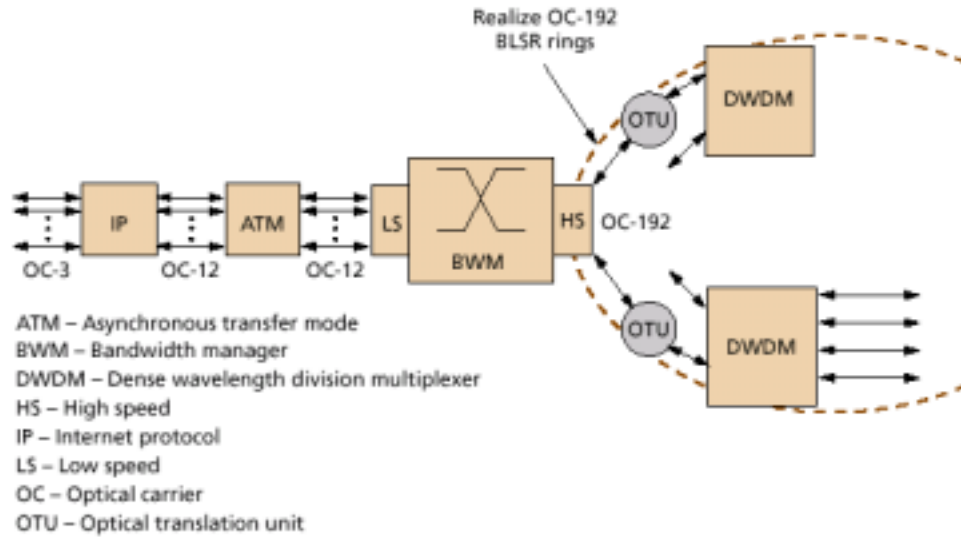
Από τα παραπάνω καθίσταται προφανές ότι η δυνατότητα για μεταφορά IP πακέτων πάνω από δίκτυα DWDM, δύο τεχνικών που η κάθε μια στον τομέα της αποτελεί την πιο ολοκληρωμένη λύση, θα διαδραματίσει στο μέλλον – κατά πάσα πιθανότητα – τον σημαντικότερο ρόλο, όσον αφορά σε μεθόδους για γρήγορη μεταφορά δεδομένων με ταυτόχρονη ενοποίηση των υπάρχοντων δικτύων.

4.2 IP over DWDM

Αν και η ιδέα για μεταφορά IP πακέτων με την απ' ευθείας ενσωμάτωσή τους σε σήματα κάθε ένα από τα οποία έχει το δικό του μήκος κύματος (για συντομία θα αναφέρουμε τα σήματα αυτά ως wavelengths) είναι ελκυστική, εν τούτοις στην παρούσα φάση κάτι τέτοιο δεν είναι εφικτό. Η όλη ιδέα, δηλαδή, που στηρίζεται στην παράκαμψη των ενδιάμεσων επιπέδων (layers) και στην άμεση απεικόνιση της IP πληροφορίας στο φυσικό επίπεδο, είναι αδύνατον να υλοποιηθεί, τουλάχιστον άμεσα. Για την λύση στο πρόβλημα αυτό έχουν προταθεί διάφορες έμμεσες μέθοδοι (οι περισσότερες εκ των οποίων βρίσκονται ακόμα σε αρχικά στάδια). Οι δυο σημαντικότερες εξετάζονται στις επόμενες ενότητες [Doshi].

4.2.1 IP over ATM over SONET over DWDM

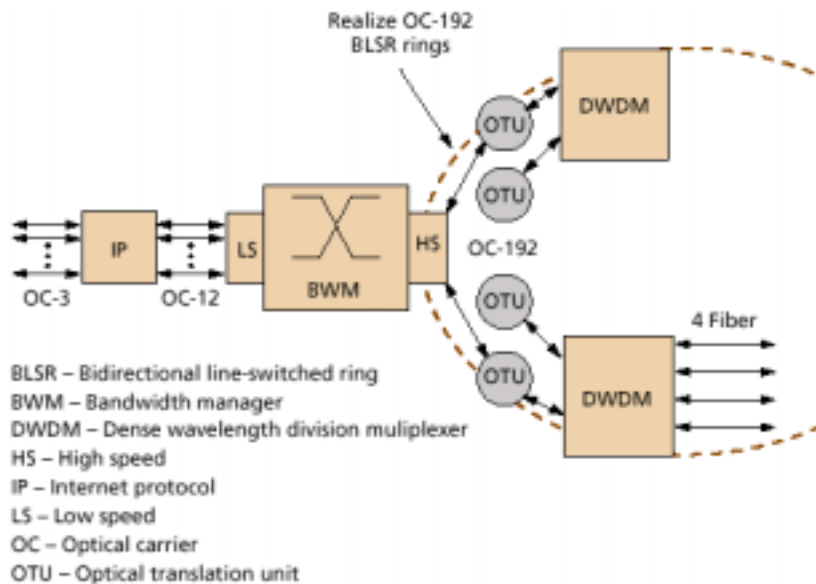
Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στην μέθοδο της προηγούμενης ενότητας για μεταφορά IP πακέτων πάνω από δίκτυα SONET με την ενδιάμεση ενθυλάκωσή τους σε πλαίσια του επιπέδου AAL 5 του ATM μοντέλου. Αναφερόμενοι στο Σχήμα 9 που αναπαριστά ένα κομβικό σημείο σε μια τέτοια τοπολογία, παρατηρούμε κατ' αρχάς ότι η πληροφορία μεταδίδεται μέσω ενός SONET δικατευθυνόμενου (bidirectional) δακτυλίου (BLSR ring) που υλοποιείται με την παρεμβολή ενδιάμεσων DWDM πολυπλεκτών/αποπολυπλεκτών [Stern]. Η μετατροπή της πληροφορίας από τη μια οπτική μορφή στην άλλη πραγματοποιείται στις μονάδες οπτικής μετάφρασης (OTUs – optical translation units), οι οποίες σε συνδυασμό με τους DWDM πολυπλέκτες/αποπολυπλέκτες οδηγούν στην πολυπλεξία/αποπολυπλεξία των σημάτων στις οπτικές ίνες. Η μονάδα διαχείρισης εύρους ζώνης (BWM – bandwidth manager) συνδυάζει σε μια δομική μονάδα λειτουργίες ψηφιακού διακόπτη (DCS – digital cross-connect system) και πολυπλέκτη εισαγωγής/αφαίρεσης σημάτων (ADM – add-drop multiplexer). Επίσης, στο σχήμα φαίνονται και οι ενδιάμεσοι IP και ATM μεταγωγείς (switches ή routers).



Σχήμα 9

4.2.2 IP over SONET over DWDM

Η μέθοδος αυτή (Σχήμα 10) στηρίζεται με τη σειρά της στην μέθοδο για μεταφορά IP πακέτων απ' ευθείας πάνω από δίκτυο SONET (IP directly over SONET), με την ενθυλάκωσή τους σε PPP (point-to-point) πλαίσια. Τα δομικά στοιχεία ενός κόμβου αυτής της τοπολογίας είναι ίδια με αυτά του προηγούμενου σχήματος.



Σχήμα 10

4.3 Συμπεράσματα

Συνολικά αξίζει να παρατηρήσουμε ότι, όπως φαίνεται και από τα δύο προηγούμενα σχήματα, είναι δυνατή η πολυπλεξία πολλών καναλιών πληροφορίας χαμηλής ταχύτητας (ιεραρχικά επίπεδα OC-3, 155 Mb/s και OC-12, 622 Mb/s) και η μεταφορά τους μέσω οπτικών ινών με ρυθμό ίσο με 9953 Mb/s (ιεραρχικό επίπεδο OC-192). Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την δυνατότητα για βέλτιστη διαχείριση του συνολικού εύρους ζώνης, αποτελεί το βασικό πλεονέκτημα των δυο παραπάνω μεθόδων.

Σε ότι αφορά στα μειονεκτήματα, για μεν τη μέθοδο IP over ATM over DWDM πρέπει να τονίσουμε ότι παρουσιάζει σημαντικά αυξημένο overhead (δηλαδή επιπλέον πληροφορία ελέγχου).

Η μέθοδος IP over SONET over DWDM δεν παρουσιάζει κάποιο σημαντικό μειονέκτημα. Αντίθετα, αντιμετωπίζει και το βασικό μειονέκτημα της μεθόδου IP directly over SONET που είναι η χρησιμοποίηση του συνολικά διαθέσιμου εύρους ζώνης (η κακή δηλαδή διαχείριση των συνολικών πόρων).

5 IP over LANs

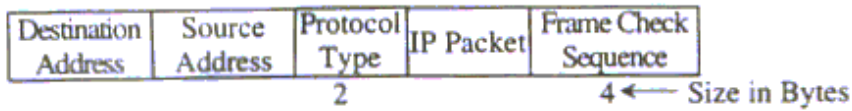
5.1 IP over Wireline LANs

Η λειτουργία του πρωτοκόλλου IP πάνω από τοπικά δίκτυα περιγράφεται στο RFC1042 που εκδόθηκε στον Φεβρουάριο του 1998. Το RFC1042 περιγράφει την χρήση του IP πάνω στα δίκτυα που περιγράφονται από τα πρότυπα IEEE 802.3, 802.4, 802.5. Ακόμα καθορίζει μια πρότυπη μέθοδο ενθυλάκωσης IP datagrams και ARP(Address Resolution Protocol) αιτήσεων και αποκρίσεων σε δίκτυα IEEE 802. Έτσι καθορίζει το πρότυπο πρωτόκολλο για το Internet.

[JAIN]Τα Ethernet LANs¹ που προϋπήρχαν της επιτροπής IEEE 802, παρείχαν διαχωρισμό του συνεργαζόμενου πρωτοκόλλου χρησιμοποιώντας ένα πεδίο για τον τύπο του πρωτοκόλλου (protocol type field). Το format αυτού του πεδίου που χρησιμοποιήθηκε για τα IP πακέτα φαίνεται στο παρακάτω σχήμα 1α.

¹Αναφέρεται στην πρώτη μορφή του Ethernet που αναπτύχθηκε από την εταιρία Xerox

(a) Ethernet Frame



(b) IEEE 802.3 Frame

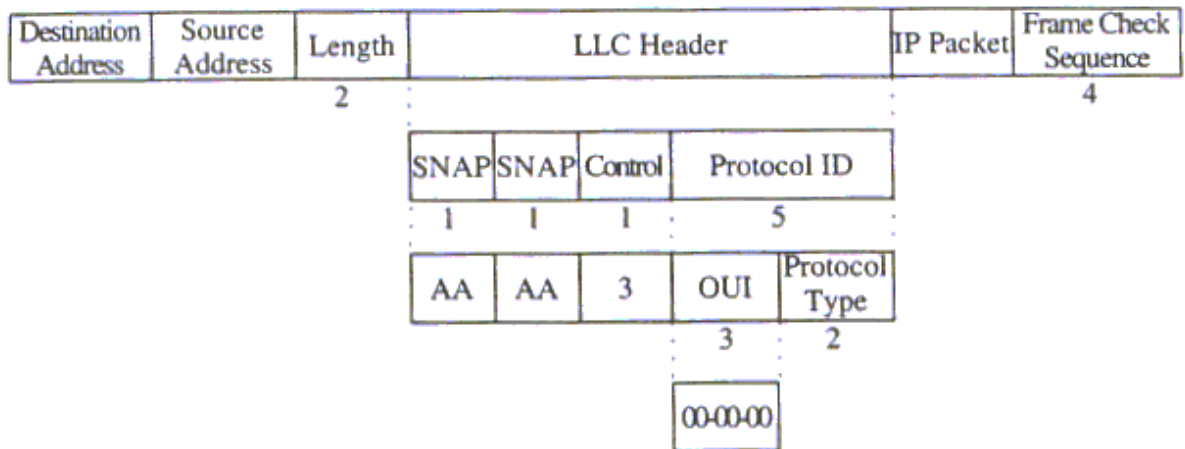


Figure 1 Formats of Ethernet and IEEE 802.3 frames with an IP packet.

Το πεδίο αυτό είχε μέγεθος 2 byte και επέτρεπε στο επίπεδο datalink να συνδέεται με το σωστό πρωτόκολλο επιπέδου δικτύου. Σε κάθε πρωτόκολλο επιπέδου δικτύου είχε δοθεί και μια μοναδική τιμή σε αυτό το πεδίο. Οι τιμές αυτού του πεδίου για τα πιο συνηθισμένα πρωτόκολλα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Table 1.1 A Sample of Ethernet Protocol Types

Decimal	Hexadecimal	Protocol Name
1536	0600	XEROX NS IDP
2048	0800	IP
2049	0801	X.75 Internet
2053	0805	X.25 Level 3
2054	0806	ARP
2560	0A00	Xerox IEEE 802.3 PUP
2561	0A01	PUP address translation
24583	6007	DEC local area VAX clusters, SCA
32824	8038	DEC LAN bridge
32923	809B	AppleTalk
32981	80D5	IBM SNA service on Ethernet

Μετά την προτυποποίηση IEEE 802.3 αρκετές αλλαγές έγιναν στο format του πλαισίου (frame). Μια από τις βασικές αλλαγές ήταν η απομάκρυνση του πεδίου που δείχνει τον τύπο του πρωτοκόλλου (protocol-type field) και η πρόσθεση του πεδίου μήκους (field length). Και τα δυο πρωτόκολλα (και το πρωτότυπο Ethernet και το IEEE802.3) περιορίζουν το μέγεθος του πλαισίου στα 64 bytes. Αφαιρώντας 16 bytes για τις διευθύνσεις πηγής (source address), προορισμού (destination address) και του πεδίου ελέγχου της ακολουθίας (frame check sequence) απομένουν 48 bytes για μεταφορά πληροφορίας στα πλαίσια μικρότερου μεγέθους. Το πρότυπο IEEE 802.3 επιτρέπει στα ανώτερα επίπεδα να στέλνουν κομμάτια πληροφορίας μικρότερα από 48 bytes και να τα ενώνουν για να εκπληρώσουν την απαίτηση για πλαίσιο μεγέθους 64-byte. Για να καθοριστεί που τελειώνει η μια πληροφορία και που αρχίζει η ένωση απαιτείται ένα πεδίο μήκους (length field) στο IEEE 802.3. Το παλαιότερο Ethernet δεν δέχεται μικρότερα κομμάτια πληροφορίας από ανώτερα επίπεδα και για αυτό δεν χρησιμοποιεί ενώσεις ούτε πεδίο μήκους (length field).

Το format του πλαισίου της IEEE 802.3 που μεταφέρει ένα IP πακέτο φαίνεται στο σχήμα 1.b. Επειδή από ένα φυσικό μέσο μπορούν να αποστέλλονται πλαίσια Ethernet όπως και IEEE 802.3, ένας σταθμός πρέπει εύκολα να μπορεί να καθορίσει το format του πλαισίου. Αυτό γίνεται εξασφαλίζοντας ότι οι τύποι του πρωτοκόλλου Ethernet θα έχουν πάντα μια τιμή μεγαλύτερη από 1500. Από την στιγμή που το μέγεθος της πληροφορίας στα πλαίσια Ethernet και IEEE 802.3 δεν μπορούν να είναι μεγαλύτερα από 1500 bytes, το πεδίο μήκους (length field) είναι πάντα μικρότερο

ή ίσο με 1500. Έτσι αν τα δυο bytes που ακολουθούν το πεδίο της διεύθυνσης πηγής (Source address field) είναι μικρότερα από 1501 το πλαίσιο θεωρείται ότι έχει IEEE format. Αλλιώς θεωρείται ότι είναι σε Ethernet format.

Στα πλαίσια IEEE 802.3 το πεδίο μήκους ακολουθείται από την κεφαλίδα LLC, η οποία αποτελείται από DSAP, SSAP και ένα πεδίο έλεγχου (control field). Τα DSAP και SSAP είναι link service access points της κεφαλίδας LCC που προσδιορίζουν τις διευθύνσεις προορισμού και πηγής (distination access point-source access point). Στην ουσία αυτά δείχνουν την υπηρεσία του επιπέδου δικτύου που χρησιμοποιείται στο προορισμό και στην πηγή αντίστοιχα. Σε όλα τα πρωτόκολλα επιπέδων δικτύου έχει ανατεθεί μια μοναδική τιμή μεγέθους 1 byte η LLC service access point (LSAP). Αυτές οι τιμές φαίνονται στο παρακάτω σχήμα. Όπως φαίνεται στο σχήμα αυτό η τιμή για το IP είναι 06₁₆ .

Table 18.2 Assigned LSAP Values

LSAP	Assignment
00	Null address
02	IEEE 802.1b LLC management
42	ISO/IEC 10038 bridge spanning tree protocol
AA	IEEE 802 SNAP SAP
06	Internet protocol (IP)
0E	IEC 955 (PROWAY C) network management maintenance and initialization
8E	IEC 955 (PROWAY C) active station list maintenance
4E	ISO 9506 manufacturing message service
7E	ISO 8208 X.25 network layer protocol
FE	ISO/IEC TR 9577 OSI network layer
FF	ISO 8802-2 global DSAP address

Τα LSAP έχουν μήκος μόνο 1 byte και έτσι είναι μια ανεπαρκής πηγή πληροφοριών. Τιμές LSAP έχουν ανατεθεί μόνο για πρωτοτυποποιημένα πρωτόκολλα επιπέδου δικτύου. Πρωτόκολλα επιπέδου δικτύου, όπως το SNA της IBM, δεν έχουν μοναδικά LSAP. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται μία προέκταση της κεφαλίδας LCC που ονομάζεται Subnet access protocol (SNAP) στο οποίο έχει ανατεθεί μια LSAP τιμή AA₁₆. Η τιμή αυτή είναι γνωστή ως SNAP service access

point (SNAP-SAP). Όποτε ένα αριθμημένο πλαίσιο πληροφορίας έχει AA_{16} στο πεδίο DSAP και AA_{16} στο πεδίο SSAP, τα 5 επόμενα bytes του πεδίου ελέγχου μεταφράζονται ως ένας μοναδικός identifier πρωτοκόλλου όπως φαίνεται στο σχήμα 1β. Τα πρώτα 3 bytes του identifier δείχνουν τον οργανισμό στον οποίο ανήκει το πρωτόκολλο και τα υπόλοιπα 2 που μένουν έναν μοναδικό identifier που έχει δοθεί από τον οργανισμό. Τα πρώτα 3 bytes είναι στην πραγματικότητα ο organizational unique identifier (OUI) που έχει δοθεί στον οργανισμό από την IEEE.

Παρόλο που στα πρωτόκολλα TCP/IP έχει ανατεθεί μια LSAP τιμή 06_{16} , αυτά δεν την χρησιμοποιούν γιατί αντίθετα με τα πρωτόκολλα του OSI το επίπεδο δικτύου του TCP/IP δεν έχει ενσωματωμένο διαχωριστή πρωτοκόλλου (built-in protocol discrimination). Αυτό δημιούργησε πρόβλημα αργότερα στην ανάπτυξη του Internet αφού λόγω αυτής της έλλειψης χρειαζόταν άλλο LSAP για το ARP. Για αυτό και τα πρωτόκολλα TCP/IP χρησιμοποιούν SNAP-SAP. Για OUI χρησιμοποιούν την τιμή 00-00-00. Το πεδίο των 2-byte που δείχνει τον τύπο του πρωτοκόλλου βρίσκεται μετά το OUI. Ένα συμπληρωμένο πλαίσιο IEEE 802.3 ενός IP πακέτου φαίνεται στο σχήμα 1β. Η τιμή 3 στο πεδίο ελέγχου LCC δείχνει ότι το πλαίσιο περιέχει unnumbered information (UI). Αυτό σημαίνει ότι το πλαίσιο είναι ένα datagram που ακολουθεί τον LCC type1 και δεν έχει

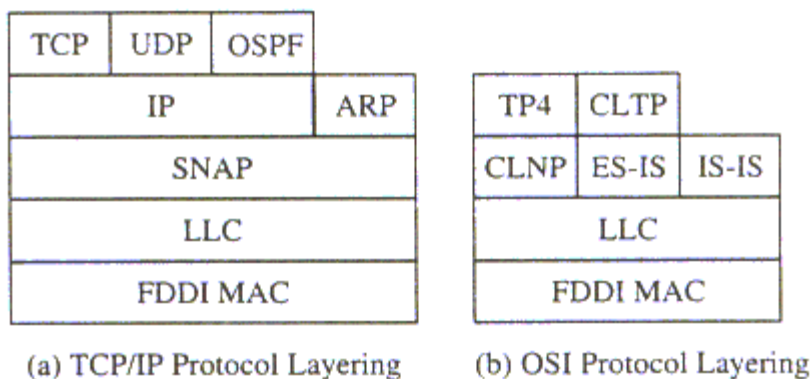


Figure 2 Protocol layers for TCP/IP and OSI protocols on FDDI.

sequence number.

Τα επίπεδα των πρωτοκόλλων στα TCP/IP και OSI πρωτόκολλα σε FDDI φαίνονται παραπάνω σχήμα.

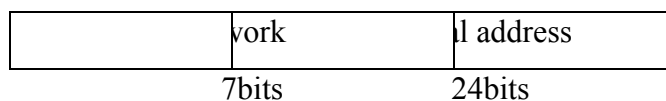
Συνήθως το σύνολο των επικοινωνιών γίνεται χρησιμοποιώντας το 802.2 type 1 communication.

Συστήματα στο ίδιο IEEE 802 δίκτυο μπορούν να χρησιμοποιήσουν 802.2 type 2 communication αφού επιβεβαιώσουν ότι υποστηρίζεται και από τους δυο κόμβους. Αυτό υλοποιείται χρησιμοποιώντας τον μηχανισμό 802.2 XID. Παρόλα αυτά type 1 communication είναι η προτεινόμενη λύση αυτή τη στιγμή και πρέπει να υποστηρίζεται από όλες τις εφαρμογές (σύμφωνα με το RFC 1042)

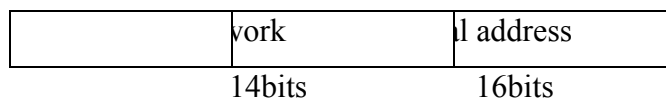
5.1.1 ARP (Address Resolution Protocol)

Επιπρόσθετα με το πρόβλημα του διαχωρισμού πρωτοκόλλων, η εισαγωγή των LANs εμφάνισε το πρόβλημα της εύρεσης διευθύνσεων των σταθμών του τοπικού δικτύου. Κάθε σταθμός σε ένα δίκτυο IP έχει μια μοναδική internet διεύθυνση που χρησιμοποιείται από το επίπεδο δικτύου για την δρομολόγηση των πακέτων. Οι διευθύνσεις αυτές έχουν μήκος 32 bits και αποτελούνται από 2 μέρη-έναν αριθμό δικτύου (network number) ακολουθούμενο από μια τοπική διεύθυνση (local address). Όπως είναι γνωστό υπάρχουν 3 διαφορετικές κλάσεις διευθύνσεων στο internet.

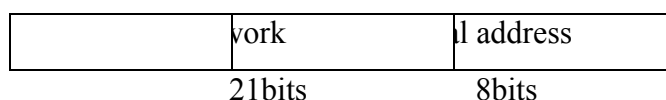
Κλάση A



Κλάση B



Κλάση C



Η τοπική διεύθυνση (Local address) μπορεί να διαιρεθεί σε δυο κομμάτια με μεταβλητά μήκη-sub-net number και host number. Σε κάθε LAN στο δίκτυο δίνεται ένας sub-net number. Έτσι τα sub-net number και host number είναι επαρκή για την προώθηση ενός πακέτου στον τελικό router, ο

ο οποίος είναι απευθείας συνδεδεμένος στον σταθμό προορισμού. Για σταθμούς που είναι συνδεδεμένοι στο router μέσω point-to-point links, δεν υπάρχει sub-net number, ενώ ο host number αποτελείται από ολόκληρη την τοπική διεύθυνση και είναι επαρκής για την δρομολόγηση του πακέτου στον προορισμό του. Παρόλα αυτά εάν ο προορισμός του είναι σε ένα LAN, ο router (ή η πηγή αν είναι επίσης στο ίδιο δίκτυο) πρέπει να γνωρίζει την MAC address για να διασφαλιστεί ότι ο σωστός παραλήπτης θα παραλάβει το πλαίσιο από το LAN. Το Address Resolution Protocol (ARP) σχεδιάστηκε για να λύσει το πρόβλημα της εύρεσης της MAC address που αντιστοιχεί σε μια Internet διεύθυνση.

Για το σκοπό αυτό διατηρείται στον router ένας πίνακας μετατροπής. Εάν ο κόμβος δεν βρίσκεται στον πίνακα ο router εκπέμπει μια ARP request "Γνωρίζει κανένας την datalink διεύθυνση που αντιστοιχεί στην τοπική διεύθυνση X;" Η απάντηση μπορεί να έρθει ή από τον κόμβο X ή από οποιοδήποτε άλλο κόμβο στο δίκτυο που ξέρει για τον X. Η datalink διεύθυνση του κόμβου X επιστρέφεται ως απάντηση. Ο router τότε χρησιμοποιεί αυτή την διεύθυνση για να στείλει το πακέτο στον X. Το format ενός ARP πακέτου σε ένα δίκτυο IEEE 802.3 φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

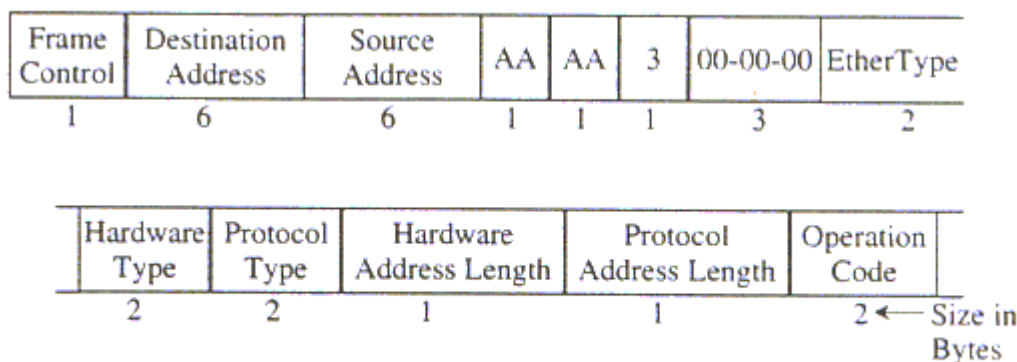


Figure 3 Format of an ARP packet.

Ας σημειωθεί ότι όπως έχει αναφερθεί στην προηγούμενη ενότητα ότι για το πλαίσιο ARP ισχύουν SNAP-SAPs(AA), UI control, OUI με 00-00-00. Η τιμή 0806_{16} (2054_{10}) για τον τύπο του πρωτοκόλλου Ethernet έχει δοθεί για το ARP. Άλλα πεδία είναι ο τύπος του hardware(2 bytes), ο τύπος του πρωτοκόλλου (0800_{16} ή 2048_{10} για IP) ο οποίος αναλύεται (2 bytes), το μήκος της διεύθυνσης του hardware (1byte), το μήκος της διεύθυνσης του πρωτοκόλλου (1byte) και ένας κώδικας λειτουργίας (2bytes). Η τιμή 1 στον τύπο του hardware δηλώνει Ethernet ενώ 6 δηλώνει πρωτόκολλο IEEE 802. Στον παρακάτω πίνακα δηλώνονται διάφοροι τύποι hardware.

Table 3 Hardware Type Used in ARP Packets

Type	Protocol
1	Ethernet (10Mb)
2	Experimental Ethernet (3Mb)
3	Amateur radio AX.25
4	Proteon ProNET token ring
5	Chaos
6	IEEE 802 networks
7	ARCNET
8	Hyperchannel
9	Lanstar
10	Autonet short address
11	LocalTalk
12	LocalNet (IBM PCNet or SYTEK LocalNET)
13	Ultra link
14	SMDS
15	Frame relay
16	Asynchronous transfer mode (ATM)

Όταν αναφέρεται διεύθυνση του hardware εννοείται η MAC διεύθυνση. Το μήκος της είναι 6 bytes για όλα τα πρωτόκολλα IEEE 802. Το μήκος της διεύθυνσης του πρωτοκόλλου δίνει το μήκος της διεύθυνσης του πρωτοκόλλου που αναλύεται. Αυτή η τιμή είναι 4 bytes για διευθύνσεις internet. Ο κώδικας λειτουργίας είναι 1 για μια ARP request και 2 για μια ARP response.

5.1.2 Maximum Transmission Unit (MTU)

Κάθε διαφορετική τεχνολογία που εφαρμόζεται σε επίπεδα που βρίσκονται κάτω από το επίπεδο δικτύου έχει και ένα διαφορετικό μέγιστου μεγέθους πλαίσιο που μπορεί να στείλει. Έτσι το Maximum Transmission Unit (MTU) διαφέρει ανάλογα με τον τύπο των IEEE 802 networks.

Επίσης σε οποιοδήποτε συγκεκριμένο δίκτυο όλοι οι hosts πρέπει να χρησιμοποιούν το ίδιο MTU. Στον παρακάτω πίνακα [1] δίνονται τα διάφορα IP MTUs για διάφορες τεχνολογίες.

IP MTUs for Common Network Interface Layer Technologies

Network Interface Layer Technology	IP MTU
Ethernet(Ethernet II encapsulation)	1500
Ethernet(IEEE 802.3 SNAP encapsulation)	1492
Token Ring(4 and 16 Mbps)	Varies based on token holding time
FDDI	4352
X.25	1600
Frame Relay	1600
ATM (Classical IP over ATM)	9180
Minimum MTU	576

Σε ένα περιβάλλον με διάφορες τεχνολογίες εφαρμοσμένες είναι δυνατόν να συμβεί τμηματοποίηση (Fragmentation) όταν οι πληροφορίες περνούν από έναν router μέσω μιας σύνδεσης με υψηλό IP MTU σε μια σύνδεση με χαμηλό IP MTU. Όταν συμβαίνει τμηματοποίηση το IP φορτίο τμηματοποιείται και κάθε τμήμα αποστέλλεται με την δική του κεφαλίδα IP. Η κεφαλίδα αυτή περιέχει πληροφορίες που απαιτούνται για την επανασυναρμολόγηση του αρχικού φορτίου IP στον προορισμό του. Επειδή η IP είναι μια τεχνολογία datagram packet-switching και τα τμήματα του φορτίου μπορούν να φτάσουν στον προορισμό τους σε διαφορετική σειρά από αυτή που στάλθηκαν, τα τμήματα πρέπει να ομαδοποιηθούν (χρησιμοποιώντας το identification field), να μπουν στη σωστή σειρά (χρησιμοποιώντας το Fragment Offset field) και να χαρακτηριστούν (χρησιμοποιώντας την More Fragments flag). Τεχνολογίες όπως X.25 και ATM απαιτούν μόνο την τελευταία ενέργεια.

5.1.3 Token Ring [2]

Το Token Ring στηρίζεται σε τεχνολογία που αναπτύχθηκε το 1960 και οδήγησε σε διάφορες υλοποιήσεις. Η υλοποίηση της IBM, που εμφανίστηκε το 1985, είναι η βάση του προτύπου IEEE 802.5. Η τοπολογία του είναι ένας δακτύλιος. Στο δακτύλιο κυκλοφορεί συνεχώς ένα κουπόνι (token). Κάθε κόμβος μπορεί να μεταδώσει μόνο όταν το κουπόνι βρίσκεται σε αυτόν. Κατά την μετάδοση, ο κόμβος έχει όλο το εύρος του δικτύου δικό του και μόλις τελειώσει δίδει το κουπόνι στον επόμενο. Αυτή η τεχνική καταμερισμού του φυσικού μέσου περιορίζει τις συγκρούσεις και έχει καλύτερη συμπεριφορά όταν η κίνηση είναι μεγάλη, άρα είναι πιο κατάλληλη για εφαρμογές πολυμέσων σε σχέση με το Ethernet. Επίσης, προσφέρει και μεγαλύτερη ασφάλεια. Για τη διευκόλυνση της κυκλοφορίας της πληροφορίας που εξαρτάται από το χρόνο, έχει υλοποιηθεί ένα είδος προτεραιότητας, που δεσμεύει πόρους και τους διαθέτει σε αυτές.

Η αρχική ταχύτητα πρόσβασης ήταν 4Mbps, αλλά τώρα έχει αυξηθεί στα 16Mbps. Η IBM υποστηρίζει την εξέλιξη αυτού του προτύπου ώστε να υποστηρίζει και εφαρμογές πολυμέσων.

5.1.4 Σύγκριση τοπικών δικτύων

Με τρία διαφορετικά πρότυπα τοπικών δικτύων διαθέσιμα πολλοί οργανισμοί αντιμετωπίζουν το ερώτημα : «Ποιο απ' όλα θα πρέπει να εγκαταστήσουμε;» Αρχίζοντας, αξίζει να σημειώσουμε ότι τα τρία πρότυπα των τοπικών δικτύων χρησιμοποιούν χονδρικά παρόμοια τεχνολογία και έχουν περίπου την ίδια απόδοση. Αρχίζουμε παραθέτοντας τα πλεονεκτήματα του 802.3. Προς το παρόν είναι ο πιο διαδεδομένος τύπος με μια τεράστια εγκατεστημένη βάση και συγκριτικά μεγάλη λειτουργική εμπειρία. Ο αλγόριθμος είναι απλός. Οι σταθμοί μπορούν να εγκατασταθούν στο δίκτυο χωρίς να τεθεί εκτός λειτουργίας το δίκτυο. Χρησιμοποιείται ένα καλώδιο και δεν χρειάζονται modems. Επιπλέον η καθυστέρηση σε χαμηλό φορτίο πρακτικά είναι μηδέν (οι σταθμοί δεν χρειάζεται να περιμένουν για ένα κουπόνι, απλώς μεταδίδουν αμέσως). Απ την άλλη πλευρά το 802.3 έχει μια ουσιώδη αναλογική συνιστώσα. Κάθε σταθμός βάσης θα πρέπει να εντοπίζει το σήμα του ασθενέστερου, από τους άλλους σταθμούς, ακόμα και να μεταδίδει ο ίδιος και όλα τα κυκλώματα εντοπισμού συγκρούσεων στο πομποδέκτη είναι αναλογικά. Λόγω της πιθανότητας να έχουμε πλαίσια που απορρίπτονται εξαιτίας των συγκρούσεων, το ελάχιστο έγκυρο πλαίσιο είναι 64 bytes, το οποίο δημιουργεί μία ουσιώδη επιβάρυνση όταν τα δεδομένα είναι ένας μόνο χαρακτήρας

από ένα τερματικό. Επιπλέον το 802.3 έχει μη καθορισμένη συμπεριφορά (nondeterministic), που σημαίνει ότι συχνά είναι ακατάλληλο για εργασία πραγματικού χρόνου (real time) και δεν διαθέτει προτεραιότητες. Το μήκος του καλωδίου περιορίζεται στα 2,5 km (όταν χρησιμοποιούνται επαναλήπτες) διότι χρόνος διάδοσης μετ'επιστροφής κατά μήκος του καλωδίου καθορίζει το χρόνο σχισμής, και επομένως την απόδοση. Δίκτυα CSMA/CD όπως το 802.3 είναι δύσκολο να λειτουργήσουν σε μεγάλες ταχύτητες και καθώς η ταχύτητα αυξάνει, η απόδοση πέφτει διότι οι χρόνοι μετάδοσης του πλαισίου πέφτουν, αλλά το διάστημα ανταγωνισμού όχι. Καθώς βελτιώνεται η τεχνολογία και τα δίκτυα γίνονται ταχύτερα, αυτό το θέμα θα γίνει πολύ σημαντικό. Σε μεγάλο φορτίο, η παρουσία των συγκρούσεων γίνεται ένα μεγάλο πρόβλημα και μπορεί να επηρεάσει σοβαρά το ρυθμό εξυπηρέτησης. Επιπλέον το 802.3 δεν είναι και πολύ κατάλληλο για δίκτυα οπτικών ινών λόγω της δυσκολίας εγκατάστασης των διακλαδώσεων.

Η μόνη γενική διαπίστωση που δεν αμφισβητείται, είναι ότι ένα υπερφορτωμένο δίκτυο 802.3 θα καταρρεύσει ολοκληρωτικά, ενώ ένα υπερφορτωμένο σύστημα βασισμένο σε κουπόνι θα έχει μια απόδοση που θα πλησιάζει το 100%. Για τους ανθρώπους που θα χρησιμοποιήσουν το τοπικό τους δίκτυο σε υπερφορτωμένη μορφή το 802.3 σαφώς δεν είναι το κατάλληλο. Για τους ανθρώπους που σκοπεύουν να το χρησιμοποιήσουν αυτό με μικρό ή μέσο φορτίο, και τα τρία συστήματα 802.3, 4 και 5 συμπεριφέρονται καλά, έτσι άλλοι παράγοντες εκτός από την απόδοση είναι πιθανώς περισσότερο σημαντικοί.

5.2 IP OVER WIRELESS LANs

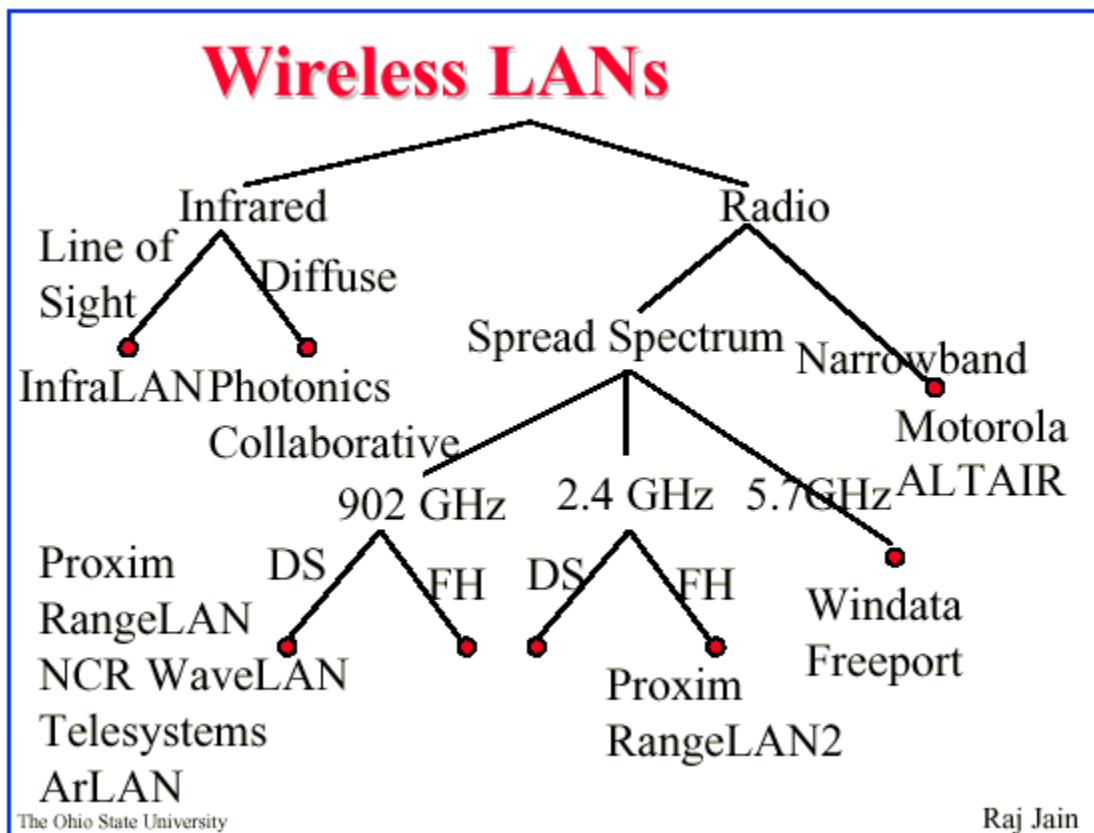
5.2.1 Γενικά

Μετά την επιτυχία και την μεγάλη εξάπλωση των LANs, η αγορά κινείται προς μια πιο ελκυστική τεχνολογία.: Την ανάπτυξη ασύρματων δικτύων (Wireless LANs-WLANs) που να μπορούν να πετύχουν ταχύτητες ισάξιες των wired LANs. Τα WLANs μπορούν να αποτελέσουν ένα ευέλικτο σύστημα μεταφοράς δεδομένων, που να μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε περιπτώσεις που η ικανότητα μετακίνησης είναι αναγκαία [3]. Επίσης τα ασύρματα δίκτυα ικανοποιούν την ανάγκη των κινητών χρηστών να είναι συνδεδεμένοι στο δίκτυο κάθε στιγμή όπου και να βρίσκονται. Ακόμα υπάρχουν περιπτώσεις που η ασύρματη τεχνολογία αποτελεί την μοναδική λύση δικτύωσης

π.χ σε περιπτώσεις που δεν υπάρχει υφιστάμενη καλωδιακή υποδομή, όπως σε παλιά κτίρια ή σε περιπτώσεις που είναι αδύνατη η δημιουργία της, πχ όταν παρεμβάλλονται βουνά, λίμνες. Διάφοροι οργανισμοί ενισχύουν την εξάπλωση της ασύρματης δικτύωσης δημιουργώντας πρότυπα που λύνουν προβλήματα συμβατότητας μεταξύ εμπορικών προϊόντων. Επιπλέον εταιρίες κατασκευάζουν συνεχώς ασύρματα δίκτυα που μπορούν να πετύχουν ταχύτητες μέχρι και 11Mbps ενσωματώνοντας νέα σημαντικά χαρακτηριστικά όπως ασφάλεια, κρυπτογράφηση κτλ..

5.2.2 Τύποι Ασύρματων Τοπικών Δικτύων (WLANs)

Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται οι διάφοροι τύποι των ασύρματων τοπικών δικτύων



Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την μετάδοση της πληροφορίας κατά την ασύρματη ζεύξη είναι οι ακόλουθες: η τεχνολογία ραδιοσυχνοτήτων (radio frequency-RF), η τεχνολογία

υπερύθρων (Infared-IR) και η τεχνολογία μικροκυμάτων (microwave-MW).Χαρακτηριστικά των τεχνολογιών αυτών εμφανίζονται στον παρακάτω πίνακα [4].

	Spread Spectrum	Narrowband Microwave	Infrared
Frequency	902MHz to 928 MHz ; 2.4 GHz to 2.4385 GHz ; 5.725 GHz to 5.825 GHz	18.825 GHz to 19.205 GHz	3×10^{14} Hz
Maximum coverage	105 to 800 feet, or up to 50,000 square feet	40 to 130 feet, or up to 5000 square feet	30 to 80 feet
Line of sight required	No	No	Yes
Transmit power	Less than 1 W	25 mW	N/A
License required	No	Yes	No
Interbuilding use	Possible with antenna	No	Possible
Rated speed (% of 10 Mbps wire)	20% to 50%	33%	50% to 100%

Πίνακας 1: Τεχνικές μετάδοσης στα WLANs

5.2.3 Διαφορές των wired LANs με wireless LANs [5]

Τα ασύρματα τοπικά δίκτυα λειτουργούν σχεδόν με τον ίδιο τρόπο με τα ενσύρματα χρησιμοποιώντας τα ίδια πρωτόκολλα διαδικτύωσης και υποστηρίζοντας τις ίδιες εφαρμογές. Όμως έχουν ορισμένες βασικές διαφορές

- ενώ χρησιμοποιούν τα ίδια πρωτόκολλα διαδικτύωσης, στο φυσικό και στο datalink επίπεδο χρησιμοποιούν ειδικά πρωτόκολλα
- μπορούν να ενοποιηθούν σε υπάρχοντα δίκτυα μέσω σημείων πρόσβασης (access points) τα οποία θα παρέχουν μια λειτουργία γεφύρωσης

- επιτρέπουν την διατήρηση της σύνδεσης κατά την διάρκεια μετακίνησης από ένα σημείο κάλυψης σε άλλο
- έχουν ιδιαίτερα θέματα ασφάλειας
- έχουν συγκεκριμένες απαιτήσεις διαλειτουργικότητας
- απαιτούν διαφορετικό hardware
- η απόδοση τους διαφέρει από αυτή των ενσύρματων LANs

5.2.4 Χρησιμοποιούμενα πρότυπα

[STA Παρ 11.5] Καθώς όλο και περισσότερες εταιρίες και ανεξάρτητοι χρήστες επιζητούσαν την χρήση κινητών και φορητών υπολογιστών, η συνεχώς αυξανόμενη ανάγκη για ασύρματα τοπικά δίκτυα, οδήγησε στην δημιουργία πρότυπων. Τα πιο σημαντικά πρότυπα που αναπτύχθηκαν είναι το IEEE 802.11 και το HIPERLAN. Τα δυο αυτά πρότυπα αναλύονται συνοπτικά στις επόμενες παραγράφους

5.2.4.1 Πρότυπο IEEE 802.11

Το 1990 το Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (Institute of Electrical and Electronic Engineers-IEEE) σχημάτισε μια υποεπιτροπή για να αναπτύξει ένα MAC (Medium Access Control) και PHY (Physical Layer) πρότυπο για τις ασύρματες ζεύξεις. Το πρότυπο αυτό ονομάστηκε IEEE 802.11. Έτσι δόθηκε η δυνατότητα στους χρήστες να χρησιμοποιούν προϊόντα ασύρματης δικτύωσης, από διαφορετικούς κατασκευαστές στο ίδιο δίκτυο και μάλιστα σε χαμηλές τιμές λόγω του συναγωνισμού των εταιριών

Σήμερα [6] η υποεπιτροπή IEEE 802.11 συγκεντρώνει τις προσπάθειές τις για να παράγει πρότυπα μεγάλης ταχύτητας. Έτσι έχουν δημιουργηθεί δυο ομάδες εργασίας η a και η b που αναπτύσσουν μεγάλης ταχύτητας PHY στην 5GHz και 2.4 GHz μάλιστα αντίστοιχα.. Σκοπός τους είναι να υποστηρίζεται μετάδοση όχι μόνο δεδομένων αλλά και φωνής και εικόνων. Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται η οικογένεια προτύπων IEEE 802.11 με τα διάφορα χαρακτηριστικά της

	IEEE 802.11 (DSSS)	IEEE 802.11a	IEEE 802.11b
Application	Wireless Ethernet (LAN)	Wireless ATM	Wireless Ethernet (LAN)
Frequency Range	2.4 GHz	5 GHz	2.4GHz

Data Rate	1-2Mbps	20-25Mbps	5.5Mbps,11Mbps
-----------	---------	-----------	----------------

5.2.4.2 Πρότυπο HIPERLAN

Ένα άλλο πρότυπο που αναπτύχθηκε από το European Telecommunication Standards Institute (ETSI) για ασύρματη τεχνολογία δεύτερης γενιάς είναι το HIPERLAN (High Performance European Radio LAN). Το HIPERLAN αναπτύχθηκε κατά την περίοδο 1991-1996 και κατάφερε να πετύχει υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων (πάνω από 24 Mbps) από το IEEE 802.11 (1 με 2Mbps). Υποστηρίζει μόνο peer-to-peer σύνδεση σε αντίθεση με το IEEE 802.11 που υποστηρίζει και Ad-Hoc και infrastructure αρχιτεκτονικές. Στον παρακάτω πίνακα απεικονίζεται η οικογένεια προτύπων HIPERLAN [3].

	erLAN e 1	erLAN e 2	erAccess	erLink
Application	wireless Internet (LAN)	wireless ATM	wireless Local Loop	wireless Point-to-Point
Frequency Range	Hz	Hz	Hz	Hz
Rate	Mbps	Mbps	Mbps	Mbps

5.2.4 Επίπεδο Δικτύου

Στις παραπάνω παραγράφους έχουν αναφερθεί τα πρότυπα που χρησιμοποιούν τα ασύρματα δίκτυα στο φυσικό και στο datalink επίπεδο. Από το επίπεδο δικτύου και πάνω τα "παραδοσιακά" πρωτόκολλα διαδικτύωσης λειτουργούν χωρίς να απαιτείται καμιά ιδιαίτερη τροποποίηση [7]. Αυτό σημαίνει ότι υποστηρίζονται όλα τα πρωτόκολλα όπως το TCP/IP, SPX/IPX, NetBEUI κ.α.

Έτσι τα πρωτόκολλα που υποστηρίζονται εξαρτώνται από τον κάθε κατασκευαστή ο οποίος θα πρέπει να διαθέτει μαζί με το προϊόν και τους ανάλογους drivers. Όταν αυτοί εγκατασταθούν, το δίκτυο δεν θα καταλαβαίνει ότι η σύνδεση είναι ασύρματη αλλά θα συμπεριφέρεται όπως μια τυπική ενσύρματη. Το ίδιο θα συμβαίνει και με τις εφαρμογές

5.2.5 Mobile IP (RFC 2002)

Όπως αναφέρθηκε για την ασύρματη διαδίκτυωση δεν απαιτείται να γίνουν αλλαγές στο επίπεδο δικτύου. Αυτό συμβαίνει εάν οι ασύρματοι χρήστες δεν μετακινούνται κατά την διάρκεια της επικοινωνίας τους, ειδικότερα όταν κατέχουν δυναμικές IP διευθύνσεις χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο DHCP (Dynamic Host Control Protocol).

Όμως εάν οι χρήστες του IP δικτύου μετακινούνται από περιοχή σε περιοχή, είναι δυνατόν να συνδεθούν με ένα access point που είναι συνδεδεμένο σε διαφορετικό υποδίκτυο. Επειδή οι IP διευθύνσεις από τον σχεδιασμό τους σχετίζονται με ένα συγκεκριμένο υποδίκτυο, τα IP πακέτα δεν θα μπορούν να βρουν το δρόμο για την καινούρια τοποθεσία. Στο σημείο αυτό την λύση δίνει το Mobile IP[IC]. Το mobile IP είναι ένα πρότυπο το οποίο προτάθηκε από μια ομάδα εργασίας της IETF (Internet Engineering Task Force) για να λύσει το παραπάνω πρόβλημα επιτρέποντας στον κινούμενο κόμβο να χρησιμοποιεί δύο διευθύνσεις: μια σταθερή home address και μια care-of-address (COA). Η home address είναι στατική ενώ η COA αλλάζει σε κάθε σημείο σύνδεσης και μπορεί να θεωρηθεί ως η “σημαντική” τοπολογική διεύθυνση για κάθε κινητό κόμβο. Παρουσιάζει τον αριθμό του δικτύου και έτσι αναγνωρίζει το σημείο σύνδεσης του κινητού κόμβου σε σχέση με την τοπολογία του δικτύου. Η home address εμφανίζει εάν ο κινητός κόμβος είναι συνεχώς έτοιμος να δεχτεί δεδομένα στο home network (πατρικό δίκτυο) του, ενώ το Mobile IP απαιτεί την ύπαρξη ενός κόμβου δικτύου που ονομάζεται home agent. Όταν ο κινητός κόμβος δεν είναι συνδεδεμένος στο home network (και επομένως είναι συνδεδεμένος σε αυτό που θα ονομαστεί foreign network), ο home agent ανακατευθύνει τα πακέτα που προορίζονται για τον κινητό κόμβο στον νέο σημείο σύνδεσης του κινητού κόμβου.

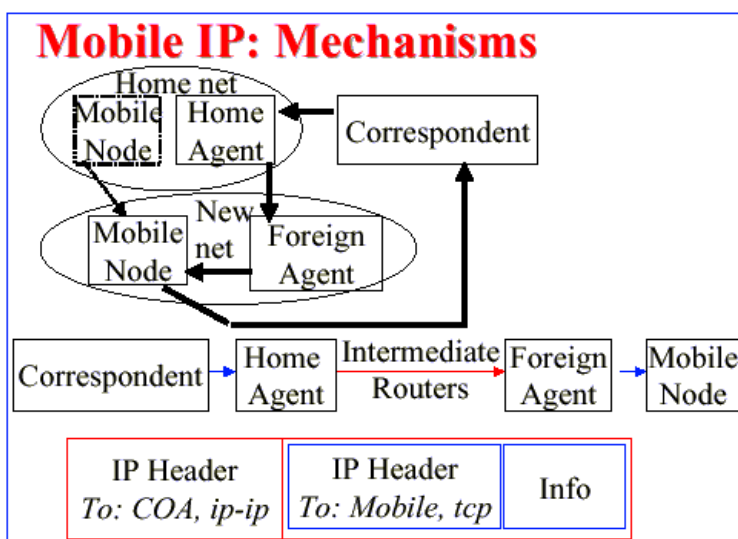
Κάθε φορά που ο κινητός κόμβος μετακινείται δηλώνει την νέα του COA στον home agent. Για να λάβει ο κινητός κόμβος ένα πακέτο από το home network του, ο home agent παραδίδει το πακέτο από το home network στην COA. Αυτή η επιπρόσθετη μεταφορά απαιτεί την τροποποίηση του πακέτου ώστε η COA να εμφανίζεται σαν η IP διεύθυνση προορισμού. Όταν το πακέτο φτάνει στην COA γίνεται ο αντίστροφος μετασχηματισμός έτσι ώστε το πακέτο να έχει την home address ως διεύθυνση προορισμού. Φτάνοντας το πακέτο στο κινητό κόμβο έχοντας την διεύθυνση home address θα επεξεργαστεί ανάλογα από το πρωτόκολλο του παραπάνω επιπέδου (πχ TCP)

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω το Mobile IP απαιτεί την ύπαρξη ενός κόμβου δικτύου που ονομάζεται home agent εφόσον το δίκτυο θέλει να δώσει στους χρήστες του την δυνατότητα να περιάγονται (roam). Επίσης πρέπει να υπάρχουν και κόμβοι δικτύων που ονομάζονται foreign agents, οι οποίοι να επιτρέπουν σε επισκέπτες να συνδέονται στο δίκτυο στο οποίο ανήκουν οι foreign agents, και το οποίο οριοθετεί μια συγκεκριμένη περιοχή. Ο foreign agent παρακολουθεί όλους τους κινητούς χρήστες που επισκέπτονται την περιοχή του, ενώ ο home agent παρακολουθεί όλους τους χρήστες της περιοχής του οι οποίοι όμως επισκέπτονται άλλη περιοχή.

Όταν ένας κινητός χρήστης επισκέπτεται μια ξένη περιοχή, έρχεται σε επαφή με τον foreign agent της περιοχής και εγγράφεται δίνοντας την διεύθυνσή του. Οι κινητοί χρήστες (άρα και κινητοί κόμβοι) βρίσκουν τους foreign agents μετά από επίκλησή τους (solicitation) ή με την βοήθεια περιοδικών ανακοινώσεων της ύπαρξής τους που εκπέμπουν οι ίδιοι οι foreign agents (advertisements). Στην συνέχεια ο foreign agent έρχεται σε επαφή με τον home agent του κινητού χρήστη και του δίνει την COA, συνήθως την IP διεύθυνση του foreign agent .

Όταν ένα πακέτο στέλνεται σε ένα κινητό χρήστη, δρομολογείται στο home LAN του χρήστη. Εκεί ο home agent κόβει τον δρόμο προς το πακέτο του κινητού χρήστη και ψάχνει και βρίσκει την διεύθυνση του foreign agent που διαχειρίζεται τον κινητό χρήστη . Ο home agent στέλνει το πακέτο στον foreign agent ο οποίος με την σειρά του το στέλνει στον κινητό χρήστη. Επίσης ο home agent δίνει την care - of - address (COA) στον αποστολέα , έτσι ώστε τα μελλοντικά πακέτα να κατευθύνονται άμεσα στον κινητό χρήστη μέσω του foreign agent.

Η διαδικασία που περιγράφηκε παραπάνω φαίνεται στο παρακάτω σχήμα [8].



Στο mobile IP⁶ ο home agent ανακατευθύνει τα πακέτα από το home network στην COA δημιουργώντας μια νέα κεφαλίδα IP που περιέχει την COA του κινητού κόμβου ως διεύθυνση IP προορισμού. Αυτή η νέα κεφαλίδα ενθυλακώνει το αρχικό πακέτο, έχοντας σαν αποτέλεσμα η home address του κινητού κόμβου να μην επηρεάζει την δρομολόγηση μέχρι που το πακέτο φτάνει στην COA. Αυτού του είδους η ενθυλάκωση ονομάζεται και tunneling.

5.2.6 Αλλαγές που θα προκαλέσει η IPv6 [IC]

Η έκδοση 6 του IP περιλαμβάνει αρκετά χαρακτηριστικά για την υποστήριξη του mobility. Η υποστήριξη αυτή ακολουθεί τον σχεδιασμό για το Mobile IPv4. Διατηρεί τις ιδέες του home network, home agent και την χρησιμοποίηση ενθυλάκωσης για την μεταφορά πακέτων από το home network στον κινητό κόμβο. Παρόλο που η ανακάλυψη του COA απαιτείται, ένας κινητός κόμβος μπορεί να διαπιστώσει την COA του χρησιμοποιώντας τις νέες τεχνικές Stateless address Autoconfiguration και Neighbor Discovery. Έτσι στο IPv6 δεν απαιτούνται foreign agents.

Επίσης μια από τις μεγαλύτερες αλλαγές που θα περιλαμβάνει η νέα έκδοση του IP θα είναι ότι από την κόμβους θα απαιτείται να εφαρμόζουν αυστηρή πιστοποίηση (authentication) και χαρακτηριστικά κρυπτογράφησης. Βέβαια αυτές οι απαιτήσεις, για περιοδικές διαδικασίες πιστοποίησης, θα έχουν κόστος όσον αφορά τις αποδόσεις του δικτύου. Για το λόγο αυτό και οι διαδικασίες αυτές δεν θα γίνονται πολύ συχνά

5.2.7 Μέλλον

Όπως φάνηκε από τα παραπάνω το μέλλον των ασύρματων τοπικών δικτύων συνδέεται και με την ανάπτυξη του mobile IP του οποίου η εφαρμογή θα ωθήσει τους κατασκευαστές σε νέα προϊόντα και λύσεις. Έτσι σύμφωνα με τους ειδικούς το μέλλον των WLANs προδιαγράφεται λαμπρό.

6 IP over satellite

6.1 Εισαγωγή

[TAN παρ2.2.7]Τα τελευταία χρόνια σημειώνεται μια μεγάλη αύξηση στην χρήση των δορυφόρων σε σχέση με το πρωτόκολλο IP. Ως Συνέπεια αυτού του γεγονότος είναι η εκμετάλλευση πολλών δυνατοτήτων που δίνουν οι δορυφόροι, όπως το ότι καλύπτουν μεγάλη γεωγραφική περιοχή (ακόμα και απομονωμένες περιοχές χωρίς καθόλου τηλεπικοινωνιακή υποδομή) και ότι παρέχουν μεγάλο εύρος ζώνης. Οι δορυφόροι έχουν την ιδιότητα ότι το κόστος μετάδοσης ενός μηνύματος είναι ανεξάρτητο από την απόσταση. Έτσι μια υπερωκεάνια κλήση δεν κοστίζει περισσότερο από μια κλήση στον απέναντι δρόμο. Μπορούν επίσης να πετύχουν μεγάλη ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων ενώ έχουν δυνατότητες multicast και broadcast.

6.2 Είδη Δορυφόρων [ABB]

Οι δορυφόροι διαχωρίζονται ανάλογα με τις τροχιές στις οποίες κινούνται σε

- Δορυφόρους χαμηλής τροχιάς (Low Earth Orbital-LEO)
- Δορυφόρους μέσης τροχιάς (Medium Earth Orbital-MEO)
- Γεωσύγχρονους δορυφόρους (Geostationary Earth Orbit-GEO)

Στις παρακάτω παραγράφους αναλύονται τα είδη των δορυφόρων ξεκινώντας από αυτούς που αναπτύχθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν πρώτοι.

6.2.1 GEO

Οι δορυφόροι αυτοί βρίσκονται σε τροχιά γύρω από τη γη σε ύψος 35800Km ακριβώς πάνω από τον ισημερινό. Εξαιτίας αυτής της ιδιότητας μπορούν και καλύπτουν μεγάλο μέρος της επιφάνειας της γης (έχει υπολογιστεί ότι τρεις γεωσύγχρονοι δορυφόροι αρκούν για να καλύψουν όλη την επιφάνεια της γης εκτός των πόλων). Οι δορυφόροι αυτοί επειδή κινούνται με την ίδια ταχύτητα και κατεύθυνση με τη γη φαίνονται ακίνητοι όταν παρατηρούνται από ένα συγκεκριμένο σημείο (ιδιότητα πολύ σημαντική για την επικοινωνία με σταθερούς σταθμούς στην γη αφού συνεχώς βρίσκονται στην ίδια θέση). Οι δορυφόροι αυτοί ήταν οι πρώτοι που χρησιμοποιήθηκαν με πρώτο το Syncom 2, τον οποίο έθεσε σε τροχιά η NASA (National Aeronautics and Space Administration) το1963. Παρουσιάζουν μεγάλη καθυστέρηση στην μεταφορά του σήματος εξαιτίας της μεγάλης τους απόστασης από τη γη και της πεπερασμένης ταχύτητας των ηλεκτρομαγνητικών

κυμάτων [ABB παρ1.3]. Σε περίπτωση μεταφοράς φωνής αυτό μπορεί να προκαλέσει ηχώ κατά την διάρκεια της συνομιλίας ενώ στην μεταφορά δεδομένων η καθυστέρηση δημιουργεί λάθη στα δεδομένα και απαιτούνται τεχνικές διόρθωσης λαθών. Ένα ακόμα πρόβλημα των GEO είναι ότι απαιτείται ισχυρό σήμα επικοινωνίας. Έτσι φορητά τερματικά με μικρή ενέργεια και αδύνατο σήμα δεν θα μπορέσουν να συνδεθούν με ένα GEO. Επίσης το κόστος τους ανάπτυξης και εκτόξευσης είναι ιδιαίτερα υψηλό.

6.2.2 MEO

Οι δορυφόροι αυτοί κινούνται σε ύψη από 10000km μέχρι 20000km. Συμπληρώνουν τον κύκλο της τροχιάς τους σε 2-4 ώρες και δεν έχουν τα μειονεκτήματα των GEO που αναφέρθηκαν παραπάνω. Χρησιμοποιούνται σε συστοιχίες για να καλύπτουν συνολικά μεγάλη περιοχή.

6.2.3 LEO

Οι δορυφόροι αυτοί έχουν την πιο μικρή σε ύψος τροχιά από όλους τους επικοινωνιακούς δορυφόρους και κινούνται σε ύψη μικρότερα των 1500Km. Χρειάζονται μικρά ποσά ενέργειας για να εκτοξευθούν όμως λόγω του χαμηλού ύψους στο οποίο κινούνται “βλέπουν” μικρή περιοχή της γης, ενώ κινούνται ταχύτατα ολοκληρώνοντας μια περιστροφή γύρω από τη γη σε 15 λεπτά. Οι δορυφόροι αυτοί είναι χαμηλού κόστους και χρησιμοποιούνται σχηματίζοντας συστοιχίες. Η ισχύς που απαιτείται για επικοινωνία είναι μικρή και μπορεί να είναι εφικτή από μικρά φορητά τερματικά.

Στον παρακάτω πίνακα [ABB, παρ 1.3,σελ 17] γίνεται μια σύγκριση μεταξύ των διαφόρων δορυφορικών συστημάτων

	LEO	MEO	GEO
Satellite cost	Maximum	Minimum	Medium
Satellite life (years)	3-7	10-15	10-15
Hand-held terminal	Possible	Possible	Very Difficult
Propagation delay	Short	Medium	Large
Propagation loss	Low	Medium	High
Network complexity	Complex	Medium	Simple
Hand-off	Very	Medium	No
Development period	Long	Short	Long
Visibility of a satellite	Short	Medium	Always

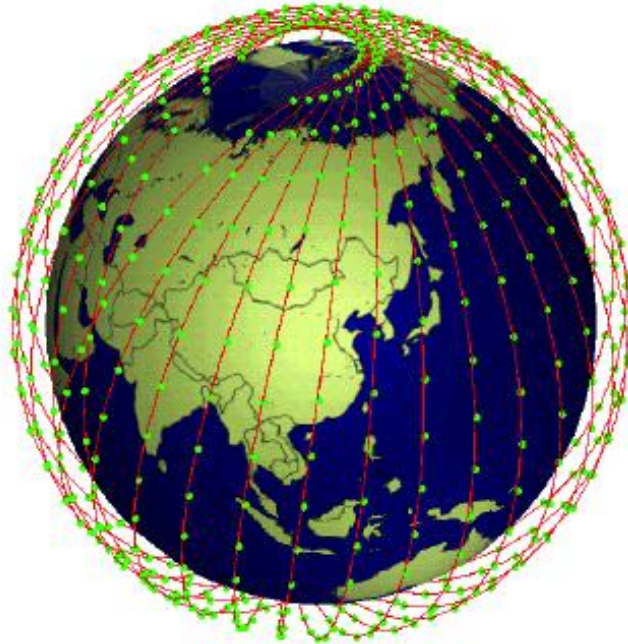
6.3 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ [14]

Η διαδικτύωση μέσω δορυφόρων αναπτύχθηκε με πολύπλοκο τρόπο τα τελευταία χρόνια, στηριγμένη σε σταδιακή ανάπτυξη σε διάφορα επίπεδα δικτύωσης όπως περιγράφονται από το OSI Reference Model του οργανισμού ISO [ISO]. Η διαδικτύωση χρησιμοποιώντας δορυφόρους ξεκίνησε χρησιμοποιώντας απλούς διαφανείς bed-ripe repeaters σε γεωστατικές τροχιές, όπου η ανερχόμενη ζεύξη ενισχύεται, αλλάζει συχνότητα (frequency-shift ώστε να μην παρεμβάλλεται με την ανερχόμενη) και επανεκπέμπεται (κατερχόμενη ζεύξη) σε μια μεγάλη γεωγραφική περιοχή. Η όλη λειτουργία αφορούσε ουσιαστικά επανεκπομπή πολυζωνικής πληροφορίας σε μια μεγάλη περιοχή που ονομάζεται footprint του δορυφόρου. Η συλλογή της πληροφορίας γινόταν από κατάλληλους σταθμούς εδάφους. Ο διαμοιρασμός αυτής της εκπεμπόμενης, φυσικού και data-link επιπέδου, χωρητικότητας οδήγησε στην εισαγωγή σχημάτων Media access control-MAC αυξανόμενης πολυπλοκότητας, έτσι ώστε να χρησιμοποιείται η χωρητικότητα αποτελεσματικά, συνήθως σε συνδυασμό με slotted aloha και τις παραλλαγές του για χρήση με VSAT δίκτυα (Very Small Aperture Terminals)[MAR].

Η ανάπτυξη δορυφόρων με πολλαπλές δέσμες σημείου (spotbeams) οδήγησε σε μεταγωγή και media access control (MAC) πάνω στο δορυφόρο, με έλεγχο της χωρητικότητας να κατανέμεται μέσω κυκλωμάτων και ενός υπο-επιπέδου Logical Link Control (LLC). Το footprint του δορυφόρου χωρίζεται σε κυψέλες (cells) στις οποίες στέλνονται οι πληροφορίες μέσω των spotbeams, που επιτρέπουν σε μια συχνότητα που εξυπηρετεί μια κυψέλη, να επαναχρησιμοποιείται και για τις γειτονικές κυψέλες. Με την επαναχρησιμοποίηση των συχνοτήτων των spotbeams, σε συνδυασμό με το νέο bandwidth της Ka μάντας τα συμμετρικά links γίνονται οικονομικά εφικτά. Οι υψηλές συχνότητες της Ka μάντας σημαίνουν και ότι κεραίες μικρότερης ισχύος, μεγέθους και κόστους μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη γη. Αυτή η εξέλιξη ευνόησε τους LEO και MEO δορυφόρους λόγω της χαμηλής τροχιάς στην οποία κινούνται.

Η ανάπτυξη των intersatellite links (ISLs) (Σημ: που δημιουργήθηκαν από το Department of Defense's Milstar (Military Strategic and Tactical Relay System) για επικοινωνία μεταξύ διαστημικών οχημάτων) για την επικοινωνία μεταξύ των δορυφόρων και ο σχεδιασμός συστοιχιών δορυφόρων που χρησιμοποιούν ISPs, όπως Iridium, Teledisc και Spaceway, οδήγησε στην ανάπτυξη δυναμικά προσαρμόσιμων αλγόριθμων δρομολόγησης για επικοινωνία, διάμεσου ενός

δακτυλιοειδούς πλέγματος από ISLs πολλών δορυφόρων. Ένα τέτοιο πλέγμα φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (συστοιχία TELEDISC)



TELEDISC

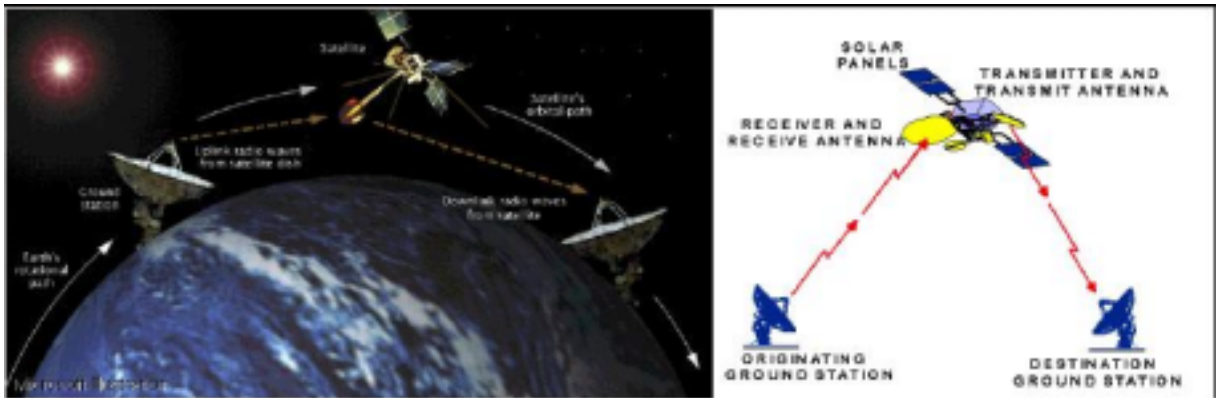
Οι intersatellite links (ISPs) ήταν μια από τις μεγαλύτερες προκλήσεις που αντιμετωπίστηκαν. Οι επικοινωνία μεταξύ δορυφόρων έπρεπε να υπολογίσει τα γεγονότα της διαφορετικής ισχύος των δορυφόρων, της δρομολόγησης και κυρίως της συνεχώς μεταβαλλόμενης θέσης των δορυφόρων-στόχων οι οποίοι κινούνται με μεγάλες ταχύτητες. Αυτό γίνεται ακόμα πιο πολύπλοκο με τις συστοιχίες των LEO που αποτελούνται από πλήθος δορυφόρων

Έτσι ήρθε το πλήρωμα του χρόνου για αλλαγές στο επίπεδο δικτύου, όπου οι δορυφόροι σε τέτοιες συστοιχίες πρέπει να υποστηρίζουν δρομολόγηση και μεταγωγή πάνω στο δορυφόρο. Στην περίπτωση αυτή η συστοιχία από μόνη της αποτελεί ένα πραγματικό δίκτυο ενώ σε συνδυασμό με επίγειους σταθμούς (gateways) δημιουργεί ένα αυτόνομο σύστημα (Autonomous System-AS). Κάτι τέτοιο δεν έχει υλοποιηθεί ακόμα αλλά θεωρείται το επόμενο βήμα εξέλιξης των τηλεπικοινωνιακών δορυφόρων.

6.4 Σημερινή Κατάσταση [18]

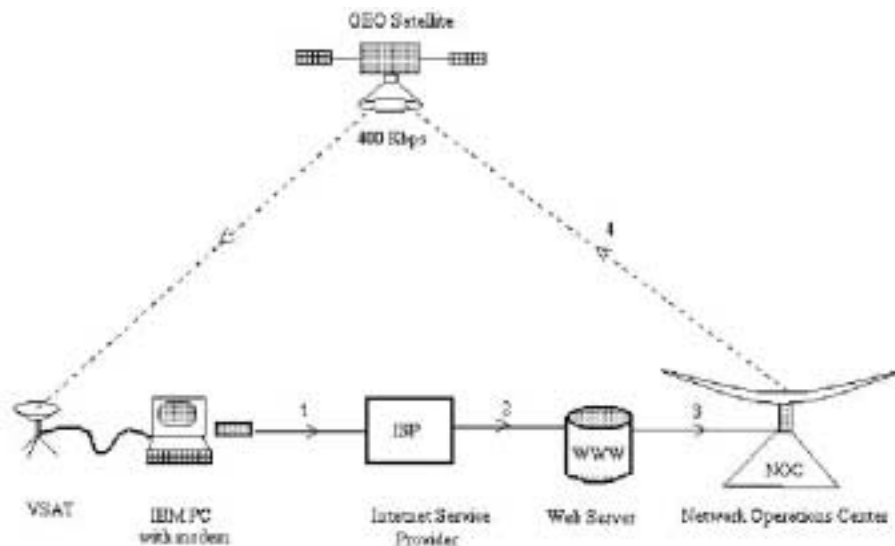
Οι δορυφόροι σήμερα χρησιμοποιούνται για να προσφέρουν τρεις γενικούς τύπους υπηρεσιών διασύνδεσης στο Internet.

- Η “υπηρεσία κορμού” είναι η επικρατούσα δορυφορική υπηρεσία. Αυτή περιλαμβάνει διασύνδεση routers, που έχουν κάνει συγχώνευση πακέτων πληροφορίας στο έδαφος. Αυτή η υπηρεσία είναι παρόμοια με αυτή που εκτελούν τα καλώδια οπτικών ινών ως backbone δίκτυα. Η υπηρεσία αυτή παρέχεται σε επιχειρήσεις που θέλουν να διασύνδεουν τοπικά δίκτυα που βρίσκονται



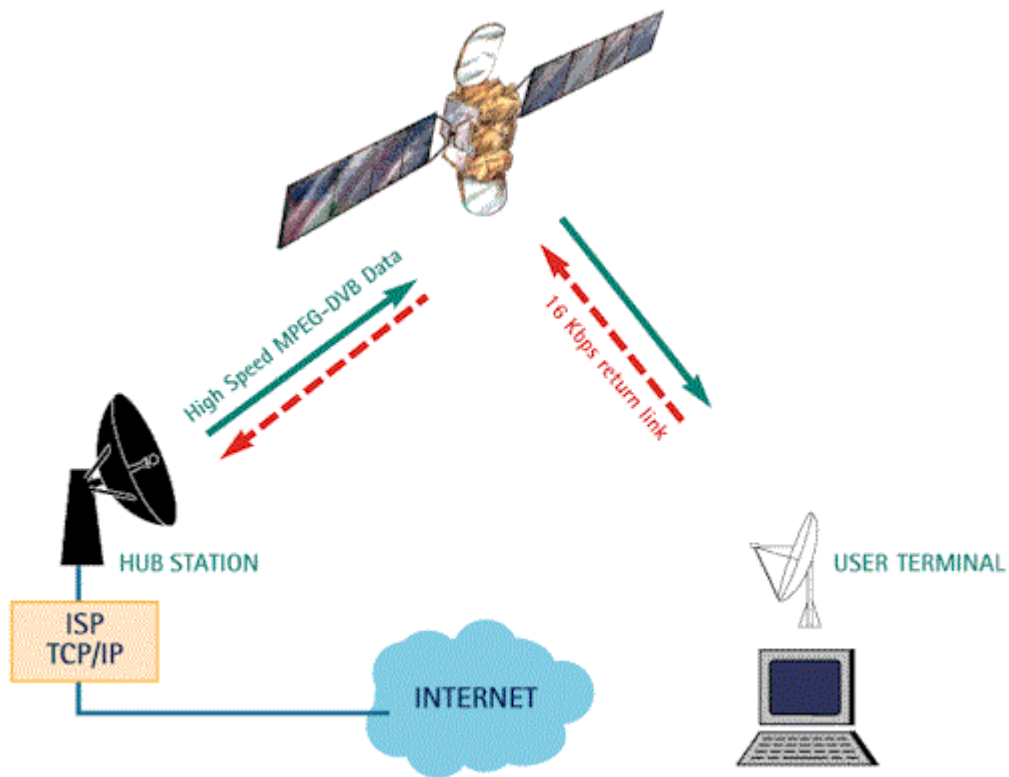
σε μεγάλες αποστάσεις ή σε παροχές υπηρεσιών Internet (Internet Service Providers-ISPs) οι οποίοι με την σειρά τους παρέχουν πρόσβαση στους τελικούς χρήστες μέσω της υπάρχουσας τηλεφωνικής υποδομής. Παραδείγματα τέτοιων υπηρεσιών είναι Panamsat, Karewak Inc.(ένας Alaska ISP), Intelsat, Astra, and Orion.

- Υπηρεσία για υβριδικά δίκτυα. Η υπηρεσία αυτή παρέχει πρόσβαση στο internet απευθείας στον τελικό χρήστη. Οι χρήστες χρησιμοποιούν ένα modem όπως θα έκαναν στην περίπτωση ενός τυπικού παροχέα internet. Όμως σε αυτή τη περίπτωση τα δεδομένα που μεταφέρονται στο χρήστη, όπως μια κλήση για www, δρομολογούνται μέσω δορυφόρου. Με τον τρόπο αυτό τα δεδομένα



συγκεντρώνονται και εκπέμπονται με ταχύτητες πολύ μεγαλύτερες από αυτές ενός κοινού modem. Παράδειγμα είναι το DirectPC. Ο τρόπος λειτουργίας του φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

- Υπηρεσία αμφίδρομη μεγάλης ταχύτητας μέσω VSATs (Very Small Aperture Terminals). Τα τερματικά αυτά έχουν μικρή ισχύ και διαστάσεις (από 80cm μέχρι 1.8m) και παρέχουν 2-way επικοινωνία χωρίς την ανάγκη ύπαρξης σύνδεσης μέσω τηλεφωνικής γραμμής. Ο τρόπος λειτουργίας φαίνεται στο παρακάτω σχήμα



Όταν ζητηθεί κάποιο δεδομένο από το internet πχ μια www σελίδα, η αίτηση στέλνεται μέσω του VSAT με ταχύτητα 16Kbps στον δορυφόρο (Γεωστατικό) και επανεκπέμπεται σε ένα σταθμό Hub ο οποίος στέλνει την ζητούμενη πληροφορία μέσω του δορυφόρου απευθείας στον χρήστη με ταχύτητες που φτάνουν τα 400Kbps. Εκτός από την μη ανάγκη ύπαρξης μιας τηλεφωνικής γραμμής δεν απαιτείται και καμία συνδρομή σε κανένα internet provider. Η χρήση της υπηρεσίας δεν χρεώνεται με τον χρόνο της σύνδεσης αλλά από την ποσότητα των δεδομένων που θα κατεβάσει ο χρήστης. Η υπηρεσία αυτή έχει σημαντικές δυνατότητες multicasting. Τέτοιου είδους υπηρεσίες

άρχισαν να αναπτύσσονται το δεύτερο μισό του 2000 αλλά ο αριθμός τους αυξάνεται συνεχώς σε διάφορα μέρη του κόσμου. Παράδειγμα η εταιρία IVS (Internet Via Satellite) που δραστηριοποιείται στον ευρωπαϊκό χώρο (<http://www.mctserv.com>)[15] και η εταιρία Starband (<http://www.starband.com>)[16] καθώς και η interpacket (<http://www.interpacket.com>)[17] που χρησιμοποιεί συστοιχίες δορυφόρων (9) καλύπτοντας σχεδόν ολόκληρη τη γη.

6.5 Σύγχρονες συστοιχίες δορυφόρων [14]

- Spaceway της Hughes και Astrolink της Lockheed Martin είναι συστοιχίες GEO δορυφόρων που έχουν υιοθετήσει επικοινωνία μεταξύ των ISPs και των σταθερών σταθμών μέσω μεταγωγής που βασίζεται στα ATM, παρόλο που θα χρησιμοποιούν τυπικά ATM MAC/LCC επίπεδα.
- Teledisc είναι συστοιχία LEO δορυφόρων που έχει αναπτύξει ειδικά πρωτόκολλα για τις επικοινωνίες μεταξύ των ISLs και των σταθμών εδάφους.
- Skybridge της εταιρίας alcatel που είναι συστοιχία δορυφόρων LEO που υιοθετεί την χρήση της ATM προσέγγισης χωρίς την χρήση δρομολόγησης πάνω στους δορυφόρους, οι οποίοι δεν έχουν ISLs.

Οι παραπάνω εμπορικές συστοιχίες μπορούν να υποστηρίξουν end-to-end επικοινωνία unicast IP μέσω tunneling αλλά επιπλέον υποστήριξη του IP είναι υπό αμφισβήτηση. Μελλοντικές αλλαγές του IP που να υποστηρίζει IP multicast, IP QoS σε αυτές τις εμπορικές συστοιχίες φαίνονται προβληματικές. Η μεγάλη χρησιμοποίηση των ATM links μπορεί να οδηγήσει στην δημιουργία ενός υποεπιπέδου Link-Layer πάνω από το οποίο θα γίνεται διαχείριση της IP κίνησης.

6.6 Δορυφόροι και TCP/IP

Την ίδια περίοδο που η διαδικτύωση μέσω δορυφόρων αναπτυσσόταν, αναπτυσσόταν παράλληλα και μεγάλωνε σε μέγεθος το internet, χρησιμοποιώντας την οικογένεια πρωτοκόλλων TCP/IP.

Η οικογένεια πρωτοκόλλων TCP/IP άρχισε να χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με δορυφόρους από την δεκαετία του '70 με τα πρώτα πειράματα με το SATNET [10], και αποδείχτηκε ότι οι TCP/IP εφαρμογές λειτουργούν καλά πάνω από δορυφορικές συνδέσεις. Η χρησιμοποίηση IP πάνω από δορυφόρους απαιτεί μόνο αλλαγές στα πρώτα δυο επίπεδα του προτύπου OSI ενώ το επίπεδο δικτύου (στο οποίο ανήκει το IP) παραμένει ίδιο. Έτσι θα μπορούσε να ειπωθεί ότι το IP

λειτουργεί πάνω από δορυφόρους όπως θα λειτουργούσε και πάνω από τοπικό δίκτυο. Παρόλα αυτά η μεγάλη καθυστέρηση και τα λανθασμένα bits, που παρουσιάστηκαν στους γεωστατικούς δορυφόρους (Geostationary Earth Orbit-GEO), οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν πρώτοι, έθεσε περιορισμούς σε interactive εφαρμογές και σε υπάρχουσες TCP εφαρμογές.

Τα προβλήματα που παρουσιάστηκαν στην χρήση δεν αφορούσαν ουσιαστικά το IP αλλά το TCP[4]. Οι αλγόριθμοι έλεγχου συμφόρησης του TCP μεταφράζουν τους θορύβους στις δορυφορικές συνδέσεις ως συμφόρηση και έτσι μειώνουν τον ρυθμό αποστολής, ενώ ακολουθεί αργή επιστροφή στον προηγούμενο ρυθμό. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την χρήση μέρους της ικανότητας αποστολής του δορυφόρου. Επίσης τα δορυφορικά δίκτυα έχουν πολύ χαμηλό λόγο σήματος προς θόρυβο (signal to noise ratios -S/N), που έχει σαν αποτέλεσμα datagrams με πολλά λάθη.

Σήμερα αναπτύσσεται νέα κωδικοποίηση λαθών που απαιτεί ψηφιακά σήματα και η οποία σε συνδυασμό με ψηφιακή συμπίεση αναμένεται να βελτιώσει την δορυφορική επικοινωνία.

Η ευρεία αποδοχή του TCP/IP στο internet και ο συνδυασμός του με επικοινωνία μέσω δορυφόρων, που έχει αποδειχθεί στο παρελθόν ανοίγουν νέους ορίζοντες για μελλοντικό συνδυασμό τους. Έτσι μπορούν να γίνουν interactive εφαρμογές χρησιμοποιώντας το User Datagram Protocol (UDP), το Real-time protocol (RTP) ή επικοινωνία και αποστολή σε πολλούς χρήστες χρησιμοποιώντας IP multicast.

6.7 Δρομολόγηση

Όπως αναφέρθηκε η χρησιμοποίηση IP πάνω από δορυφόρους απαιτεί μόνο αλλαγές στα πρώτα δυο επίπεδα του προτύπου OSI ενώ το επίπεδο δικτύου παραμένει ίδιο. Έτσι θα μπορούσε να ειπωθεί ότι το IP λειτουργεί πάνω από δορυφόρους όπως θα λειτουργούσε και πάνω από τοπικό δίκτυο. Για το λόγο αυτό και δεν χρειάζονται να γίνουν ιδιαίτερες ρυθμίσεις σε σταθερούς κόμβους που χρησιμοποιούν για την επικοινωνία τους δορυφόρους (η δρομολόγηση γίνεται όπως σε οποιοδήποτε LAN).

[SOM]Αντίθετα με την απλότητα στην σύνδεση σταθερών κόμβων, η επίτευξη πρόσβασης στα δορυφορικά κανάλια από κινητούς κόμβους δημιουργεί προβλήματα δρομολόγησης (κινητοί κόμβοι εννοούνται οι χρήστες που κινούνται κατά τη σύνδεση τους με το δορυφόρο οπότε αυτός πρέπει να αναλάβει να αναγνωρίσει που βρίσκονται και να διατηρεί την επικοινωνία (παραπέμποντας τους πολλές φορές σε άλλο δορυφόρο ή δέσμη με on-board δραστηριότητες)). Για τον λόγο αυτό

χρησιμοποιείται η τεχνική του mobility όπως και στα ασύρματα τοπικά δίκτυα (WLANs) που αναφέρθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους.

Βασική αρχή είναι ότι κάθε χρήστης έχει μια σταθερή διεύθυνση (home address-IP). Η αποστολή των πακέτων και η υλοποίηση της επικοινωνίας του χρήστη με το δορυφόρο γίνεται μέσω της σταθερής βάσης αυτού και η λήψη στο μέρος που αυτός βρίσκεται κινούμενος .

Το σύστημα μπορεί να λειτουργεί όπως στην κυψελοειδή τηλεφωνία. Για κάθε περιοχή που καλύπτει μια δέσμη συχνοτήτων του δορυφόρου θα υπάρχει ένας home agent (ο οποίος θα βλέπει πόσοι χρήστες που το home address τους βρίσκεται σ ` αυτή τη περιοχή, βρίσκονται σε άλλες), και κάποιοι foreign agents που θα δείχνουν πόσοι χρήστες υπάρχουν στη περιοχή και ζητούν επικοινωνία.

Η δρομολόγηση θα γίνεται μέσω πινάκων οι οποίοι θα σχηματίζονται από τα στοιχεία των home και foreign agents. Αυτή θα γίνεται ως εξής :

- 1 . ενημέρωση μέσω δορυφόρου με ευρεία εκπομπή (advertisements) από τους foreign agents για τον αριθμό χρηστών που ο καθένας έχει στη περιοχή του
2. κάθε χρήστης δίνει στον foreign agent της περιοχής του το home και link layer address αλλά και άλλες πληροφορίες
3. επικοινωνία μεταξύ home και foreign agents για τη δημιουργία των πινάκων
4. εγγραφή των χρηστών σε κάποιον foreign host για προκαθορισμένο χρόνο

Τα δεδομένα όταν στέλνονται πάνε στη φυσική διεύθυνση του χρήστη και από εκεί η δρομολόγηση γίνεται μέσω των πινάκων που έχουν δημιουργηθεί (επικοινωνία μεταξύ home και foreign agents-tunneling ή direct routing) στο ση μ που αυτός βρίσκεται . Όταν ένας χρήστης αλλάξει περιοχή πρέπει να κάνει ξανά εγγραφή . Η διεύθυνση που φαίνεται να έχει ο κινούμενος χρήστης είναι αυτή του foreign agent που έχει αυτός εγγραφεί .

6.7.1 Κινητό IP (mobile IP)

Κάθε IP διεύθυνση περιέχει τρία πεδία την κλάση, τον αριθμό του δικτύου και τον αριθμό του οικοδεσπότη. Οι δρομολογητές έχουν πίνακες οι οποίοι καθοδηγούν την ζήτηση για το πως θα βρουν ένα πεδίο και τελικά το IP.

Εξαιτίας αυτού του γεγονότος γίνεται η επικοινωνία. Όταν όμως ο χρήστης κινείται τότε χρειαζόμαστε το IP να αλλάζει με κάποιο τρόπο. Οι κινούμενοι χρήστες έχουν σταθερά IP τα οποία με την διαδικασία της προηγούμενης παραγράφου ταυτίζονται με κάποιο άλλο ανάλογα το που βρίσκεται ο χρήστης .

Η διαδικασία έχει ως εξής: στέλνεται πακέτο δεδομένων από ένα χρήστη σε άλλον κινούμενο. Ο δρομολογητής εκπέμπει ένα ARP πακέτο και ψάχνει να βρει το κινητό IP του κινούμενου χρήστη. Ο home agent ο οποίος έχει υπό την δικαιοδοσία του τον κινούμενο χρήστη (είναι ο agent ο οποίος καλύπτει την περιοχή που ο κινούμενος χρήστης έχει το σταθερό του IP) απαντά στο ARP πακέτο δίδοντας τη διεύθυνση του. Ο δρομολογητής του στέλνει τα πακέτα και ο home agent τα οδηγεί (tunneling) ενσωματώνοντάς αυτά στο πεδίο του φορτίου ενός IP πακέτου στη διεύθυνση του foreign agent που ο κινούμενος χρήστης έχει εγγραφεί. Ο foreign agent τελικά τα αποστέλλει στον τελικό χρήστη .

Ταυτόχρονα ο home agent δίνει στον πομπό τη διεύθυνση του foreign agent για να τα λαμβάνει πλέον κατευθείαν ο χρήστης. Οι εναλλαγές του IP του κινούμενου χρήστη στο δρομολογητή γίνονται με την τεχνική που ονομάζεται πλεονάζων ARP.

Στην περίπτωση που οι κινούμενοι χρήστες βρίσκονται σε κινούμενο μέσο τότε επιλέγεται η τεχνική του αναδρομικού tunneling.

6.8 Σύγχρονες εξελίξεις που αφορούν το IP και τους Δορυφόρους [14]

Όπως αναφέρθηκε και πρωτίτερα οι σύγχρονες εξελίξεις κινούνται προς την κατεύθυνση όπου οι δορυφόροι σε συστοιχίες θα υποστηρίζουν δρομολόγηση και μεταγωγή πάνω στο δορυφόρο. Στην περίπτωση αυτή η συστοιχία από μόνη της θα αποτελεί ένα πραγματικό δίκτυο ενώ σε συνδυασμό με επίγειους σταθμούς (gateways) θα δημιουργεί ένα αυτόνομο σύστημα (Autonomous System AS).

Για να υλοποιηθούν οι παραπάνω στόχοι θα πρέπει να διευθετηθούν κάποια ζητήματα. Αρχικά πρέπει να υπάρξει συγχρονισμός των δορυφόρων σε επίπεδο συστοιχίας ώστε η επικοινωνία μεταξύ τους να είναι ακριβής (αυτό είναι ιδιαίτερα δύσκολη υπόθεση ειδικά στην περίπτωση κινουμένων δορυφόρων LEO). Έτσι πρέπει να χρησιμοποιηθεί κατάλληλη τοπολογία των συστοιχιών ώστε να

μπορούν να είναι εκμεταλλεύσιμα στοιχεία όπως η περιοδικότητα στην κίνηση, ο αριθμός των δορυφορικών κόμβων, η προβλεψιμότητα της θέσης κτλ.

Οι στόχοι για τους οποίους σχεδιάζεται η δρομολόγηση πάνω στους δορυφόρους των συστοιχιών είναι πολλοί και με μεγάλη σημασία.

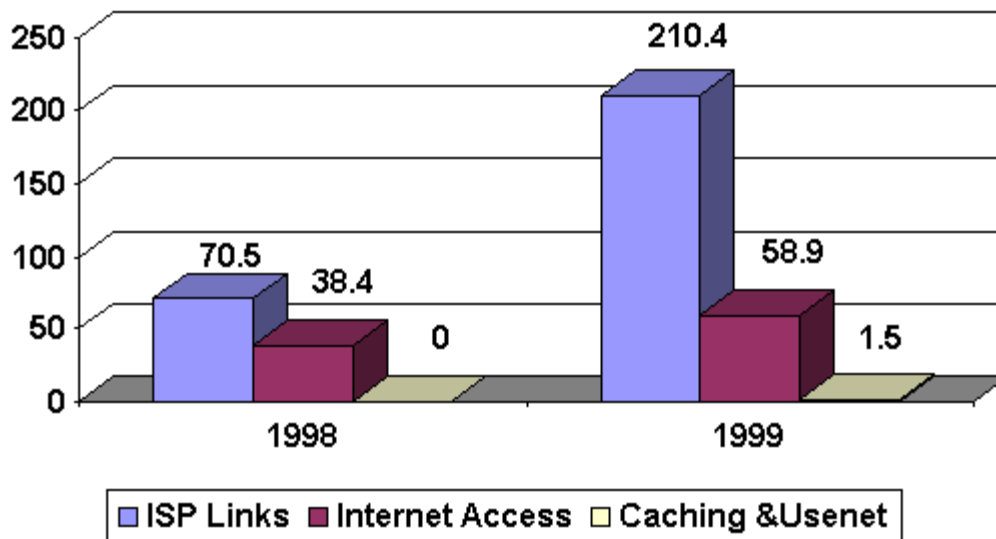
- Αρχικά είναι η δυνατότητα για IP multicast χρησιμοποιώντας το IGMP (Internet Group Management Protocol ή άλλα multicast πρωτόκολλα.
- Η υποστήριξη του Quality of Service (QoS) χρησιμοποιώντας δυο διαφορετικές αρχιτεκτονικές: Intergrated Services και Differentiated Services

6.9 Στατιστικά στοιχεία για την διείσδυση των δορυφόρων στην αγορά[12][13]

Σύμφωνα με αναφορά του International Space Business Council (www.spacebusiness.com)[19] ο τομέας του satellite broadcasting αναμένεται να σημειώσει ανάπτυξη κατά 2000% στα επόμενα 5 χρόνια. Με την εισαγωγή των VSAT το 2^ο εξάμηνο του 2000 η κίνηση του internet μέσω δορυφόρων αναμένεται να εκτοξευτεί στα ύψη αφού αναμένεται να γίνει αναπροσαρμογή των τιμολογίων λόγω ανταγωνισμού.

Οι ακόλουθοι πίνακες παρουσιάζουν την μεγάλη διείσδυση του IP over Satellite τα προηγούμενα χρόνια.

Ο πρώτος πίνακας δείχνει την αξία των συμβάσεων ενοικίασης πομπών από τους διαχειριστές δορυφόρων για τις τρεις κύριες κατηγορίες υπηρεσιών μέσω δορυφόρων.

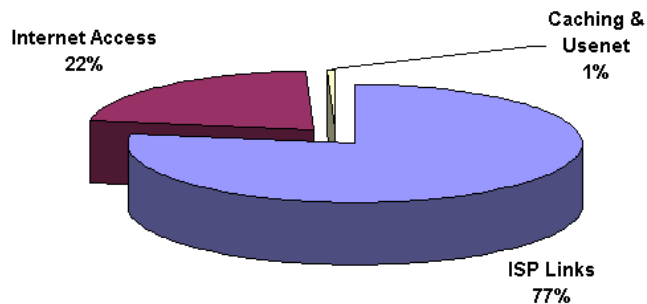


Πίνακας 1

Increase in Market Value, Satellite IP Traffic, US\$m

Source: DTT Consulting

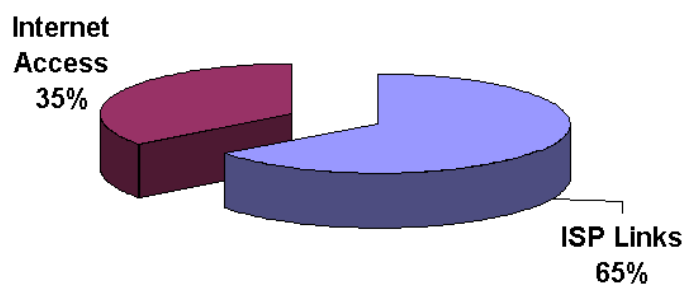
Ο πίνακας 2 δείχνει τον χωρισμό της αγοράς σε ποσοστά ανά υπηρεσία ανάλογα με την αξία τους .



Πίνακας 2

Split of Traffic by Value, Winter 1999, Source: DTT Consulting

Ο πίνακας 3 δείχνει τον χωρισμό της αγοράς την άνοιξη του 1998. Σε σχέση με τον πίνακα του 1999 παρατηρείται αύξηση του ποσοστού των ISP links για σύνδεση μέσω δορυφόρου. Βέβαια η

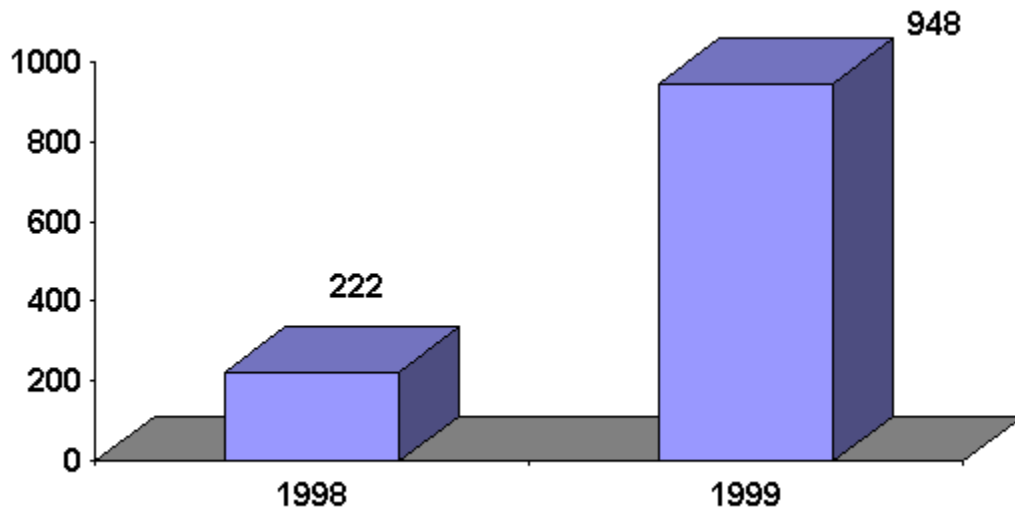


Πίνακας 3

Split of Traffic by Value, Winter 1998, Source: DTT Consulting

έκρηξη των VSAT δεν έχει ακόμα σημειωθεί και η μόνη λύση για internet access είναι μέσω DirecPC and DVB/MPEG-2

Ο τελευταίος πίνακα δείχνει την αύξηση κατά 427% του αριθμού των Internet Providers μέσω δορυφόρων που σημειώθηκε από το 1998 μέχρι το 1999.



Πίνακας 4

Actual Growth in Number of Satellite ISP links

Source: DTT Consulting

Από τους παραπάνω πίνακες που παρουσιάζονται γίνεται εμφανές ότι η χρησιμοποίηση δορυφόρων που θα δουλεύουν πάνω από IP θα συνεχίσει να αυξάνεται. Σε αυτό θα βοηθήσει και η μεγάλη εξάπλωση των VSATs, που λαμβάνει χώρα τους τελευταίους μήνες, και που αναμένεται να πάρει μεγάλο μέρος της αγοράς παρακάμπτοντας τους internet providers.

Πάντως σύμφωνα με τις προβλέψεις του Andrew Tanenbaum στο βιβλίο του “Computer Networks”(παρ 2.2.7,έκδοση 2):“Οι δορυφορικές επικοινωνίες θα αυξήσουν την δημοτικότητα τους μέχρι ότου όλα τα χάλκινα καλώδια αντικατασταθούν από ίνες (κάπου στο μέσο του 21^{ου} αιώνα). Σε εκείνη την εποχή οι ίνες θα είναι ο τελικός νικητής, εκτός πιθανόν από εκείνες τις εφαρμογές που απαιτούν εκπομπή (broadcasting) όπως η τηλεοπτική μετάδοση.”

Ο χρόνος θα δείξει αν οι προβλέψεις του τελικά επαληθευτούν ή όχι.

IP over Adhoc networks

7.1 Εισαγωγή

Τα ασύρματα δίκτυα είναι μια εξελισσόμενη νέα τεχνολογία που επιτρέπει στους χρήστες να έχουν πρόσβαση σε πληροφορίες και υπηρεσίες ηλεκτρονικά, ασχέτως της γεωγραφικής τους θέσης. Τα ασύρματα δίκτυα μπορούν να διακριθούν σε δύο κατηγορίες :-στα δίκτυα που στηρίζονται σε υπάρχουσα υποδομή:- *infrastructured networks* και στα δίκτυα που δεν έχουν υποδομή *infrastructureless (ad hoc)*. Τα δίκτυα με υπάρχουσα υποδομή αποτελούν ένα δίκτυο με σταθερές ενσύρματες *gateways*. Αντίθετα ένα "Mobile Ad hoc NETWORK" (MANET) είναι ένα αυτόνομο σύστημα κινητών *routers* (και συνεργαζόμενων *hosts*) οι οποίοι συνδέονται με ασύρματα *links*. Η ένωση αυτών των *routers* δημιουργεί ένα αυθαίρετο σχήμα. Οι *routers* είναι ελεύθεροι να κινούνται τυχαία και να οργανώνονται τυχαία. Αυτή τους η ικανότητα κάνει την ασύρματη τοπολογία του δικτύου να μπορεί να αλλάζει γρήγορα και απρόβλεπτα. Ένα τέτοιο δίκτυο μπορεί να λειτουργεί μόνο του (όπου οι κόμβοι επικοινωνούν μεταξύ τους απευθείας) ή και να συνδεθεί στο Internet.

Σύμφωνα με το RFC2501 [20] οι προσδοκίες του *mobile ad hoc networking* είναι να υποστηρίζει ικανή και αξιόπιστη λειτουργία σε κινητά ασύρματα δίκτυα ενσωματώνοντας λειτουργική δρομολόγηση σε κινητούς κόμβους. Τέτοια δίκτυα έχουν σχεδιαστεί για να έχουν δυναμικές, γρήγορα εναλλασσόμενες, τυχαίες, *multihop* τοπολογίες οι οποίες θα μπορούν να υλοποιηθούν από σχετικά περιορισμένου εύρους (*bandwidth*) ασύρματες συνδέσεις.

Μέσα στην κοινότητα του *internet*, η υποστήριξη δρομολόγησης για κινητούς *hosts* έχει τώρα διατυπωθεί ως τεχνολογία "mobile IP"[21]. Αυτή η τεχνολογία υποστηρίζει περιαγωγή όπου ο *host* μπορεί να συνδεθεί με ποικίλους τρόπους στο *internet* χωρίς να χρησιμοποιήσει την σταθερή του διεύθυνση.

Υποστήριξη αυτής της μορφής της κινητικότητας απαιτεί διαχείριση διευθύνσεων, επαυξήσεις πρωτοκόλλων διαλειτουργικότητας και άλλα, όμως οι βασικές λειτουργίες δικτύου θα πρέπει να βασίζονται σε προϋπάρχοντα πρωτόκολλα δρομολόγησης του ορισμένου δικτύου. Σε αντίθεση ο σκοπός του *mobile ad hoc networking* είναι να επεκτείνει την κινητικότητα ώστε ένα σετ από κόμβους (που μπορεί να είναι *routers* και *hosts*) να μπορεί από μόνο του να ρυθμίζει την υποδομή δρομολόγησης του δικτύου με ένα *ad hoc* τρόπο.

Η τεχνολογία των adhoc δικτύων είναι με απλά λόγια μια βελτιωμένη τεχνολογία διαδικτύωσης βασισμένη-στο-IP για δυναμικά-αυτόνομα ασύρματα δίκτυα.

7.2 Χαρακτηριστικά των MANETS

Ένα MANET είναι ένα αυτόνομο σύστημα κινητών κόμβων. Το σύστημα μπορεί να λειτουργεί απομονωμένο ή μπορεί να έχει πύλες (gateways) ή και διασύνδεση (interface) με ένα σταθερό δίκτυο.

Τα MANET έχουν αρκετά αξιοπρόσεχτα χαρακτηριστικά

- Έχουν δυναμικές τοπολογίες που μπορούν να μεταβάλλονται συνεχώς
- Έχουν περιορισμένου εύρους και μεταβλητής χωρητικότητας συνδέσεις
- Περιορισμένης ενέργειας λειτουργία-κάποιοι από τους κόμβους μπορεί να βασίζονται σε μπαταρίες και έτσι πρέπει να έχουν μικρή κατανάλωση ενέργειας.
- Μειωμένη ασφάλεια στο φυσικό επίπεδο. Τα κινητά ασύρματα δίκτυα είναι πιο ευάλωτα από τα ενσύρματα. Έτσι σε αυτά πρέπει να ληφθεί υπόψη η αυξημένη πιθανότητα eavesdropping, spoofing and denial-of-service attacks. Ως πλεονέκτημα, η αποκεντρωμένη φύση του έλεγχου του δικτύου στα MANET, τους δίνει την δυνατότητα να αντέχουν περισσότερο από δίκτυα με πιο «συγκεντρωμένο» έλεγχο.

Ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό των MANET είναι ότι σύμφωνα με το RFC2501 θα πρέπει να υποστηρίζουν παραδοσιακές connectionless IP υπηρεσίες.

7.3 Πρωτόκολλα δρομολόγησης για Ad hoc Δίκτυα [22]

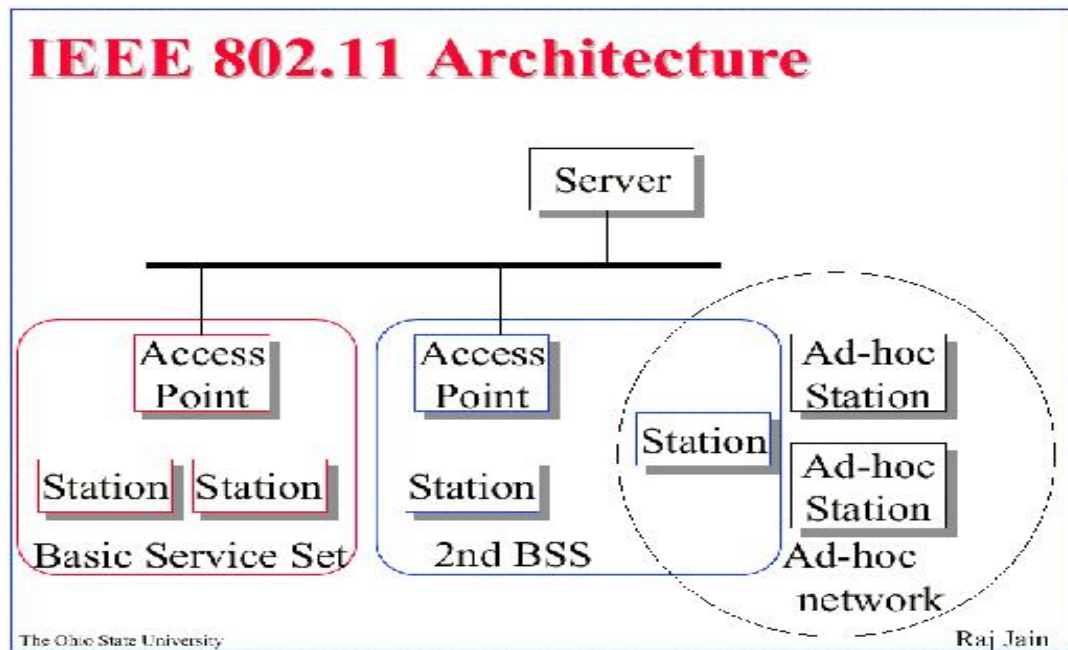
Τα πρωτόκολλα δρομολόγησης για Ad hoc δίκτυα μπορούν να χωριστούν σε δυο κατηγορίες: στα πρωτόκολλα που βασίζονται σε πίνακα (table-driven) και σε αυτά που βασίζονται στην ζήτηση (on-demand routing based). Στα table driven πρωτόκολλα δρομολόγησης οι νεότερες πληροφορίες δρομολόγησης διατηρούνται σε κάθε κόμβο ενώ όταν η τοπολογία του δικτύου αλλάξει, οι κόμβοι εκπέμπουν νεότερα μηνύματα στο δίκτυο για να υπάρχει ανανεωμένη πληροφορία που να αφορά την τοπολογία. Στην on-demand δρομολόγηση οι διαδρομές (routes) δημιουργούνται μόνο όταν ζητηθεί από τον source host. Οι διαδρομές αυτές συνεχίζουν να ισχύουν μέχρι που η πληροφορία φτάσει στον προορισμό της ή η διαδρομή δεν είναι πλέον απαραίτητη.

Στα table-driven πρωτόκολλα δρομολόγησης ανήκουν: Destination-Sequenced Distance-Vector (DSDV), Wireless Routing Protocol (WRP), Global State Routing (GSR), Fisheye State Routing (FSR), Hierarchical State Routing (HSR), Zone-based Hierarchical Link State Routing Protocol (ZHLS), Clusterhead Gateway Switch Routing (CGSR).

Στα on-demand πρωτόκολλα δρομολόγησης ανήκουν: Cluster Based Routing protocol (CBRP), Ad hoc On-demand Distance Vector Routing (AODV), Dynamic Source Routing Protocol, Temporally Ordered Routing Algorithm (TORA), Associativity Based Routing (ABR) protocol, Signal Stability Routing (SSR).

7.4 Πρωτόκολλα υποστήριξης των Ad hoc δικτύων [22][23]

Η αρχιτεκτονική που περιγράφεται στο πρότυπο IEEE 802.11 υποστηρίζει τα Ad hoc δίκτυα όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα [8].



Όμως και το πρότυπο HIPERLAN (High Performance Radio LAN) του European Telecom Standards Institute ETSI, παρέχει πλήρη υποστήριξη στα Ad hoc δίκτυα όπως επίσης και στα infrastructure.

7.5 Mobile IP και Ad hoc δίκτυα

Το πρότυπο Mobile IP υποστηρίζει τα ad hoc δίκτυα. Η μέθοδος που χρησιμοποιείται είναι παρόμοια με αυτή για τα ασύρματα τοπικά δίκτυα με την χρησιμοποίηση των home και foreign agents και της COA. Αναλυτικά ο τρόπος λειτουργίας του Mobile IP έχει αναφερθεί στην παράγραφο 5.2.5 για τα WLANs.

7.6 Πλεονεκτήματα χρησιμοποίησης IP-επιπέδου δρομολόγησης σε MANET [20][24]

Ένα πραγματικό πλεονέκτημα της χρησιμοποίησης IP-επιπέδου δρομολόγησης σε MANET είναι ότι μπορούμε να παρέχουμε επιπέδου-δικτύου συνοχή multihop δικτύων. Η συνοχή αυτή μπορεί να δημιουργηθεί χρησιμοποιώντας κόμβους που έχουν συνδυασμό διάφορων μέσων φυσικού επιπέδου π.χ έναν συνδυασμό από αυτά που θεωρούνται subnet τεχνολογίες. Ένας MANET κόμβος βασικά αποτελείται από ένα router, ο οποίος μπορεί να είναι φυσικά συνδεδεμένος σε πολλούς IP hosts, που να έχουν διάφορα ασύρματα interfaces-Κάθε interface χρησιμοποιεί διαφορετική ασύρματη τεχνολογία. Έτσι ένας MANET κόμβος με interfaces που χρησιμοποιούν τεχνολογίες A και B μπορεί να επικοινωνήσει με έναν οποιοδήποτε κόμβο MANET που έχει interface με τεχνολογία A ή B.

Η multihop συνδεσιμότητα της τεχνολογίας A δημιουργεί μια φυσικού επιπέδου multihop τοπολογία. Παρόμοια και για το B. Η ένωση των 2 τοπολογιών δημιουργεί μια τοπολογία που είναι η «δομή της IP δρομολόγησης» του MANET. Οι MANET κόμβοι μπορούν να παίρνουν αποφάσεις χρησιμοποιώντας την IP-δομή δρομολόγησης και να επικοινωνούν χρησιμοποιώντας μια από τις δυο ή και τις δυο φυσικού-επιπέδου τοπολογίες, ταυτόχρονα.. Καθώς αναπτύσσονται νέες τεχνολογίες φυσικού επιπέδου, αυτές μπορούν να ενσωματωθούν στην IP-Δομή. Είναι τέτοια η λειτουργικότητα και η αρχιτεκτονική ευελιξία που η IP-επιπέδου δρομολόγηση μπορεί να υποστηρίξει, που μπορεί να δημιουργήσει hardware οικονομίες κλίμακας.

Σύμφωνα με τον Charles E. Perkins η χρήση IP-επιπέδου δρομολόγησης κατά κάποιο τρόπο σπάει το subnet μοντέλο. Στην πραγματικότητα ένας MANET κόμβος (δηλαδή ένας router φυσικά

συνδεδεμένος σε ένα group από hosts) μοιάζει με ένα κινητό subnet. Η multihop τοπολογία της δομής των MANET διασύνδεει αυτά τα "mobile subnets".

Δικτυακοί τόποι

[1] <http://www.microsoft.com/technet/network/intern.asp>

Το site της γνωστής εταιρίας Microsoft. Στην υποσελίδα αυτή αναφέρονται βασικές οδηγίες πάνω στο Internet Protocol (IP)-Άρθρο γραμμένο από τους Thomas Lee και Joseph Davies

[2] http://www.medialab.ntua.gr/multinew/chap2d_2.htm

Σελίδα του Εθνικού Μετσόβειου Πολυτεχνείου στην οποία γίνεται αναλυτική περιγραφή των τοπικών δικτύων (ethernet και token ring με μεγάλη λεπτομέρεια)

[3] http://www.cis.ohio-state.edu/~jain/cis788-99/wireless_lans/index.html

Σελίδα του πανεπιστημίου του Ohio, του καθηγητή Raj Jain στην οποία αναλύονται τα πρότυπα IEEE 802.11 και HIPERLAN στο φυσικό και στο MAC επίπεδο (παραπομπή σε pdf)

[4] http://www.cis.ohio-state.edu/~jain/cis788-95/wireless_lan/index.html

Σελίδα του πανεπιστημίου του Ohio, του καθηγητή Raj Jain στην οποία εξηγούνται τα wireless LANs, τα προϊόντα που παρέχονται, τα πρότυπα που χρησιμοποιούνται στο wireless networking (IEEE 802.11) (στο site υπάρχει παραπομπή σε pdf).

[5] <http://www.networkcomputing.com/netdesign/wlan3.html>

Άρθρο του Peter Rysavy με τίτλο “Planning and Implementing Wireless LANS” που εξηγεί τα ασύρματα δίκτυα, τα πρότυπα που τα διέπουν, θέματα ασφάλειας, περιαγωγής κτλ

[6] <http://www.angelfire.com/ak2/wireless>

Άρθρο “Introduction to Wireless Networking”. Σελίδα των Buduri Arun Kumar και Amlan Das, Madras, INDIA-Πληροφορίες σχετικά με τους τύπους των wireless lans, τα πρότυπα που τα διέπουν κτλ.

[7] <http://www.networkcomputing.com/netdesign/wlan4.html>

Συνέχεια του άρθρου του Peter Rysavy [5] με τίτλο “Planning and Implementing Wireless LANS”. Στο σημείο αυτό εξετάζει τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται και κυρίως το mobile IP

[8] http://www.cis.ohio-state.edu/~jain/cis788-97/h_cwir.htm

Σελίδα του πανεπιστημίου του Ohio, του καθηγητή Raj Jain. Στην σελίδα αυτή περιέχεται link για ένα pdf που έχει διαφάνειες από την παρουσίαση θέματος με τίτλο "Wireless Data Networking"

[9] <http://www.nwc.com/905/905f22.html>

Άρθρο για δορυφόρους με τίτλο “Networking in the 21st Century: The Sky's the Limit”. Περιέχει γενικές πληροφορίες για την χρησιμοποίηση των δορυφόρων. Αναφέρεται στους LEO, GEO, MEO στις συστοιχίες δορυφόρων και στα intersatellite links-ISPs

[10] <http://www.ietf.org/rfc/rfc2002.txt>

V.g. Cerf, "Packet satellite reference sources", RFC829, DARPA, November 1982

[11] <http://satellite.about.com/industry/satellite/library/weekly/aa070100.htm>

Site που ασχολείται Γενικά με δορυφόρους. Περιέχει άρθρο με τίτλο "Broadband Internet" όπου αναφέρεται στους δορυφόρους και στα προβλήματα που παρουσιάζει η χρησιμοποίηση σε αυτούς του TCP/IP. Ακόμα δείχνει ρυθμούς ανάπτυξης του δορυφορικού internet και τις τελευταίες εξελίξεις στην δορυφορική τεχνολογία.

[12] <http://www.spotbeam.com/mansum99.htm>

Σελίδα με στατιστικά στοιχεία για την χρησιμοποίηση του IP πάνω από δορυφόρους. Αναφέρεται στους ρυθμούς ανάπτυξης και σε χρηματικά ποσά που δαπανήθηκαν για παροχή Internet πάνω από δορυφόρους. Τα στοιχεία είναι της εταιρίας DTT Consulting

[13] <http://satellite.about.com/industry/satellite/library/weekly/aa070100.htm>

Site που ασχολείται γενικά με δορυφόρους. Περιέχει άρθρο με τίτλο "Broadband Internet" όπου αναφέρεται στους δορυφόρους και στα προβλήματα που παρουσιάζει η χρησιμοποίηση σε αυτούς του TCP/IP. Ακόμα δείχνει ρυθμούς ανάπτυξης του δορυφορικού internet και τις τελευταίες εξελίξεις στην δορυφορική τεχνολογία.

[14] www.ee.survey.ac.uk/Personal/L.Wood/Publications/Wood-et-al-ip-routing-issues.pdf

Περιέχει τις εκδόσεις του Lloyd Wood's. Σε αυτές περιέχεται το pdf με τίτλο "IP routing issues in satellite constellation networks"

[15] <http://www.mctserv.com>

Ευρωπαϊκή εταιρία παροχής δορυφορικού Internet με αμφίδρομη επικοινωνία

[16] <http://www.starband.com>

Site της εταιρίας StarBand Communications Inc. Είναι μια εταιρίας που παρέχει high-speed, two-way satellite-delivered Internet service στους καταναλωτές. Στους στρατηγικούς σύμμαχους της εταιρίας περιλαμβάνονται οι: Microsoft, EchoStar (owner/operator of DISH Network® TV service) και η Gilat Satellite Networks, μια εταιρία παροχής υπηρεσιών μέσω δορυφόρων που κατέχει ηγετική θέση στην παγκόσμια αγορά.

[17] <http://www.interpacket.com>

Εταιρία για παροχή Internet μέσω δορυφόρου (satellite based internet service network). Λειτουργεί ως backbone, παρέχει Ip multicasting και εξυπηρετεί Internet Providers σε πάνω από 100 χώρες του κόσμου. Χρησιμοποιεί συστοιχίες δορυφόρων (9) καλύπτοντας σχεδόν ολόκληρη τη γη.

[18] <http://www.trw.com/cache/272.html>

Άρθρο του Aaron Falk, Network Systems Engineer, TRW Space and Electronics Group, με τίτλο “TCP/IP over a satellite cell switch”. Υπάρχει σε μορφή pdf

[19] <http://www.spacebusiness.com>

Site με στατιστικά στοιχεία για την χρήση δορυφόρων

[20] <http://www.ietf.org/rfc/rfc2501.txt>

Rfc2501 με θέμα “Mobile Ad hoc Networking (MANET): Routing Protocol Performance Issues and Evaluation Considerations”

[21] <http://www.ietf.org/rfc/rfc2002.txt>

Rfc 2002 (Mobile Ip) με θέμα “IP Mobility Support”

[22] http://www.cis.ohio-state.edu/~jain/cis788-99/adhoc_routing/index.html

Στην σελίδα αυτή περιέχεται link για ένα pdf με τίτλο “Routing Protocols for Ad Hoc Mobile Wireless Networks”

[23] http://www.cis.ohio-state.edu/~jain/cis788-95/mobile_ip/index.html

Στην σελίδα αυτή περιέχεται link για ένα pdf με τίτλο “A Survey Paper on Mobile IP” By Yi-an Chen

[24] <http://www.cs.hut.fi/~mart/mail/manet/1998/0055.html>

Site που περιέχει κομμάτια από ομάδες συζήτησης (MANET mail archive 1998 -M. Scott Corson) (corson@glue.umd.edu)

Βιβλιογραφία

[ABB] Abbas Jamalipour, “*Low Earth Orbital Satellites for Personal Communication Networks*”, ARTECH HOUSE, 1998.

[Alles] Alles, A., “*ATM Internetworking*”, Engineering InterOp, Las Vegas, March 1995.

[Anderson] Anderson, J., Manchester, S., J., Rodriguez–Moral, A. and Veeraraghavan, M., “*Protocols and Architectures for IP Optical Networking*”, Bell Labs Technical Journal, January – March 1999.

[Dickie] Dickie, M., “*Routing in Today's Internetworks*”, Van Nostrand Reinhold, 1994.

- [Doshi] Doshi, B., T., Dravida, S., Harshavardhana, P. and Qureshi, M., A., “*A Comparison of Next-Generation IP-Centric Transport Architectures*”, Bell Labs Technical Journal, October – December 1998.
- [Finn] Finn, N. and McCloghrie, K., “*ATM Forum 95-0352: LAN Emulation and MPOA*”, March 1995.
- [Ginsburg] Ginsburg, D., “*ATM: Solutions for Enterprise Internetworking*”, Addison-Wesley, 1996.
- [G.707] ITU-T, “*Network Node Interface for the Synchronous Digital Hierarchy (SDH)*”, ITU-T Rec. G.707, March 1996.
- [IC] IEEE, “*Internet Computing*”, January – February, p58-69, 1998.
- [ISO] ISO, “*Basic Reference Model for Open Systems Interconnection*”, ISO7498, 1984.
- [Jain] Jain, R., “*FDDI Handbook: High-Speed Networking Using Fiber and Other Media*”, Addison-Wesley, 1994.
- [Kartalopoulos] Kartalopoulos, S., “*Introduction to DWDM Technology: Data in a Rainbow*”, IEEE Press, 2000.
- [Manchester] Manchester, J., Anderson, J., Doshi, B., T. and Dravida, S., “*IP over SONET*”, IEEE Communications Mag., Vol. 36, No. 5, May 1998.
- [MAR] Maral, G., “*VSAT NETWORKS*”, J. Wiley & Sons, 1995.
- [RFC826] Plummer, D., “*An Ethernet Address Resolution Protocol - or - Converting Network Protocol Addresses to 48bit Ethernet Addresses for Transmission on Ethernet Hardware*”, STD 37, RFC 826, November 1982.
- [RFC1293] Bradely, T., and C. Brown, “*Inverse Address Resolution Protocol*”, RFC 1293, January 1992.
- [RFC1483] Heinanen, J., “*Multiprotocol Encapsulation over ATM Adaptation Layer 5*”, RFC 1483, July 1993.
- [RFC1619] Simpson, W., “*PPP over SONET/SDH*”, RFC 1619, Daydreamer, May 1994.
- [RFC1662] Simpson, W., Editor, “*PPP in HDLC-like Framing*”, STD 51, RFC 1662, Daydreamer, July 1994.
- [RFC2225] Laubach, M., “*Classical IP and ARP over ATM*”, RFC 2225, April 1998.
- [RFC2331] Maher, M., “*ATM Signalling Support for IP over ATM – UNI Signalling 4.0 Update*”, RFC 2331, April 1998.

- [RFC2332] Luciani, J., Katz, D., Piscitello, D., Cole, B. and Doraswamy, N., “*NBMA Next Hop Resolution Protocol (NHRP)*”, RFC 2332, April 1998.
- [Shariff] Shariff, M., “*Packet over SONET Fuels New IP Transport Paradigm*”, Lightwave Mag., April 1998.
- [SOM] Σωμάρας, Χ., Εργασία “*Αρχιτεκτονική και διαχείριση των δορυφορικών δικτύων και επικοινωνιών*”, σελ. 21-24, τμήμα MIS, 2000.
- [STA] Stallings, W., “*Data and Computer Communications*”, 4th Edition, New York: MacMillan, 1994.
- [Stern] Stern, T., E. and Bala, K., “*Multiwavelength Optical Networks: A Layered Approach*”, Addison-Wesley, 1999.
- [Suzuki] Suzuki, T., “*ATM Adaptation Layer Protocol*”, IEEE Communications Mag., vol. 32, April 1994.
- [T1.105] ANSI, “*Synchronous Optical Network (SONET) – Basic Description Including Multiplex Structure, Rates and Formats*”, ANSI T1.105-1995, 1995.
- [Tanenbaum] Tanenbaum, A., S., “*Computer Networks*”, 3rd Edition, 1996.
- [Xu] Xu, J. “*IP over ATM: Classical IP, NHRP, LANE, MPOA, PAR and P-NNI*”, διαθέσιμο στο http://www.cis.ohio-state.edu/~jain/cis788-97/ip_over_atm/index.htm. Ο τόπος αυτός είναι ο δικτυακός τόπος του τμήματος Computer and Information Science του πανεπιστημίου Ohio State University, και στη συγκεκριμένη σελίδα εκτίθενται εργασίες φοιτητών του καθηγητή Raj Jain.