

Analysis, Comparison and Classification of Internet Routing Protocols:

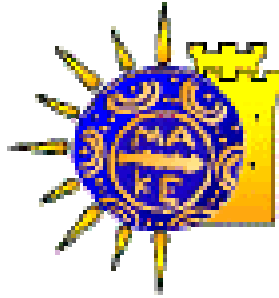
**IPv6, MBONE, Wireless IPv6 Networking, ICMPv6, IGMP, NHRP, NHRP-MPOA,
MPLS, MARS- based ATM Multicasting, RMF, RAMP, ROLC**

Christina Dalatsi

dalatsi@uom.gr

January 2003

University of Macedonia
Master in Information Systems
Networking Technologies
Professor: A.A. Economides
economid@uom.gr



Ανάλυση, Σύγκριση και Ταξινόμηση Πρωτοκόλλων Δρομολόγησης του Διαδικτύου:

**IPv6, MBONE, Wireless IPv6 Networking, ICMPv6, IGMP, NHRP, NHRP-MPOA,
MPLS, MARS- based ATM Multicasting, RMF, RAMP, ROLC**

Χρηστίνα Δαλάτση

dalatsi@uom.gr

Ιανουάριος 2003

Πανεπιστήμιο Μακεδονίας
ΠΜΣ Πληροφοριακά Συστήματα
Τεχνολογίες Τηλεπικοινωνιών & Δικτύων
Υπεύθυνος Καθηγητής: Α.Α. Οικονομίδης
economid@uom.gr

Περίληψη

Η παρούσα εργασία παρουσιάζει, ταξινομεί και συγκρίνει τα εξής πρωτόκολλα δρομολόγησης, τεχνολογίες και πλαίσια εργασίας : Το πρωτόκολλο **IPv6- Internet Protocol v6** ή IPNG, το οποίο οδηγεί στην εξάλειψη των προβλημάτων του IPv4 και στην προσαρμογή στις νέες δικτυακές ανάγκες της εποχής; Την τεχνολογία **MBONE- Multicast Backbone on the Internet** που επιτρέπει τη διακίνηση και προσπέλαση διαλογικών πολυμέσων σε πραγματικό χρόνο στο Internet; Το νέο πρωτόκολλο για ασύρματη δικτύωση (**Wireless IPv6**, Mobile IPv6) που θα διευκολύνει τη δικτύωση των διαφόρων κινητών συσκευών; Το πρωτόκολλο **ICMP- Internet Control Message Protocol**, που είναι ένας μηχανισμός αναφοράς λαθών και επιτρέπει σε δρομολογητές και εξυπηρετητές να στέλνουν μηνύματα ελέγχου ή λαθών σε άλλους δρομολογητές ή εξυπηρετητές; Το πρωτόκολλο **IGMP- Internet Group Management Protocol**, που είναι το πρωτόκολλο μέσω του οποίου οι διακομιστές ανταλλάσσουν πληροφορίες διαχείρισης ομάδων με τους τοπικούς δρομολογητές τους. Το μηχανισμό καθορισμού διεύθυνσης προορισμού **NHRP- Next Hop Resolution Protocol**; Το **MPOA- Multi Protocol over ATM**, που είναι μια προσπάθεια υποστήριξης ενιαίας και χωρίς όρια (seamless) μεταφοράς των πρωτοκόλλων του επιπέδου 3 δια μέσου των δικτύων ATM; Το **MPLS Multi Protocol Label Switching**, που αναπτύχθηκε για να ενσωματώσει τα δίκτυα που βασίζονται στο πρωτόκολλο IP και αυτά που βασίζονται στο ATM; Το μηχανισμό συνύπαρξης δικτύων τύπου ATM και IP που βασίζεται έναν εξυπηρετή καθορισμού διεύθυνσης πολλαπλής μετάδοσης (**MARS- Multicast Address Resolution Server**); Το πλαίσιο εργασίας για την υλοποίηση αξιόπιστων πρωτοκόλλων πολλαπλής μετάδοσης (reliable multicast protocols) **RMF- Reliable Multicast Framework**, που παρέχει επαρκώς τη δομή και τους μηχανισμούς, ώστε τα διάφορα αξιόπιστα πρωτόκολλα που αναπτύσσονται σύμφωνα με αυτό το πλαίσιο εργασίας, να υλοποιούνται σωστά και να μπορούν να συνεργάζονται; Το πρωτόκολλο **RAMP- Reliable Adaptive Multicast Protocol** που είναι ένα πρωτόκολλο πολλαπλής μετάδοσης του επιπέδου μεταφοράς και λειτουργεί σε συνεργασία με πρωτόκολλα πολλαπλής μετάδοσης επιπέδου δικτύου; Την πρόταση του **ROLC- Routing over Large Clouds**, που αντικαθιστά τις προηγούμενες τεχνολογίες με μια νεότερη έκδοση δικτύου μη- ευρείας πολλαπλής μετάδοσης (Non-Broadcast Multiple Access (NBMA) network).

Abstract

The present work presents, classifies and compares the following Internet Routing protocols, technologies and frameworks: the **IPv6- Internet Protocol v6** or IPNG, which will address the IPv4 weaknesses and will help in the adaptation to the fluctuating networking needs; the **MBONE- Multicast Backbone on the Internet** technology which allows real- time distribution and access of interactive multimedia on the Internet; the new **Wireless IPv6** (Mobile IPv6) protocol that will facilitate networking of mobile appliances ; the **ICMP- Internet Control Message Protocol**, a mechanism for error reporting that allows routers to send control messages in other routers or hosts; the **IGMP- Internet Group Management Protocol** which enables management information exchange between hosts and their groups or local routers; the **NHRP- Next Hop Resolution Protocol**, a mechanism for resolving unknown destination addresses; the **MPOA- Multi Protocol over ATM**, an attempt to support seamless transport between layer 3 protocols (IP, IPX, Appletalk) over ATM networks; the **MPLS Multi Protocol Label Switching** that was designed to incorporate IP and ATM- based networks; the protocol that uses servers that are called (**MARS- Multicast Address Resolution Server**) to unify ATM and IP based networks; the framework for reliable multicast protocols design (**RMF- Reliable Multicast Framework**) which includes the structure and the mechanisms of interoperating reliable multicast protocols design; the **RAMP- Reliable Adaptive Multicast Protocol**, which is a multicast protocol of the transport layer and interoperates with network level multicast protocols; and the **ROLC- Routing over Large Clouds** proposal that will replace the previous technologies with a newer version of non- Broadcast Multiple Access (NBMA) networks.

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα	4
Contents	5
1. Παρουσίαση του θέματος της δρομολόγησης στο Διαδίκτυο	7
2. Πρωτόκολλο Διαδικτύου Επόμενης Γενιάς (Internet Protocol Next Generation- Internet Protocol version 6 (IPv6))	7
2.1. Χαρακτηριστικά του νέου πρωτοκόλλου IPv6	8
2.1.1. Μεγαλύτερος χώρος διευθύνσεων για παγκόσμια προσβασιμότητα και κλιμάκωση	9
2.1.2. Απλουστευμένη κεφαλίδα για αποδοτική διαχείριση πακέτων	9
2.1.3. Ιεραρχική Αρχιτεκτονική Δικτύου για αποδοτική Δρομολόγηση	10
2.2. Άλλα χαρακτηριστικά του IPv6	10
2.3. Νέοι τρόποι μετάδοσης στο IPv6	11
Μοναδιαία μετάδοση (Unicast)	11
Πολλαπλή μετάδοση (Multicast)	11
Anycast	11
2.4. Παραδείγματα δικτύων IPv6	12
3. Δίκτυο Κορμού Πολλαπλής Μετάδοσης σε IP (Multicast IP Backbone (MBONE))	13
3.1. Τοπολογία του MBONE	13
3.2. Πρωτόκολλα δρομολόγησης πολλαπλής αποστολής (multicast protocols)	14
4. Ασύρματη δικτύωση στο IPv6 (Wireless IPv6 Networking)	15
4.1. Χαρακτηριστικά, Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα του mobile IP	16
4.2. Αναβαθμίσεις που παρέχονται από το IPv6	17
5. Πρωτόκολλο Ελέγχου Μηνύματος Διαδικτύου (ICMPv6- Internet Control Message Protocol)	18
5.1. Πακέτο ICMPv6	18
6. Πρωτόκολλο Διαχείρισης Ομάδας Διαδικτύου (IGMP- Internet Group Management Protocol)	19
6.1. Πακέτο IGMP	19
6.2. Μηνύματα IGMP	20
6.3. Καταστάσεις και Λειτουργίες του IGMP	20
7. Πρωτόκολλο Καθορισμού Επόμενου Βήματος (Next Hop Resolution Protocol (NHRP))	21
7.1. Πλεονεκτήματα χρήσης του NHRP	22
8. Πρωτόκολλο Καθορισμού Επόμενου Βήματος- Υποστήριξη Πολλαπλών Πρωτοκόλλων πάνω από ATM (Next Hop Resolution Protocol- Multiprotocol Over ATM (NHRP- MPOA))	22
8.1. Το μοντέλο αναφοράς MPOA	23
8.2. Διαδικασίες του MPOA	24

8.3. Αξιολόγηση πρωτοκόλλου MPOA	25
9. Μεταγωγή Ετικέτας Πολλαπλών Πρωτοκόλλων (MPLS- Multiprotocol Label Switching)	25
9.1. Τρόπος δρομολόγησης χωρίς τη χρήση του MPLS	26
9.2. Δρομολόγηση με MPLS	26
10. Πολλαπλή Μετάδοση στο ATM μέσω του MARS (MARS - based ATM Multicasting)	27
11. Πλαίσιο Εργασίας για Αξιόπιστα Πρωτόκολλα Πολλαπλής Μετάδοσης (RMF- Reliable Multicast Framework Protocol)	28
11.1. Τεχνικά χαρακτηριστικά του RMF	28
12. Προσαρμόσιμο Πρωτόκολλο Αξιόπιστης Πολλαπλής Μετάδοσης (RAMP- Reliable Adaptive Multicast Protocol)	30
12.1. Παρεχόμενες υπηρεσίες από το πρωτόκολλο RAMP	31
12.1.1. Μη αξιόπιστη παράδοση	31
12.1.2. Ροή δεδομένων	31
13. Δρομολόγηση μεγάλων νεφών (ROLC- Routing Over Large Clouds)	33
14. Συμπεράσματα	34
15. Βιβλιογραφία	36

Contents

Contents	5
1. Introduction of Internet Routing Protocols	7
2. Internet Protocol Next Generation- Internet Protocol version 6 (IPv6)	7
2.1. IPv6 characteristics	8
2.1.1. Larger Address Space for global reach and scalability	9
2.1.2. Simpler Header for efficient packet management	9
2.1.3. Hierarchical Architecture	10
2.2. Other IPv6 characteristics	10
2.3. New transmission methods in IPv6	11
Unicast	11
Multicast	11
Anycast	11
2.4. IPv6 examples	12
3. Multicast IP Backbone (MBONE)	13
3.1. MBONE topology	13
3.2. Multicast protocols	14
4. Wireless IPv6 Networking	15

4.1.	Attributes, Strengths and weaknesses of mobile IP	16
4.2.	Help from IPv6	17
5.	<i>ICMPv6- Internet Control Message Protocol</i>	18
5.1.	ICMPv6 packet	18
6.	<i>IGMP- Internet Group Management Protocol</i>	19
6.1.	IGMP packet	19
6.2.	IGMP messages	20
6.3.	IGMP states and functions	20
7.	<i>Next Hop Resolution Protocol (NHRP)</i>	21
7.1.	Advantages of NHRP	22
8.	<i>Next Hop Resolution Protocol- Multiprotocol Over ATM (NHRP- MPOA)</i>	22
8.1.	MPOA reference model	23
8.2.	MPOA procedures	24
8.3.	MPOA evaluation	25
9.	<i>MPLS- Multiprotocol Label Switching</i>	25
9.1.	Routing without MPLS	26
9.2.	Routing with MPLS	26
10.	<i>MARS - based ATM Multicasting</i>	27
11.	<i>RMF- Reliable Multicast Framework Protocol</i>	28
11.1.	RMF technical characteristics	28
12.	<i>RAMP- Reliable Adaptive Multicast Protocol</i>	30
12.1.	RAMP services	31
12.1.1.	Non reliable transmission	31
12.1.2.	Data flow	31
13.	<i>ROLC- Routing Over Large Clouds</i>	33
14.	<i>Conclusions</i>	34
15.	<i>Bibliography</i>	36

1. Παρουσίαση του θέματος της δρομολόγησης στο Διαδίκτυο

Το πρόβλημα της δρομολόγησης στα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα δεν είναι παρά η προσπάθεια συλλογής, επεξεργασίας και συμπύκνωσης της κατάστασης του παγκοσμίου δικτύου σε πληροφορία, η οποία θα αποθηκεύεται τοπικά και θα χρησιμοποιείται στην προώθηση των μονάδων πληροφοριών στον επόμενο σταθμό της διαδρομής τους, μέχρι να φτάσουν στον προορισμό τους. Δεν πρέπει όμως να λησμονεί κανείς ότι η «κατάσταση του δικτύου» έχει κάποια χαρακτηριστικά που δυσχεραίνουν τις παραπάνω προσπάθειες, διότι είναι εγγενώς μεγάλου μεγέθους, δυναμική και δύσκολα συλλέγεται.

Τα δύσκολα σημεία που πρέπει να αντιμετωπιστούν κατά τη σχεδίαση πρωτοκόλλων δρομολόγησης δεν είναι παρά η συνέπεια (consistency), η πληρότητα (completeness) και η κλιμάκωση (scalability). Συνέπεια σημαίνει ότι με μια σειρά από ανεξάρτητες τοπικές αποφάσεις προώθησης, θα πρέπει να υπάρχει σύνδεση ανάμεσα σε οποιαδήποτε πηγή και οποιονδήποτε προορισμό, αλλιώς το δίκτυο θεωρείται ότι βρίσκεται σε μη-σταθερή κατάσταση. Πληρότητα σημαίνει ότι κάθε κόμβος μπορεί να χειριστεί κάθε περίπτωση δρομολόγησης οποιουδήποτε μονοπατιού, καθώς έχει κάθε απαραίτητη πληροφορία επ' αυτού. Κλιμάκωση σημαίνει ότι οι μηχανισμοί δρομολόγησης θα πρέπει να αντιμετωπίζουν επιτυχώς την κλιμάκωση του μεγέθους του δικτύου.

Έχοντας τα παραπάνω υπόψη, έχουν κατά καιρούς προταθεί πρωτόκολλα δρομολόγησης για το Διαδίκτυο. Έχει ενδιαφέρον να σημειώσουμε ότι τα παρακάτω πρωτόκολλα δεν παρέχουν τις ίδιες υπηρεσίες, αλλά ούτε και αλληλοαποκλείονται. Καθένα σχεδιάστηκε για διαφορετικές ανάγκες και συνθήκες, ενώ κάποια συνεργάζονται. Επίσης, τονίζεται ότι δε θα ασχοληθούμε με το σύνολο των πρωτοκόλλων δρομολόγησης στο Διαδίκτυο, αλλά με κάποια από τα νεότερα και πιο συχνά χρησιμοποιούμενα πρωτόκολλα. Επιπλέον, θα αναφερθούμε και σε πλαίσια εργασίας για τη δημιουργία πρωτοκόλλων. Κατά την ανάλυση του κάθε πρωτοκόλλου στα επόμενα κεφάλαια, θα αναφέρουμε και την ταξινόμηση, τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του, καθώς και τις συγκρίσεις με άλλα παρόμοια πρωτόκολλα.

Το παρακάτω κείμενο είναι οργανωμένο ως εξής: Στην ενότητα 2 παρουσιάζεται το νέο πρωτόκολλο Διαδικτύου (IPv6), στην ενότητα 3 το MBONE, στην ενότητα 4 ο τρόπος ασύρματης δικτύωσης στο IPv6, στην ενότητα 5 το πρωτόκολλο ICMPv6, στην ενότητα 6 το πρωτόκολλο IGMP, στην ενότητα 7 το πρωτόκολλο NHRP, στην ενότητα 8 το πρωτόκολλο NHRP- MPOA, στην ενότητα 9 το MPLS, στην ενότητα 10 το MARS- based ATM multicasting, στην ενότητα 11 το RMF, στην ενότητα 12 το RAMP και στην ενότητα 13 το ROLC. Στη συνέχεια, δίνονται τα συμπεράσματα της εργασίας και η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε.

2. Πρωτόκολλο Διαδικτύου Επόμενης Γενιάς (Internet Protocol Next Generation- Internet Protocol version 6 (IPv6))

Η έκδοση 6 του πρωτοκόλλου Διαδικτύου (IPv6) είναι ένα νέο πρωτόκολλο IP με σκοπό να αντικαταστήσει ή μάλλον να συμπληρώσει την έκδοση 4 (IPv4), η οποία έχει εξαπλωθεί και χρησιμοποιείται ευρέως. Η έκδοση IPv4 έχει αποδειχθεί ισχυρή (robust), εύκολα υλοποιήσιμη και διαλειτουργική (interoperable), ενώ αποδείχθηκε επαρκής κατά την κλιμάκωση (scaling) των διαδικτύων (internetworks) στο σημερινό, παγκόσμιο μέγεθος του Διαδικτύου (Internet) [26].

Παρόλα αυτά, κατά τη δόμηση του πρωτοκόλλου IPv4 δεν προβλέφθησαν (ή δεν ήταν δυνατόν να προβλεφθούν¹) τα παρακάτω σημερινά δεδομένα [25]:

1. Το μέγεθος του Διαδικτύου έχει αυξηθεί εκθετικά και ο χώρος διευθύνσεων του IPv4 τείνει να εξαντληθεί.
2. Η ανάπτυξη του Διαδικτύου απαιτεί από του δρομολογητές να διατηρούν τεράστιους πίνακες δρομολόγησης (routing tables)
3. Υπάρχει επιτακτική ανάγκη για απλούστερη δρομολόγηση
4. Υπάρχουν πλέον απαιτήσεις για ασφάλεια στο επίπεδο δικτύου
5. Παρουσιάζεται ανάγκη για καλύτερη υποστήριξη παράδοσης δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, δηλαδή για βελτιωμένη και εγγυημένη ποιότητα υπηρεσιών (Quality of Service- QoS)

Ο χώρος διευθύνσεων του IPv4 αποτελείται από διευθύνσεις μεγέθους 32 bits και υποστηρίζει περίπου τέσσερα δισεκατομμύρια συσκευών. Οι πρώτοι που ανίχνευσαν το ενδεχόμενο να παρατηρηθεί μια τέτοια κατάσταση εξάντλησης του χώρου αυτού ήταν τα μέλη μιας ειδικής τεχνικής ομάδας του Διαδικτύου (Internet Engineering Task Force (IETF)) περίπου στο 1990 και υπολόγισαν το χρόνο εξάντλησης των διευθύνσεων για 10 χρόνια περίπου αργότερα. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι η διαπίστωση αυτή έγινε πριν τη γιγάντωση του Διαδικτύου κατά τη δεκαετία του 1990, ενώ άρχισε πραγματικά να αναγνωρίζεται ως πιθανό ενδεχόμενο πολύ πρόσφατα. Σήμερα πάντως, ο χώρος διευθύνσεων του IPv4 δεν είναι δυνατόν να καλύψει τις ανάγκες ούτε της μεγάλης γεωγραφικής εξάπλωσης του Διαδικτύου, αλλά και ούτε την είσοδο νέων μηχανών που απαιτούν μόνιμη και αυτόματη σύνδεση στο Διαδίκτυο, όπως αυτές που δίνονται στην Εικόνα 1.



Εικόνα 1 Είσοδος νέων συσκευών με ανάγκες διευθύνσεων Διαδικτύου και οι απαιτήσεις τους [2]

2.1. Χαρακτηριστικά του νέου πρωτοκόλλου IPv6

Μια συνοπτική παρουσίαση των χαρακτηριστικών του πρωτοκόλλου IPv6 δίνονται στην Εικόνα 2, και μάλιστα σε σύγκριση με τα χαρακτηριστικά του προγενέστερου πρωτοκόλλου IPv4. Στη συνέχεια θα αναλυθούν τα στοιχεία εκείνα που αφορούν στις βελτιωμένες δυνατότητες δρομολόγησης του IPv6.

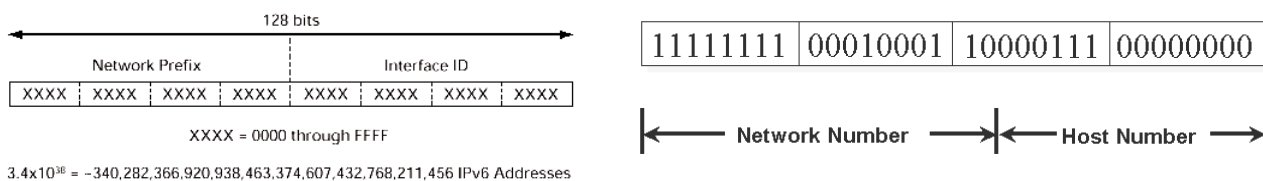
¹ Το 1977 ο Vint Cerf είχε δηλώσει ότι “32 bits should be enough address space for Internet” (32 bits είναι μάλλον επαρκής χώρος διευθύνσεων για το Διαδίκτυο)

	IPv4	IPv6
Address	32bits (4 octet)	128bits (16octet)
Address Space	Over 10^9 (4.2B)	Over 10^{38} (3.40E38)
Packet Header	variable size - time-consuming to handle	fixed size (40 octets) - more efficient
Address Allocation	A, B, C Class CIDR	CIDR based hierarchy by geographic region
Address Types	unicast multicast Broadcast	unicast - link-local address - site-local address - global address multicast Anicast
QoS	Defined (ToS), but not generally used	Flow Label Traffic Class
Security	Limited	IPsec built-in
Configuration	Manual Configuration	Auto-configuration

Εικόνα 2 Σύγκριση πρωτοκόλλων IPv4 και IPv6 [2]

2.1.1. Μεγαλύτερος χώρος διευθύνσεων για παγκόσμια προσβασιμότητα και κλιμάκωση

Η διαθεσιμότητα ενός σχεδόν απεριόριστου χώρου διευθύνσεων IP είναι το πιο σημαντικό πλεονέκτημά του, δεδομένης της τάσης εξάντλησης των διευθύνσεων IP που βασίζονται στο πρότυπο IPv4. Το IPv6 αυξάνει τον αριθμό των bits διεύθυνσης κατά 4 φορές, δηλαδή από 32 σε 128 bits. Τα 128 αυτά bits παρέχουν τη δυνατότητα διευθυνσιοδότησης περίπου $3,4 \times 10^{38}$ κόμβων, ήτοι περίπου 1030 διευθύνσεις κατά άτομο στη γη. Η Εικόνα 3 δίνει τη γενική μορφή μιας διεύθυνσης IPv4 και της αντίστοιχης IPv6. Η δυνατότητα απόδοσης μοναδικής διεύθυνσης IP σε κάθε δικτυακή συσκευή επιτρέπει την εύκολη προσβασιμότητα και προωθεί την τοπική τηλεφωνία πάνω από το δίκτυο IP.

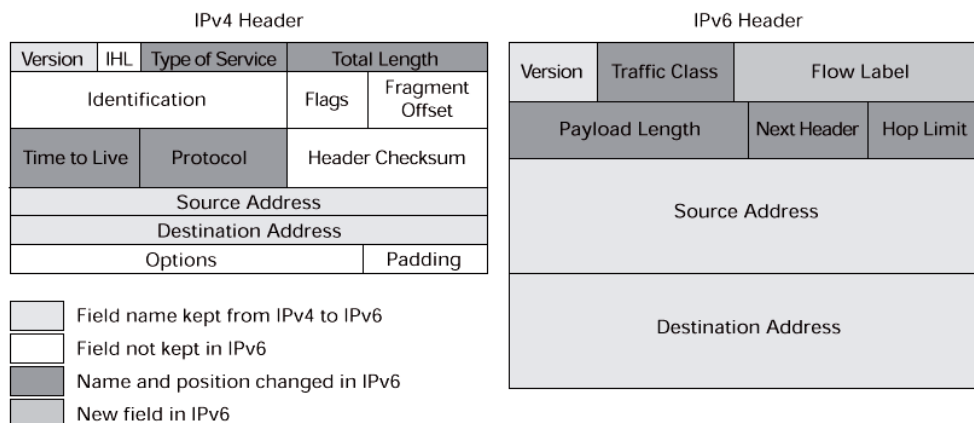


Εικόνα 3 Μορφή διεύθυνσης IPv4 και IPv6 [25]

2.1.2. Απλουστευμένη κεφαλίδα για αποδοτική διαχείριση πακέτων

Παρά την αύξηση του μεγέθους της διεύθυνσης στο IPv6 και την αναπόφευκτη αύξηση του μεγέθους και της κεφαλίδας του κάθε πακέτου IP, η μορφή του είναι απλούστερη από εκείνη της κεφαλίδας του IPv4. Η βασική κεφαλίδα στο IPv4 έχει μέγεθος μόνο 20 οκτάδες bits, αλλά το μεταβλητό τμήμα με ετικέτα Options (Εικόνα 4) μπορεί να φτάσει έως και το μέγεθος ολόκληρου πακέτου IPv4. Αντίθετα, η

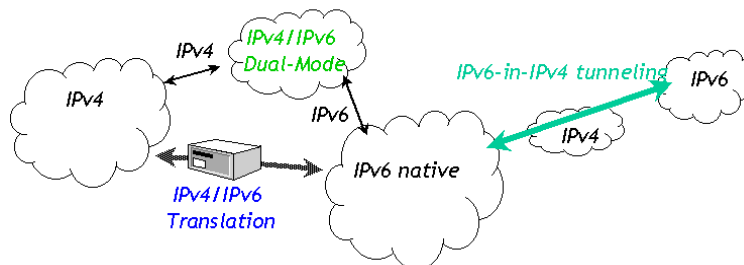
κεφαλίδα του IPv6 έχει σταθερό μέγεθος 40 οκτάδες bits. Οι διαφορές (προσθήκες, μετονομασίες και διαγραφές πεδίων της κεφαλίδας φαίνονται στην Εικόνα 4.



Εικόνα 4 Κεφαλίδες πακέτων στα πρωτόκολλα IPv4 και IPv6 [25]

2.1.3. Ιεραρχική Αρχιτεκτονική Δικτύου για αποδοτική Δρομολόγηση

Μια από τις προκλήσεις που έχει να αντιμετωπίσει το νέο πρωτόκολλο IPv6 είναι η ομαλή μετάβαση και η συμβατότητα με το μεγάλο αριθμό ήδη εγκατεστημένων δρομολογητών και διακομιστών που λειτουργούν με το προγενέστερο πρωτόκολλο IPv4 [1]. Η συμβατότητα αυτή θα διευκολύνει, θα εξομαλύνει και συνεπώς θα προωθήσει τις διεργασίες προς μετάβαση του Διαδικτύου προς το πρωτόκολλο IPv6. Κάποιες από τις τεχνικές για την επίτευξη συμβατότητας φαίνονται στην Εικόνα 5.



Εικόνα 5 Μέθοδοι επίτευξης συμβατότητας μεταξύ IPv4 και IPv6

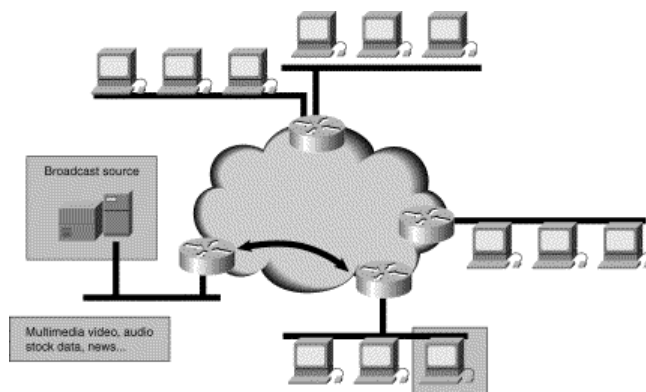
2.2. Άλλα χαρακτηριστικά του IPv6

Άλλα χαρακτηριστικά του νέου πρωτοκόλλου IPv6 είναι η υποστήριξη πολλαπλών πρωτοκόλλων δρομολόγησης (θα παρουσιαστούν σε επόμενα κεφάλαια), η υποστήριξη κλιμακωτής δρομολόγησης, η αυτορύθμιση και η δυνατότητα τοποθέτησης συσκευών άμεσης τοποθέτησης και λειτουργίας (Plug-and-Play), η εξάλειψη της ανάγκης για πύλες NAT και πύλες επιπέδου εφαρμογής, η ενσωματωμένη ασφάλεια, οι περαιτέρω δυνατότητες για Mobile IP, η αύξηση των διευθύνσεων πολλαπλής μετάδοσης, η ποιότητα υπηρεσιών κλπ ([25]).

2.3. *Νέοι τρόποι μετάδοσης στο IPv6*

Μοναδιαία μετάδοση (Unicast)

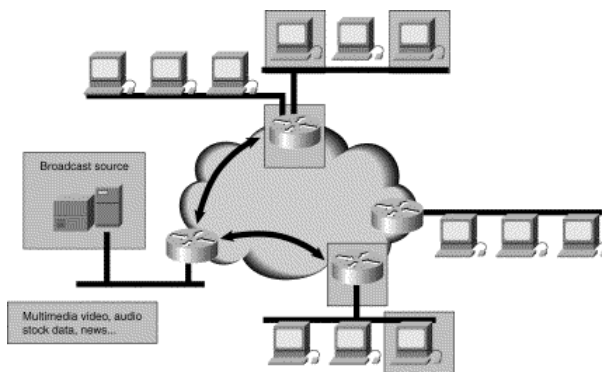
Το Unicast είναι μια επικοινωνία μεταξύ ενός μοναδικού υπολογιστή φιλοξενίας και ενός μοναδικού δέκτη. Πακέτα που στέλνονται σε μια διεύθυνση unicast παραδίδονται στη διεπαφή που προσδιορίζεται από εκείνη την διεύθυνση, όπως φαίνεται στην Εικόνα 6.



Εικόνα 6 Το Unicast στέλνει τα πακέτα σε μια διευκρινισμένη διεπαφή

Πολλαπλή μετάδοση (Multicast)

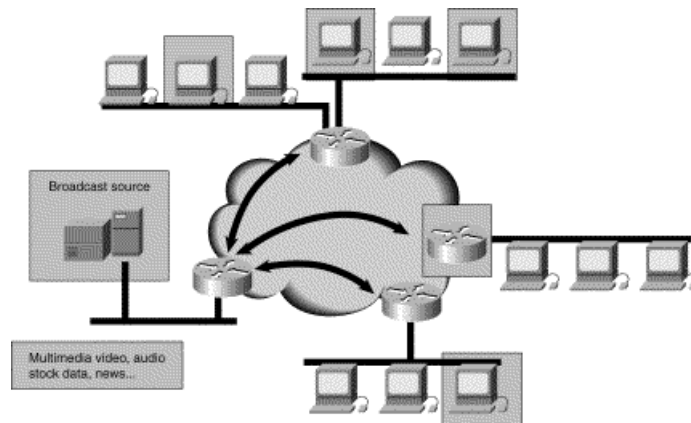
Η πολλαπλή μετάδοση είναι η επικοινωνία μεταξύ ενός host και πολλαπλών δεκτών. Τα πακέτα στέλνονται σε όλες τις διεπαφές που προσδιορίζονται από εκείνη την διεύθυνση, όπως φαίνεται στην Εικόνα 7.



Εικόνα 7 Με την πολλαπλή μετάδοση στέλνονται πακέτα σε ένα υποδίκτυο, και καθορισμένες συσκευές αφουγκράζονται τα πακέτα αυτά

Anycast

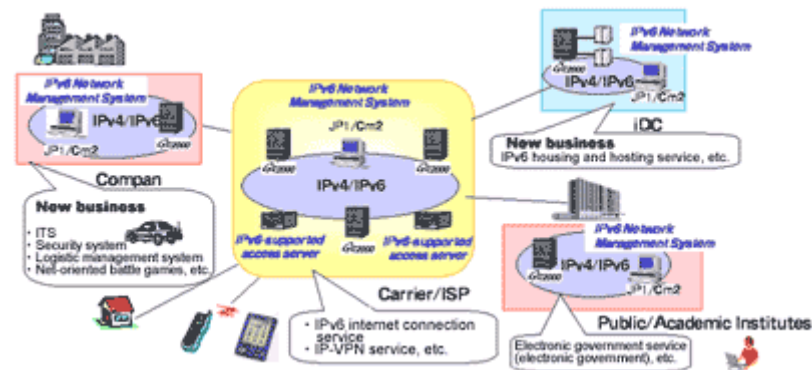
Τα πακέτα που στέλνονται σε μια διεύθυνση anycast ή έναν κατάλογο διευθύνσεων παραδίδονται στην κοντινότερη διεπαφή που προσδιορίζεται από εκείνη την διεύθυνση. Το Anycast είναι μια επικοινωνία μεταξύ ενός αποστολέα και ενός καταλόγου διευθύνσεων, όπως φαίνεται στην Εικόνα 8.



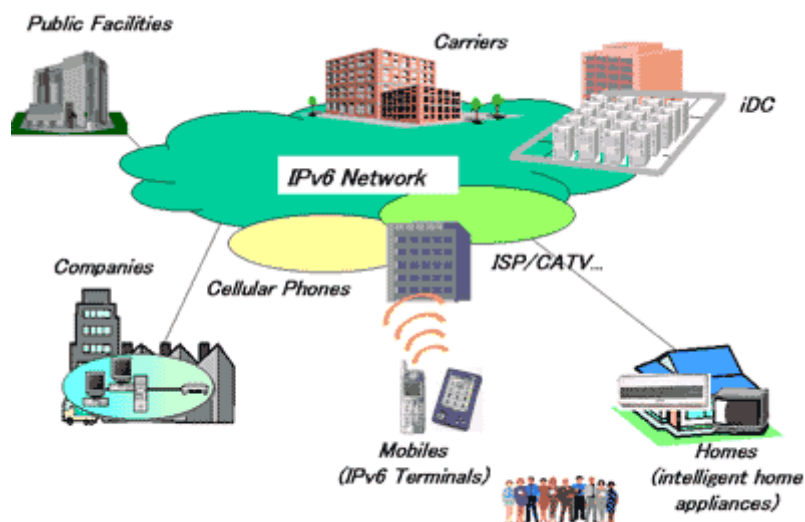
Εικόνα 8 Το Anycast στέλνει τα πακέτα στο διευκρινισμένο κατάλογο διεπαφών και μπορεί να περιέχει τους κόμβους και τους δρομολογητές τέλους

2.4. Παραδείγματα δικτύων IPv6

Παρακάτω δίνονται δείγματα πειραματικών αρχιτεκτονικών με χρήση του IPv6 της εταιρείας Hitachi.



Εικόνα 9 Υπόδειγμα 1

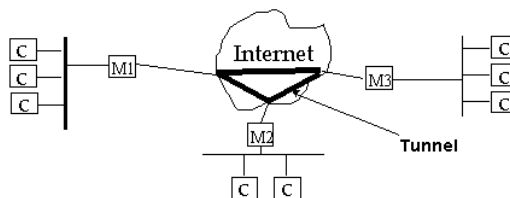


Εικόνα 10 Υπόδειγμα 2

3. Δίκτυο Κορμού Πολλαπλής Μετάδοσης σε IP (Multicast IP Backbone (MBONE))

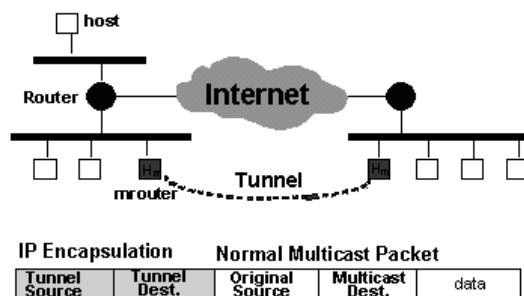
Το MBONE - Virtual Multicasting Backbone On the Internet είναι μια τεχνολογία που επιτρέπει τη διακίνηση και προσπέλαση διαλογικών πολυμέσων σε πραγματικό χρόνο στο Internet [27]. Η διανομή τέτοιων ισόχρονων μέσων με έναν ευρείας κλίμακας τρόπο πάνω από δίκτυα μεταγωγής πακέτων, όπως το Internet, δεν ήταν εφικτή πριν εφευρεθεί και αναπτυχθεί το MBONE [7].

Πρόκειται για μια πειραματική δομή που κατασκευάστηκε για την ανάπτυξη, εκτέλεση και βελτίωση των πρωτοκόλλων πολλαπλής αποστολής (multicast protocols) και εφαρμογών στο Internet. Στην αρχική του μορφή το MBONE παρουσιάστηκε ως το αποτέλεσμα των δύο πρώτων πειραμάτων της IETF-Internet Engineering Task Force, το 1992, κατά τα οποία ήχος και video από το site της IETF μεταδόθηκαν απευθείας - σε πραγματικό χρόνο - σε πολλούς προορισμούς σε όλο τον κόσμο [3].



Εικόνα 11 Δίαυλοι στο MBONE [6], [29]

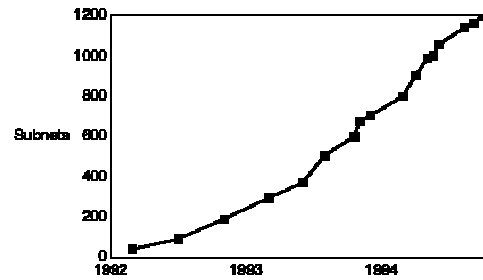
Το MBONE συντίθεται από νησίδες που υποστηρίζουν ευθέως το IP πολλαπλής αποστολής - όπως τοπικά δίκτυα Ethernet - συνδεδεμένες με ιδεατές συνδέσεις σημείου προς σημείο, που λέγονται διάυλοι (tunnels) (Εικόνα 11). Τα IP πακέτα πολλαπλής αποστολής πριν τη μετάδοσή τους μέσα από τα tunnels ενσωματώνονται σε νέα πακέτα, έτσι ώστε να παρουσιάζονται σαν κανονικά unicast πακέτα στους ενδιαμέσους δρομολογητές και υποδίκτυα. Η λειτουργία αυτή είναι γνωστή ως ενσωμάτωση (encapsulation) (Εικόνα 12). Η πορεία του MBONE είναι ανοδική, όπως φαίνεται στην Εικόνα 13.



Εικόνα 12 Ενθυλάκωση στο MBONE

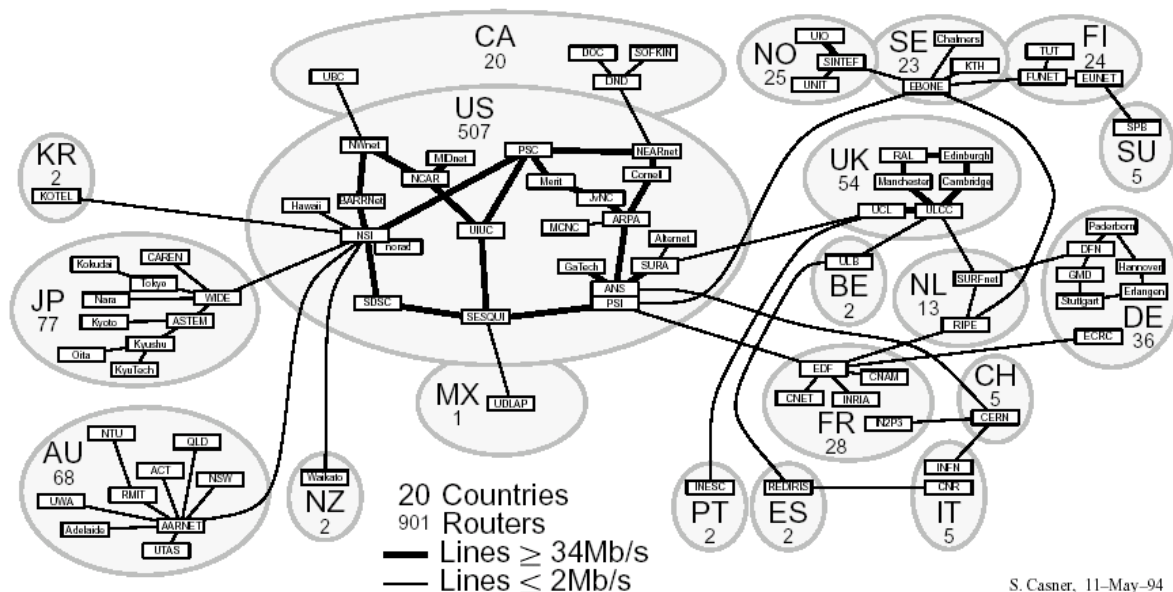
3.1. Τοπολογία του MBONE

Η τοπολογία του MBONE είναι συνδυασμός τοπολογίας πλέγματος (mesh) και τοπολογίας αστέρα (star). Τα δίκτυα κορμού και τα περιφερειακά δίκτυα συνδέονται με ένα πλέγμα από tunnels μεταξύ των δρομολογητών πολλαπλής αποστολής στα σημεία διασύνδεσης των δικτύων (Εικόνα 14).



Εικόνα 13 Ανοδική πορεία του MBONE [5]

Major MBONE Routers and Links



Εικόνα 14 Τοπολογία MBONE [4]

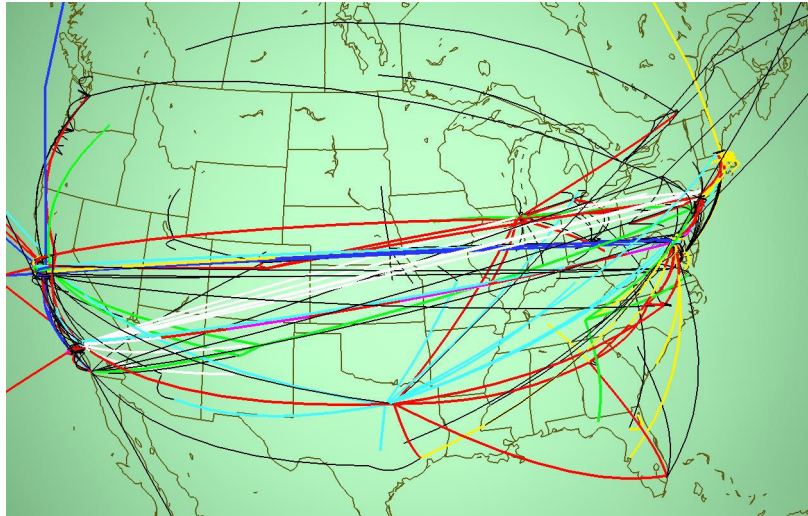
Ένας άλλος τρόπος απεικόνισης της τοπολογίας του MBONE φαίνεται στην Εικόνα 15.

3.2. Πρωτόκολλα δρομολόγησης πολλαπλής αποστολής (multicast protocols)

Η δρομολόγηση των πακέτων πολλαπλής εκπομπής γίνεται με ειδικά πρωτόκολλα, τα οποία θα πρέπει να υποστηρίζονται από όλους τους δρομολογητές κορμού ενός δικτύου. Διαφορετικά, διαμορφώνονται νησίδες πολλαπλής εκπομπής, οι οποίες επικοινωνούν μέσω της δημιουργίας νησίδων συνδέσμων (tunnels), που μεταφέρουν πακέτα πολλαπλής εκπομπής ενσωματωμένα σε πακέτα unicast. Τα πρωτόκολλα δρομολόγησης πολλαπλής εκπομπής διαφέρουν από τα αντίστοιχα πρωτόκολλα unicast, στο ότι απαιτείται να γνωρίζουν την προέλευση ενός πακέτου.

Τα περισσότερα πρωτόκολλα δρομολόγησης πολλαπλής εκπομπής στηρίζονται στην τεχνική της δημιουργίας ενός δέντρου διανομής (spanning tree) που συνδέει όλους τους ενδιαφερόμενους σταθμούς. Ανάλογα με τον τρόπο δημιουργίας του δέντρου διανομής, τα πρωτόκολλα δρομολόγησης πολλαπλής εκπομπής διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, δηλαδή στα πρωτόκολλα πυκνής δρομολόγησης (DVMRP- Distance Vector Multicast Routing Protocol και MOSPF (Multicast Open Shortest path First)) και στα

πρωτόκολλα αραιής δρομολόγησης (Core Based Trees) και PIM-SM (Protocol Independent Multicast - Sparse Mode)) [3].



Εικόνα 15 MBONE tunnels από διάφορους παροχείς: με κόκκινο χρώμα η MCI, με κυανό η SprintLink, με μπλε η NASA, με πράσινο το ESnet, με καφέ το Dartnet, με κίτρινο το BBNPlanet και με λευκό το ANS. Όλα τα άλλα δίκτυα είναι με μαύρο. [28]

4. Ασύρματη δικτύωση στο IPv6 (Wireless IPv6 Networking)

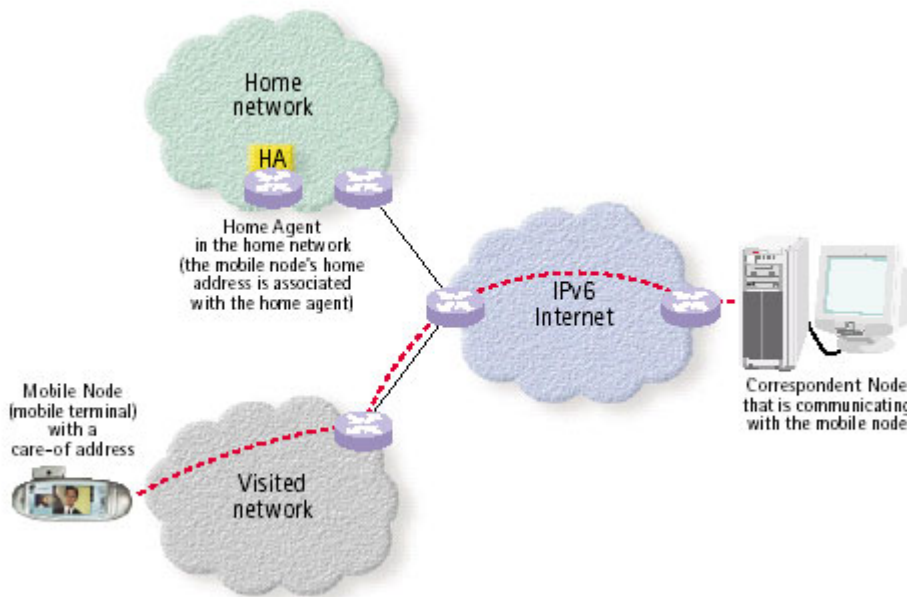
Μερικοί ερευνητές του IPv6 υποστηρίζουν ότι οι ασύρματες επικοινωνίες θα είναι μια εφαρμογή καθοριστικής σημασίας στο μέλλον και μάλιστα με τη βοήθεια του IPv6. Σημαντικοί προμηθευτές, όπως η Sun, η Microsoft και η IBM, αναμένουν τον πολλαπλασιασμό των κινητών τηλεφώνων με διαδικτυακή σύνδεση και των φορητών υπολογιστών με σύνδεση στο Διαδίκτυο. Κατά συνέπεια, η κινητή και ασύρματη κοινότητα επικοινωνιών υποστηρίζει με σθένος το IPv6, κατά ένα μεγάλο μέρος επειδή προβλέπει την ανάγκη για δισεκατομμύρια διευθύνσεις IP για τις κινητές συσκευές μέσα στην επόμενη δεκαετία. Τα δίκτυα που αποτελούνται από αυτούς τους τύπους συσκευών θα γίνουν πιθανώς νησίδες (islands) IPv6, με τις πύλες στο Διαδίκτυο, καθώς οι ασύρματες υπηρεσίες επόμενης γενιάς αναπτύσσονται (Εικόνα 16) [30].

Η ερευνητική εργασία κατά τη διάρκεια της προηγούμενης δεκαετίας έχει επισημάνει τα μοναδικά χαρακτηριστικά των ασύρματων συνδέσεων στα δίκτυα που δεν είναι προσανατολισμένα στη σύνδεση [8]. Η απόδοση του TCP στις ασύρματες συνδέσεις έχει αποδειχθεί ότι δεν είναι επαρκής. Η ρυθμοαπόδοση της κυκλοφορίας IP μπορεί να υποβιβαστεί από τις με απώλειες, αργές, ή καθυστερημένες ασύρματες συνδέσεις. Αυτό έχει οδηγήσει σε πολλές προτάσεις για την βελτίωση της απόδοσης της ακολουθίας πρωτοκόλλου TCP/IP πέρα από τις ραδιο συνδέσεις.

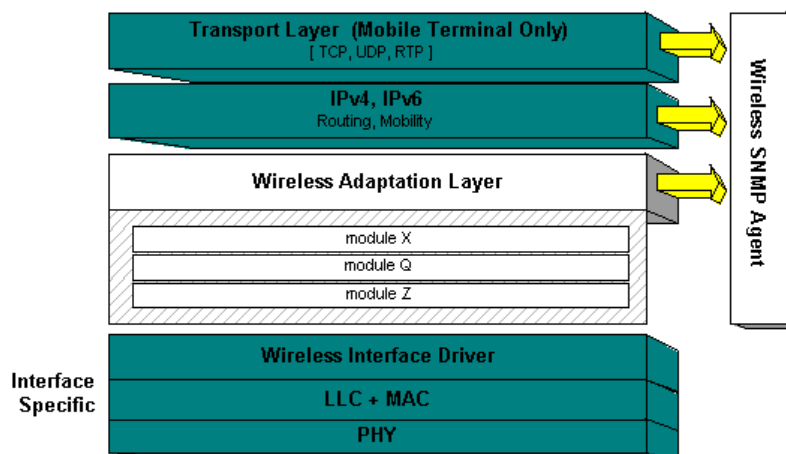
Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό γνώρισμα του Wireless IP είναι η υποστήριξη και η παροχή διαφόρων υπηρεσιών προκειμένου να υποστηριχθούν οι πολλαπλές κατηγορίες υπηρεσιών (φωνή, βίντεο, στοιχεία κλπ) στο ίδιο ασύρματο δίκτυο πρόσβασης. Αν και μερικές ασύρματες τεχνολογίες παρέχουν επίπεδα προτεραιότητας, το IP δεν τα εκμεταλλεύεται. Το επίπεδο προσαρμογής στην ασύρματη μετάδοση δίνεται στην Εικόνα 17.

4.1. Χαρακτηριστικά, Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα του mobile IP

Το mobile IP παρέχει την υπηρεσία περιαγωγής για τα κινητά τερματικά μέσω του Διαδικτύου. Αυτό το πρωτόκολλο υιοθετείται όταν πραγματοποιείται ένα κάθετο handoff, δηλαδή όταν κινείται ένας χρήστης από μια περιοχή IP προς μια άλλη τελείως μια διαφορετική. Το mobile IP προβλέπει για το χρήστη μια συγκεκριμένη διεύθυνση IP, ακόμη και όταν αυτός βρίσκεται σε ένα ξένο δίκτυο, και εξασφαλίζει ότι όλη η κυκλοφορία θα φθάσει στο χρήστη.



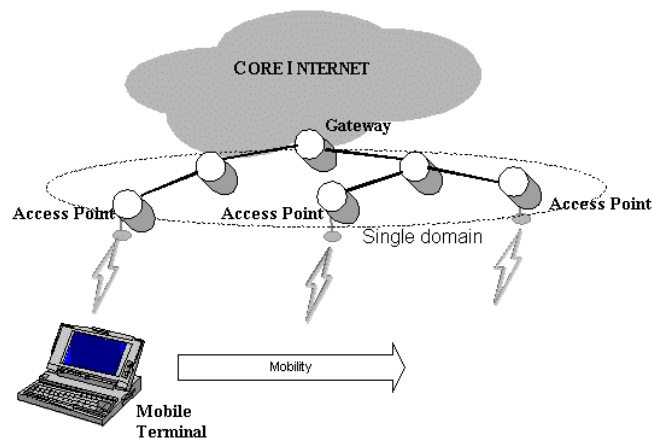
Εικόνα 16 Το νέο επικοινωνιακό τοπίο των ασύρματων δικτύων



Εικόνα 17 Επίπεδο προσαρμογής στο Wireless Networking

Προκειμένου να ακολουθηθούν αποτελεσματικά οι κινητοί χρήστες καθώς περιπλανώνται μεταξύ των σημείων πρόσβασης και για να παραδώσουν τα πακέτα IP σε τους, απαιτείται ένα πρωτόκολλο για

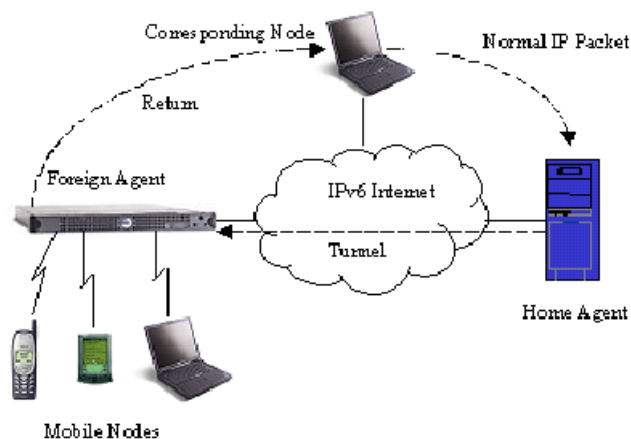
κινητικότητα εσωτερικού τομέα. Αυτός ο τύπος πρωτοκόλλου κινητικότητας είναι βασικά ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης που διανέμεται μέσω του δικτύου πρόσβασης. Ο στόχος είναι να παρασχεθεί η διαφανής και ενιαία (seamless) υπηρεσία με χαμηλό κόστος και διατηρώντας την κινητή διαφάνεια IP [8]. Ένα παράδειγμα τέτοιας αρχιτεκτονικής φαίνεται στην Εικόνα 18.



Εικόνα 18 Παράδειγμα αρχιτεκτονικής κινητικότητας

4.2. Αναβαθμίσεις που παρέχονται από το IPv6

Με την τεράστια αύξηση των κινητών συσκευών που χρειάζονται την μόνιμη σύνδεση στο Διαδίκτυο, είναι επιτακτική η ανάγκη ανάπτυξης πρωτοκόλλων που να επιτρέπουν τη συνδετικότητα ανεξάρτητα από τη φυσική θέση μιας συσκευής [9]. Το πρόβλημα είναι ότι κατά τη σχεδίαση του IP δεν είχε ληφθεί υπόψη μια τέτοια ανάγκη περιπλάνησης των συσκευών. Η απάντηση σε αυτό το πρόβλημα ήταν η ανάπτυξη από το IETF των κινητών προτύπων IP. Αυτά τα πρότυπα καθόρισαν την έννοια ενός host agent (HA) και του foreign agent (FA), μαζί με έναν κινητό κόμβο (MN). Η βασική έννοια φαίνεται στην Εικόνα 19.

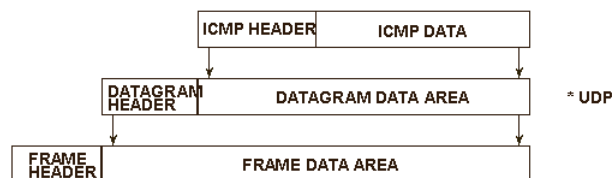


Εικόνα 19 IPv6 και ασύρματες συσκευές

Όταν ένα MN πηγαίνει μακριά από το βεληνεκές του, καταχωρείται σε έναν FA. Το FA έπειτα έρχεται σε επαφή με τους κινητούς κόμβους. Όταν ένας αντίστοιχος κόμβος (CN) επιθυμεί να έρθει σε επαφή με ένα MN, του στέλνει τα πακέτα στο εκτάριο. Η διαδικασία αυτή καθορίζεται στο RFC 2002.

5. Πρωτόκολλο Ελέγχου Μηνύματος Διαδικτύου (ICMPv6- Internet Control Message Protocol)

Το πρωτόκολλο αυτό είναι ένας μηχανισμός αναφοράς λαθών και μπορεί να αναφέρει την κατάσταση μόνο στην αρχική πηγή [11], διότι το πρωτόκολλο IP δεν καταγράφει πλήρη εγγραφή αυτής της διαδρομής μέσω του διαδικτύου [10]. Επιτρέπει σε δρομολογητές και εξυπηρετητές να στέλνουν μηνύματα ελέγχου ή λαθών σε άλλους δρομολογητές ή εξυπηρετητές [13]. Τα μηνύματα ICMP είναι ενθυλακωμένα στα πακέτα IP και περιλαμβάνουν ολόκληρη την επικεφαλίδα του πακέτου στο οποίο αναφέρονται καθώς και 64 bit (8 byte) από το τμήμα δεδομένων του πακέτου, για να βοηθήνε τον αποστολέα να αναγνωρίζει το πακέτο. Η μορφή του ICMP πακέτου φαίνεται στην Εικόνα 20.

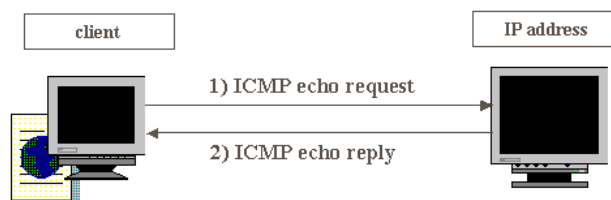


Εικόνα 20 Μορφή πακέτου ICMP

5.1. Πακέτο ICMPv6

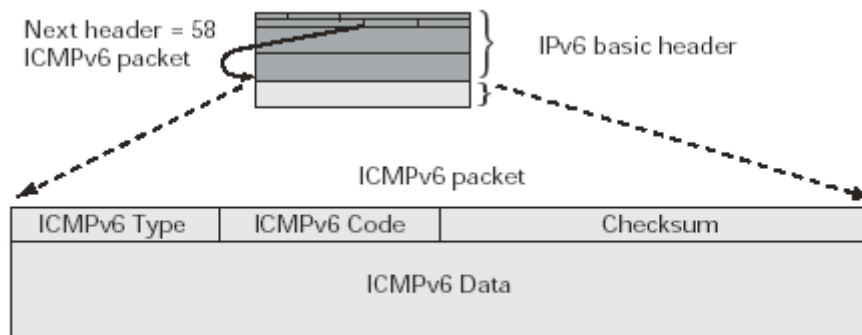
Το Internet Control Message Protocol (ICMP) του IPv6 λειτουργεί με τον ίδιο τρόπο όπως και στο IPv4. Το ICMPv6 παράγει τα μηνύματα λάθους, όπως τα μηνύματα απρόσιτου προορισμού ICMP και ενημερωτικά μηνύματα όπως τα μηνύματα αιτήματος και απάντησης ηχούς ICMP [25].

Επιπλέον, τα πακέτα ICMP σε IPv6 χρησιμοποιούνται στη διαδικασία ανακαλύψεων γειτόνων IPv6 (Εικόνα 21), ανακάλυψη μονοπατιών MTU (MTU Path Discovery), και την ανακάλυψη ακροατών πολλαπλής μετάδοσης (Multicast Listener Discovery (MLD)). Στο IPv6, οι δρομολογητές χρησιμοποιούν το MLD για να ανακαλύψουν τους ακροατές πολλαπλής μετάδοσης (κόμβοι που θέλουν να λάβουν πακέτα πολλαπλής μετάδοσης που προορίζονται για τις συγκεκριμένες διευθύνσεις πολλαπλής μετάδοσης) στις άμεσα συνημμένες συνδέσεις [25].



Εικόνα 21 Αίτημα και απάντηση ηχούς ICMP [10]

Τα πακέτα ICMP σε IPv6 είναι όπως ένα πακέτο επιπέδου μεταφοράς υπό την έννοια ότι το πακέτο ICMP ακολουθεί όλες τις ετικέτες επέκτασης (extension) και είναι το τελευταίο κομμάτι των πληροφοριών στο πακέτο IPv6. Μέσα στα πακέτα IPv6 ICMP, τα πεδία Type και Code προσδιορίζουν τις λεπτομέρειες πακέτων IPv6 ICMP, όπως τον τύπο μηνυμάτων ICMP. Στην Εικόνα 22 δίνεται η μορφή του πακέτου IPv6 ICMP. Κάποια από τα συνηθισμένα εργαλεία του ICMPv6 είναι τα PING, Traceroute, Path MTU Discovery κλπ [11].



Εικόνα 22 Μορφή πακέτου ICMPv6 [25]

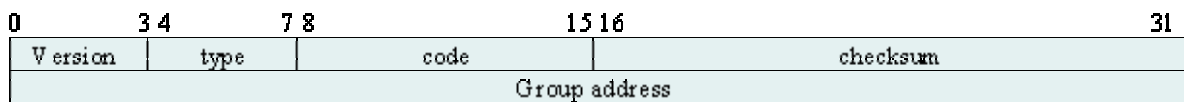
6. Πρωτόκολλο Διαχείρισης Ομάδας Διαδικτύου (IGMP- Internet Group Management Protocol)

Στα δίκτυα IP, οι διακομιστές που θέλουν να λάβουν μηνύματα πολλαπλής μετάδοσης πρέπει να ενημερώσουν τους αμέσως γειτονικούς τους δρομολογητές [31]. Είναι δυνατό για κάθε κόμβο να γίνει μέλος μιας ή περισσότερων ομάδων πολλαπλής μετάδοσης. Το IGMP είναι το πρωτόκολλο μέσω του οποίου οι διακομιστές ανταλλάσσουν αυτές τις πληροφορίες με τους τοπικούς δρομολογητές τους. Υπάρχουν 3 εκδόσεις αυτού του πρωτοκόλλου. Όπως και το ICMP, το IGMP θεωρείται ως αναπόσπαστο τμήμα του πρωτοκόλλου IP [14].

Οι δρομολογητές χρησιμοποιούν περιοδικά το IGMP για να ελέγξουν εάν τα γνωστά μέλη της ομάδας τους είναι ενεργά ή όχι. Σε περίπτωση που υπάρχουν περισσότεροι από ένας δρομολογητές πολλαπλής μετάδοσης σε ένα δεδομένο υποδίκτυο (τοπικό LAN), ένας από τους επιλέγεται ως ο «ερωτητής». Έχει την ευθύνη της καταγραφής της κατάστασης των μελών της ομάδας, ώστε αν κάποια στιγμή εμφανιστεί ένα μήνυμα για μια ομάδα χωρίς ενεργό μέλος, αυτό να αγνοηθεί.

6.1. Πακέτο IGMP

Το IGMP παρέχει μια μέθοδο μέσω της οποίας ένας διακομιστής μπορεί να προσχωρήσει ή να αποχωρήσει από μια ομάδα πολλαπλής μετάδοσης οποιαδήποτε στιγμή (δυναμική ιδιότητα μέλους). Η IGMPv1 ([12]) παρέχει μηνύματα καθορισμένου μεγέθους χωρίς τα προαιρετικά στοιχεία. Η μορφή ενός πακέτου IGMP καθορίζεται ως εξής (Εικόνα 23).



Εικόνα 23 Πακέτο IGMP

Τα IGMP Version 2 και 3 περιέχουν κάποιες επεκτάσεις [14].

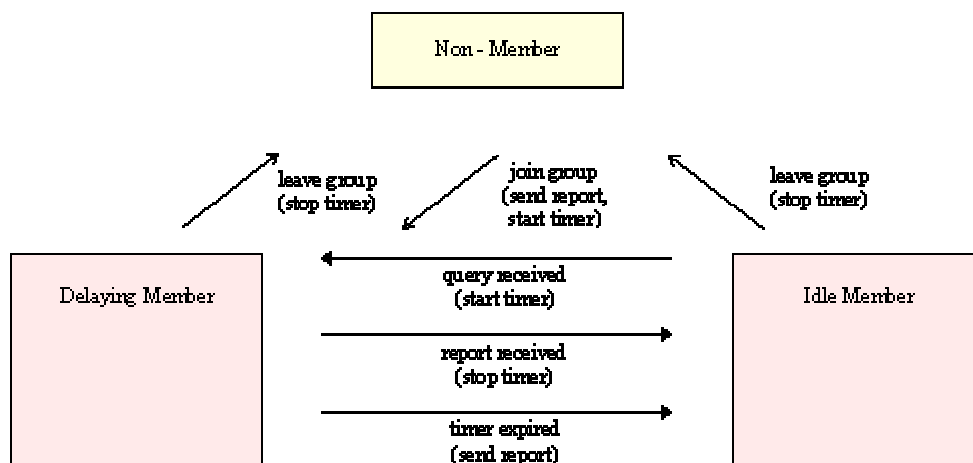
6.2. Μηνύματα IGMP

Τα μηνύματα IGMP χρησιμοποιούνται από τους δρομολογητές για να παρακολουθήσουν τα μέλη των ομάδων τους. Ισχύουν οι ακόλουθοι κανόνες:

1. Ο διακομιστής στέλνει ένα “IGMP report” για να προσχωρήσει σε μια ομάδα
2. Ο διακομιστής δεν θα στείλει ποτέ ένα “IGMP report” (έκθεση) όταν θέλει να αφήσει μια ομάδα (ή θα καθυστερήσει το αντίστοιχο μήνυμα [31])
3. Οι δρομολογητές στέλνουν τα “IGMP queries” (ερωτήσεις) στην ομάδα για να δουν περιοδικά εάν τα μέλη ομάδας είναι ενεργά. Εάν καμία απάντηση δεν παραλαμβάνεται μετά από έναν αριθμό ερωτήσεων, ο δρομολογητής υποθέτει ότι δεν υπάρχει κανένα μέλος στην ομάδα.

6.3. Καταστάσεις και Λειτουργίες του IGMP

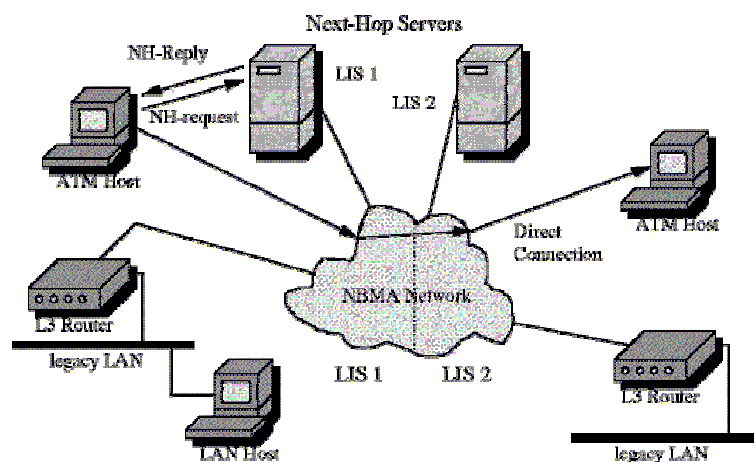
Οι δυνατές καταστάσεις ενός διακομιστή είναι η κατάσταση μη –μέλους, η κατάσταση μέλους με καθυστέρηση (ο διακομιστής ανήκει στην ομάδα, αλλά υπάρχει κάποια εκκρεμότητα ως προς κάποια έκθεσή του για μια ιδιότητα) και η κατάσταση ενεργού μέλους. Για να γίνει η μετάβαση μεταξύ αυτών των καταστάσεων, μεσολαβούν κάποιες δραστηριότητες (Εικόνα 24).



Εικόνα 24 Καταστάσεις και δραστηριότητες στο IGMP [14].

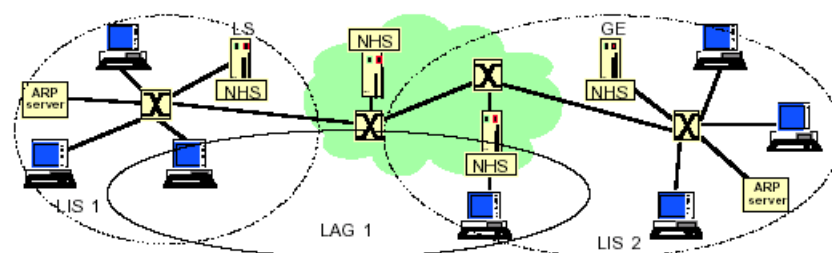
7. Πρωτόκολλο Καθορισμού Επόμενου Βήματος (Next Hop Resolution Protocol (NHRP))

Το πρωτόκολλο καθορισμού του επόμενου βήματος (Next Hop Resolution Protocol- NHRP) δημιουργήθηκε για να υποστηρίξει τη χρήση του IP πάνω από το πρωτόκολλο μη ευρείας πολλαπλής μετάδοσης (Non-Broadcast Multiple-Access (NBMA)) [32] (Εικόνα 25). Το πρωτόκολλο αυτό αντιμετωπίζει ένα από τα κύρια προβλήματα στα δίκτυα NBMA, αυτό της επικοινωνίας μεταξύ σταθμών που δε βρίσκονται στο ίδιο λογικό υποδίκτυο IP (Logical IP Subnet- LIS). Πρέπει να σημειωθεί στο σημείο αυτό ότι ο κλασικός καθορισμός διεύθυνσης δεν μπορεί να εφαρμοστεί στις περιπτώσεις αυτές, διότι μπορεί να καθορίσει τη διεύθυνση μόνο των δρομολογητών που είναι μέρη πολλών LISs.



Εικόνα 25 Αρχιτεκτονική του NHRP

Σύμφωνα με τα παραπάνω, συμπεραίνεται ότι το NHRP δεν είναι ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης, αλλά ένας μηχανισμός καθορισμού διεύθυνσης του προορισμού. Συνεπώς, δεν αντικαθιστά κανένα πρωτόκολλο και συνεργάζεται με αυτά. Το NHRP αντικαθιστά την έννοια των LISs με αυτή των λογικών ομάδων διευθύνσεων (Logical Address Groups- LAGs). Οι ομάδες αυτές καθορίζονται μέσω ενός προθέματος διεύθυνσης IP και ομαδοποιούν τους διακομιστές και τους δρομολογητές σε διαφορετικά υποδίκτυα. Συνεπώς, υπάρχει δυνατότητα επικοινωνίας μεταξύ δύο σταθμών που είναι στο ίδιο NBMA, αλλά σε διαφορετικό LIS επειδή είναι στο ίδιο LAG (Εικόνα 26) [36].



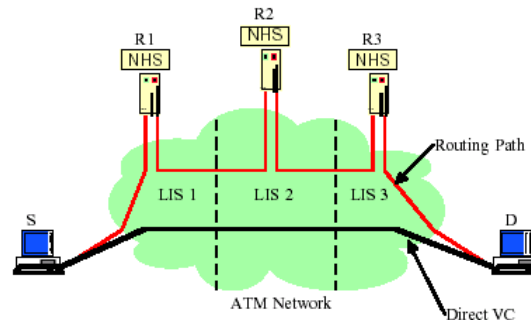
Εικόνα 26 Η ιδέα των LAGs [33]

Για τις λειτουργίες NHRP πρέπει να υπάρχει ένα εξυπηρετής επόμενου βήματος (Next Hop Server- NHS) σε κάθε LIS. Η λειτουργίες που εκτελούνται είναι οι εξής [15] : Έστω ότι ένας διακομιστής S θέλει να στείλει ένα πακέτο επιπέδου IP στον διακομιστή D που βρίσκεται εκτός του δικού του LIS. Για να μπορέσει ο S να βρει τη διεύθυνση του D, στέλνει στον επόμενο NHS μια αίτηση καθορισμού επόμενου κόμβου (Next Hop Resolution Request). Ο NHS ελέγχει αν ο D εξυπηρετείται από τον ίδιο NHS (αν βρίσκεται δηλαδή στο ίδιο LIS). Αν δεν ισχύει αυτό, ο NHS προωθεί την αίτηση στον επόμενο NHS κατά μήκος του μονοπατιού δρομολόγησης.

Χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο αυτό, η αίτηση τελικά φτάνει στον NHS που εξυπηρετεί τον D και ο οποίος βρίσκει την NBMA διεύθυνση του D. Στη συνέχεια, αποστέλλει στον S μια απάντηση αίτησης καθορισμού διεύθυνσης (Next Hop Resolution Reply). Οι διακομιστές μπορούν πλέον να επικοινωνήσουν και ενδεχομένως να αποθηκεύσουν τις αντιστοιχίσεις διευθύνσεων για μελλοντική χρήση. Η επικοινωνία μπορεί να γίνει απευθείας, και όχι μέσω του κλασικού μονοπατιού για μεγαλύτερη ταχύτητα. Ο αλγόριθμος που αναφέρθηκε περιέχει και άλλες λεπτομέρειες, οι οποίες δεν αναφέρθηκαν [15].

7.1. Πλεονεκτήματα χρήσης του NHRP

Στην περίπτωση που υπάρχει κόστος συνδεδεμένο με τις συνδέσεις NBMA, υπάρχει προφανώς πλεονέκτημα στη χρήση των απευθείας μονοπατιών του NHRP. Για παράδειγμα, όταν το δίκτυο NBMA είναι τύπου ATM και υπάρχει απαίτηση εγγυημένου επιπέδου παροχής υπηρεσιών (Guaranteed Level of Service Requirement), η δρομολόγηση απευθείας βοηθά στην εγκατάσταση έμμεσου νοητού κυκλώματος στο ATM διαμέσου αρκετών υποδικτύων IP, δίνοντας πάντα τη δυνατότητα εκμετάλλευσης των πλεονεκτημάτων ποιότητας υπηρεσιών του ATM (Εικόνα 27).



Εικόνα 27 Εγκατεστημένη απευθείας ATM σύνδεση από το NHRP

8. Πρωτόκολλο Καθορισμού Επόμενου Βήματος- Υποστήριξη Πολλαπλών Πρωτοκόλλων πάνω από ATM (Next Hop Resolution Protocol- Multiprotocol Over ATM (NHRP- MPOA))

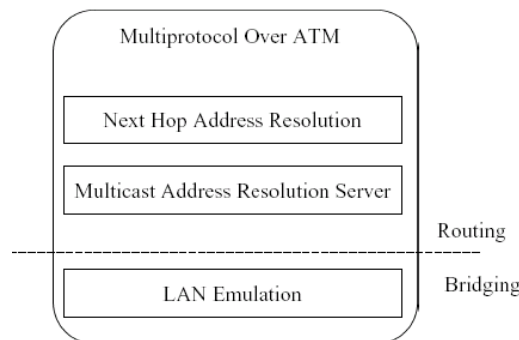
Το MPOA είναι μια προσπάθεια υποστήριξης ενιαίας και χωρίς όρια (seamless) μεταφοράς των πρωτοκόλλων του επιπέδου 3 (πχ IP, IPX, Appletalk κλπ) δια μέσου των δικτύων ATM [33]. Το MPOA επεκτείνει την ιδέα του ιδεατού τοπικού δικτύου (Virtual Lan- VLAN) πέρα από τις δυνατότητες του πρωτοκόλλου LANE (LAN Emulation- LANE) ([33], [35]), αντιμετωπίζοντας κάποια μειονεκτήματά του.

Προσφέρει λοιπόν διαφανή εξομοίωση των πρωτοκόλλων δρομολόγησης πάνω σε δίκτυα ATM, ενώ το LANE προσφέρει εξομοίωση των πρωτοκόλλων LAN πάνω σε δίκτυα ATM. Λειτουργεί δε στα επίπεδα 2 και 3, αλλά μπορεί να χρησιμοποιήσει το πρωτόκολλο LANE για την προώθηση στο επίπεδο 2.

Το MPOA είναι κατά βάση ένας συνδυασμός LANE και NHRP. Το MPOA βελτιώνει το LANE παρέχοντας με την συντομότερες συνδέσεις από τους δρομολογητές. Στην κατασκευή ένας τέτοιου συντομότερου δρόμου, το NHRP χρησιμοποιείται για να καθορίσει τη διεύθυνση προορισμού IP στη διεύθυνση του ATM. Από αυτή την άποψη, το MPOA είναι ένας συνδυασμός του επιπέδου δρομολόγησης επιπέδου 3 δρομολόγηση και του επιπέδου 2 [34] (Εικόνα 28).

Οι σχεδιαστικοί στόχοι του MPOA είναι:

- ❑ Να επιτρέπει στις συσκευές MPOA να εγκαθιστούν απευθείας συνδέσεις ATM
- ❑ Να μην χρειαστούν σημαντικές αλλαγές στις εγκατεστημένες συσκευές (γέφυρες, δρομολογητές κλπ)
- ❑ Ολοκλήρωση με την εξομοίωση LAN (LAN Emulation- LANE)
- ❑ Υποστήριξη αυτο- ρύθμισης στους διακομιστές ATM
- ❑ Διαχωρισμός της μεταγωγής από τη δρομολόγηση

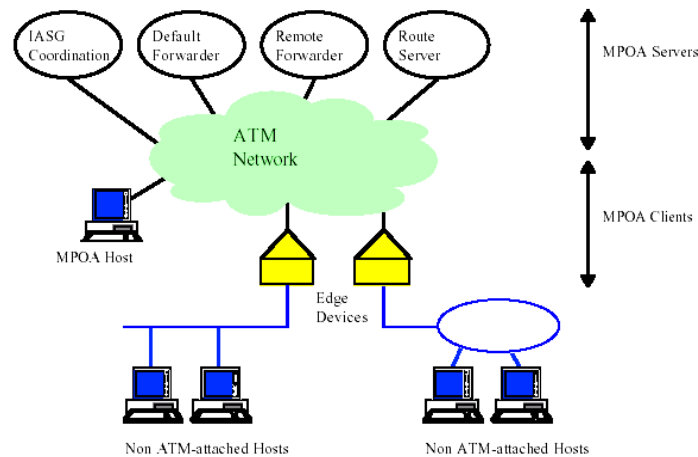


Εικόνα 28 Θέση του πρωτοκόλλου MPOA στη στοίβα πρωτοκόλλων [35]

Ουσιαστικά, το MPOA είναι η ενοποίηση του κλασικού IP πάνω από ATM (IP over ATM), μαζί με τα πρωτόκολλα MARS και NHRP, καθώς και με την εξομοίωση τοπικού δικτύου (LANE).

8.1. Το μοντέλο αναφοράς MPOA

Η βασική μονάδα οργάνωσης στο MPOA είναι η διαδικτυακή υποομάδα διεύθυνσης (Internetwork Address Sub- Group (IASG)). Ορίζεται δε ως ένα εύρος από διαδικτυακές διευθύνσεις, συγκεντρωμένες σε ένα πρωτόκολλο διαδικτυακού επιπέδου. Στην περίπτωση του IP, πρόκειται ουσιαστικά για την έννοια του υποδικτύου (subnet). Ένα IASG θα περιέχει έναν αριθμό συσκευών που συμπεριφέρονται ως εξυπηρέτες ή ως εξυπηρετούμενοι MPOA (Εικόνα 29) [35]. Οι εξυπηρέτες παρέχουν υπηρεσίες του επιπέδου 3, καθορισμό διευθύνσεων, κατανομή μονοπατιού και προώθηση πολλαπλής και ευρείας μετάδοσης. Τις υπηρεσίες αυτές χρησιμοποιούν οι εξυπηρετούμενοι.

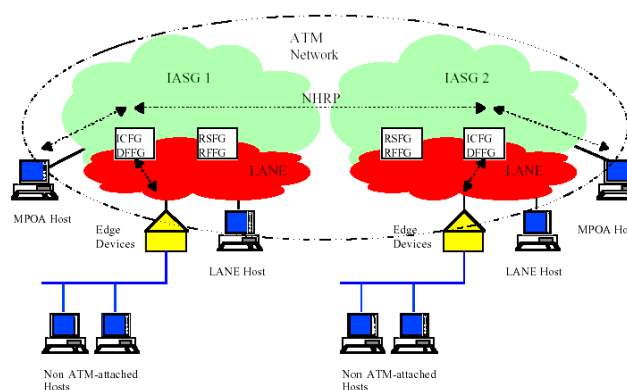


Εικόνα 29 Το μοντέλο αναφοράς του MPOA [33], [35]

8.2. Διαδικασίες του MPOA

Οι διαδικασίες του MPOA είναι ιδιαίτερα σύνθετες. Μια απλουστευμένη περιγραφή φαίνεται σχηματικά στην Εικόνα 30. Κατά την αρχικοποίηση, όλοι οι εξυπηρετητές MPOA και οι ακραίες συσκευές αναγγέλλουν τις διευθύνσεις τους στο επίπεδο 3 και τις ATM διευθύνσεις τους οι οποίες είναι εφικτές μέσω του συντονιστή IASG και του κεντρικού υπολογιστή διαδρομών. Παράλληλα, αρχικοποιούνται και οι παράμετροι του LANE.

Όταν ένα διακομιστής MPOA επιθυμεί να μάθει πώς να επικοινωνήσει με έναν άλλο πάνω από το ATM, αποστέλλει μια αίτηση καθορισμού διεύθυνσης στο ICFG. Αν ο προορισμός βρίσκεται στο ίδιο IASG, ο ICFG δίνει τη διεύθυνσή του. Αλλιώς, η αίτηση μεταβιβάζεται μέχρι το ICFG του προορισμού. Στη συνέχεια, οι δύο διακομιστές μπορούν να εγκαταστήσουν απευθείας σύνδεση ή και να διαβιβάζουν τα μηνύματά τους μέσω ενδιάμεσων σταθμών [34].



Εικόνα 30 Αρχιτεκτονική του MPOA [33]

8.3. Αξιολόγηση πρωτοκόλλου ΜΡΟΑ

Το ΜΡΟΑ είναι μια πολύ σύνθετη τεχνολογία και η εργασία στο forum του ATM απέχει πολύ από το να έχει ολοκληρωθεί. Εντούτοις, το πρότυπο ΜΡΟΑ είναι μια πολύ ελπιδοφόρος τεχνολογία που παρέχει τα ακόλουθα οφέλη [33]:

- ❑ Το ΜΡΟΑ παρέχει τη συνδετικότητα ενός πλήρως δρομολογημένου περιβάλλοντος, και υποστηρίζει υποστήριξη πολλαπλής και ευρείας μετάδοσης
- ❑ Το ΜΡΟΑ αξιοποιεί στο μέγιστο τις δυνατότητες του ATM επειδή προσφέρει την άμεση σύνδεση του ATM μεταξύ των συσκευών ΜΡΟΑ, χωρίς ενδιάμεσους βρόχους και επειδή υποστηρίζει το εγγενές ATM, παρέχοντας QoS στο επίπεδο 3
- ❑ Το ΜΡΟΑ μειώνει τις δαπάνες υποδομής με τον καθορισμό μιας νέας δικτυακής αρχιτεκτονικής. Αντί της ανάπτυξης των κοινών δρομολογητών και με τη λειτουργία της μετατροπής, που είναι πολύ φτηνή δεδομένου ότι μπορεί να γίνει στο υλικό, και ο υπολογισμός διαδρομών, που είναι μάλλον ακριβός δεδομένου ότι πρέπει να τρέξει σε μια πλατφόρμα υψηλής απόδοσης, η μετατροπή διανέμεται στις συσκευές ακρών και υπάρχει μόνο ένας ενιαίος, συγκεντρωμένος δρομολογητής
- ❑ Το ΜΡΟΑ παρέχει μια καθολική προσέγγιση για τα πρωτόκολλα επιπέδου 3 πάνω από ATM
- ❑ Το ΜΡΟΑ εύκολα ενσωματώνεται με το LANE

9. Μεταγωγή Ετικέτας Πολλαπλών Πρωτοκόλλων (MPLS- Multiprotocol Label Switching)

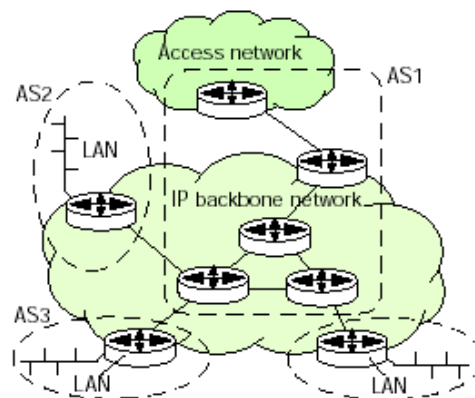
Η μεταγωγή μέσω ετικετών πολλαπλών πρωτοκόλλων (Multi Protocol Label Switching- MPLS) αναπτύχθηκε για να ενσωματώσει τα δίκτυα που βασίζονται στο πρωτόκολλο IP και αυτά που βασίζονται στο ATM. Το MPLS χρησιμοποιεί την πληροφορία δρομολόγησης τους επιπέδου 3, ενώ πραγματοποιεί τη μεταγωγή στο επίπεδο 2. Αντίθετα με την ανάλυση κεφαλίδας του IP που πρέπει να γίνεται σε κάθε σταθμό, με το MPLS κάθε πακέτο ανατίθεται με τη συνολική ροή μόνο μια φορά σε κάθε δίκτυο που εισέρχεται. Η προώθηση δηλαδή γίνεται με τον ίδιο τρόπο που συμβαίνει στα δίκτυα ATM και βασίζεται σε ετικέτες (Labels) [16]. Στον επόμενο πίνακα δίνονται οι διαφορές μεταξύ της κλασικής δρομολόγησης και της μεταγωγής με ετικέτες.

	<i>Conventional Routing</i>	<i>Label Switching</i>
<i>Entire IP Header Analysis</i>	Performed at each hop of the packet's path in the network	Performed only once at the entry of the packet's path in the network.
<i>Support for Unicast and Multicast Data</i>	Requires special multicast routing and forwarding algorithms	Requires only one forwarding algorithm
<i>Routing Decisions</i>	Based on destination address in the IP Header	Based on the number of parameters including destination address in the IP header like QoS, data types (voice), etc.

Η τεχνολογία της μεταγωγής μέσω ετικετών πολλαπλών πρωτοκόλλων είναι μια τεχνολογία που χρησιμοποιείται κυρίως στα δίκτυα κορμού (backbone networks) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για το πρωτόκολλο IP, όσο και για άλλα πρωτόκολλα επιπέδου δικτύου [18].

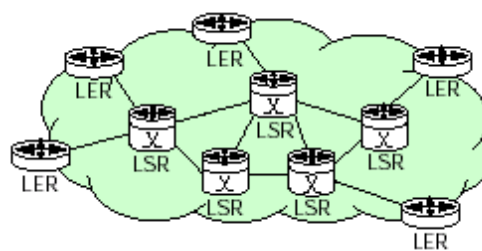
9.1. Τρόπος δρομολόγησης χωρίς τη χρήση του MPLS

Στα συμβατικά δίκτυα IP, τα εξυπηρετούμενα δίκτυα συνδέονται με το δίκτυο κορμού μέσω οριακών δρομολογητών (edge routers) (Εικόνα 31), οι οποίοι με τη σειρά τους συνδέονται μεταξύ τους με μια τοπολογία προσαρμοσμένη στις ανάγκες της κυκλοφορίας του δικτύου. Τα αυτόνομα πακέτα δεδομένων δρομολογούνται σύμφωνα με την πληροφορία που περιέχεται στην κεφαλίδα τους (πρόθεμα δικτύου και τμήμα διακομιστή). Κάθε δίκτυο χαρακτηρίζεται από ένα μοναδικό πρόθεμα δικτύου. Ο βασικός ρόλος λοιπόν των δρομολογητών είναι η όσο το δυνατόν αποδοτικότερη προώθηση των πακέτων από την πηγή στον προορισμό τους, με γνώση της τοπολογίας και της κατάστασης κάθε δικτύου. Η διαδικασία όμως αυτή είναι δαπανηρή σε χωρητικότητα και πρέπει να εκτελείται ανά πακέτο και σε κάθε δρομολογητή [18].



Εικόνα 31 Δρομολόγηση χωρίς τη χρήση MPLS [18]

9.2. Δρομολόγηση με MPLS



Εικόνα 32 Ακραίοι Δρομολογητές Ετικέτας (Label Edge Routers) και Δρομολογητές Μεταγωγής Ετικέτας (Label Switch Routers) [18]

Η δρομολόγηση με χρήση του MPLS χρησιμοποιεί μια διαφορετική προσέγγιση, απλοποιώντας τη λειτουργία προώθησης στους δρομολογητές πυρήνα με την εισαγωγή ενός μηχανισμού προσανατολισμένου στη σύνδεση στο εσωτερικό του δικτύου IP που λειτουργεί χωρίς σύνδεση. Πιο συγκεκριμένα, στα δίκτυα MPLS και για κάθε διαδρομή ή μονοπάτι του δικτύου εγκαθίσταται ένα μονοπάτι μεταγωγή ετικέτας (Label Switched Path- LSP). Οι ακραίοι δρομολογητές (Ακραίοι Δρομολογητές Ετικέτας (Label Edge Routers- LERs)) αναλύουν την κεφαλίδα και αποφασίζουν ποιο LSP να χρησιμοποιήσουν. Επιπλέον, προσθέτουν ένα αναγνωριστικό του LSP με μορφή ετικέτας στο πακέτο και το προωθούν [18].

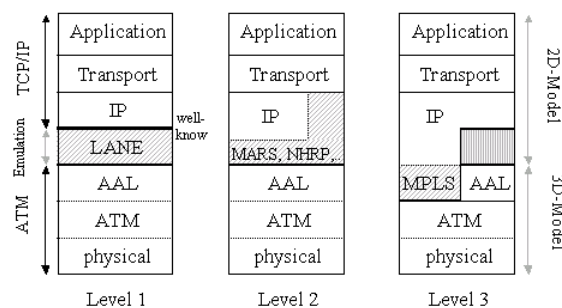
Κάθε επόμενος σταθμός λοιπόν (Δρομολογητές Μεταγωγής Ετικέτας (Label Switch Routers- LSRs)), απλώς προωθεί το πακέτο σύμφωνα με την ετικέτα, χωρίς να πραγματοποιεί εκ νέου την ανάλυση

κεφαλίδας. Η τεχνική αυτή βελτιώνει την απόδοση των συμβατικών δρομολογητών και επιτρέπει τη χρήση ATM μεταγωγέων ως προωθητικές συσκευές, όπως αναφέρθηκε νωρίτερα (Εικόνα 32) [17].

10. Πολλαπλή Μετάδοση στο ATM μέσω του MARS (MARS - based ATM Multicasting)

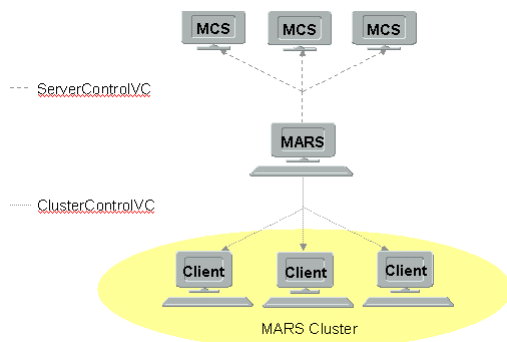
Δεδομένων των αδυναμιών του πρωτοκόλλου IP (εργασία χωρίς σύνδεση, έλλειψη αξιοπιστίας κλπ) και των αντίστοιχων πλεονεκτημάτων των δικτύων ATM, αλλά και της ευρείας χρήσης του IP, κρίθηκε απαραίτητο ότι τα δύο είδη δικτύων θα πρέπει να συνυπάρχουν. Για να επιτευχθεί η συνύπαρξη αυτή, θα έπρεπε να αντιστοιχηθούν όλες οι υπηρεσίες των δύο ειδών δικτύων. Στην παράγραφο αυτή αναφέρεται η αντιστοίχιση των πρωτοκόλλων πολλαπλής μετάδοσης.

Η αντιστοίχιση βέβαια μεταξύ της υπηρεσίας πολλαπλής μετάδοσης χωρίς σύνδεση του IP και της υπηρεσίας πολλαπλής μετάδοσης με σύνδεση του ATM ήταν κάθε άλλο παρά απλή. Η διαδικασία αυτή παρουσιάζεται στο κείμενο [37]. Στην Εικόνα 33 φαίνεται η αντιστοίχιση των επιπέδων και των πρωτοκόλλων των δύο δικτύων.

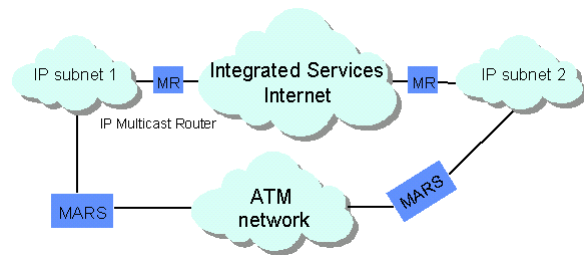


Εικόνα 33 Αντιστοίχιση πρωτοκόλλων IP και ATM [19]

Πιο συγκεκριμένα, οι διακομιστές IP που λειτουργούν με βάση το ATM χρησιμοποιούν έναν εξυπηρετή καθορισμού διεύθυνσης πολλαπλής μετάδοσης (Multicast Address Resolution Server- MARS) για να υποστηρίξουν την πολλαπλή μετάδοση τύπου IP πάνω από την υπηρεσία πολλαπλής σύνδεσης και μετάδοσης του ATM (ATM Forum's UNI 3.0/3.1 point to multipoint connection service). Οι τελικοί ακροδέκτες χωρίζονται σε τμήματα (clusters) και μοιράζονται κοινούς MARSs (Εικόνα 34) για να μπορούν να καταγράφουν και να μεταδίδουν πληροφορία που αναγνωρίζει τους κόμβους που χαρακτηρίζονται ως παραλήπτες για κάποιες συγκεκριμένες ομάδες μετάδοσης. Με τον τρόπο αυτό οι τελικοί κόμβοι εγκαθιστούν και διαχειρίζονται νοητά κυκλώματα από ένα προς πολλά σημεία όταν μεταδίδουν σε ομάδες. Στην Εικόνα 35 φαίνεται η θέση που έχει ο MARS κατά τη διασύνδεση δικτύων ATM και IP.



Εικόνα 34 MARS clusters



Εικόνα 35 Λειτουργία του MARS [37]

11. Πλαίσιο Εργασίας για Αξιόπιστα Πρωτόκολλα Πολλαπλής Μετάδοσης (RMF- Reliable Multicast Framework Protocol)

Όπως προδίδει και το όνομά του, το πρωτόκολλο αυτό αποτελεί ουσιαστικά μια προσέγγιση ορισμού ενός πλαισίου εργασίας (framework) για την υλοποίηση αξιόπιστων πρωτοκόλλων πολλαπλής μετάδοσης (reliable multicast protocols). Δεδομένου λοιπόν ότι πρόκειται για ένα πλαίσιο εργασίας, το RMF δεν ορίζει αποκλειστικά κάποιο πρωτόκολλο. Αντ' αυτού, παρέχει επαρκώς τη *δομή* και τους *μηχανισμούς*, ώστε τα διάφορα αξιόπιστα πρωτόκολλα που αναπτύσσονται σύμφωνα με αυτό το πλαίσιο εργασίας, να υλοποιούνται σωστά και μάλιστα να μπορούν να συνεργάζονται ή αλλιώς να διαλειτουργούν (interoperate). Επιπλέον, το πλαίσιο εργασίας προσπαθεί να εντάξει στους κόλπους του όσο το δυνατόν περισσότερα από τα ήδη υπάρχοντα πρωτόκολλα, ακόμα κι αν αυτά χρησιμοποιούν διαφορετικούς μηχανισμούς μεταξύ τους.

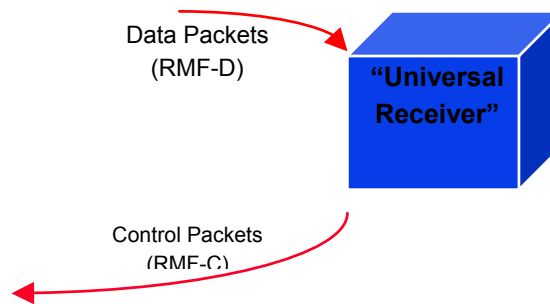
11.1. Τεχνικά χαρακτηριστικά του RMF

Το RMF θεωρεί ένα δικτυακό μοντέλο με κέντρο αναφοράς τον αποστολέα (sender-centric network model) και με πολλαπλούς παραλήπτες. Ο αποστολέας, χρησιμοποιώντας την πληροφορία που συλλέγει από τους παραλήπτες και είσοδο που σχετίζεται με το είδος της εφαρμογής και την πληροφορία που αποστέλλεται, επιλέγει τον αλγόριθμο πολλαπλής μετάδοσης που θα χρησιμοποιήσει και κατά συνέπεια καθορίζει αντίστοιχα τη λειτουργία των παραληπτών (configure the receivers). Η ρύθμιση των παραληπτών επιτυγχάνεται μέσω δυο βασικών αρχών του RMF:

❑ Αυτο- αναγνωριζόμενα πακέτα (self- identifying packets)

Το πακέτο δεδομένων του RMF περιέχει επαρκή πληροφορία ώστε ο αποστολέας να μπορεί να καθορίσει τις κινήσεις του κατά την παραλαβή ενός πακέτου (χρησιμοποιώντας βέβαια και κάποια επιπλέον δεδομένα που προκύπτουν από την κατάσταση του ίδιου του παραλήπτη). Για παράδειγμα, καθορίζεται αν απαιτείται επιβεβαίωση (ACK) του παραλαμβανόμενου πακέτου ή αρνητική επιβεβαίωση (NAK). Τα αυτο- αναγνωριζόμενα πακέτα επιτρέπουν την εύκολη υλοποίηση της αξιοπιστίας ανά πακέτο και μια γενικευμένη άποψη ενός παραλήπτη, την οποία θα καλούμε

«Καθολικός παραλήπτης» (Universal Installer). Η έννοια αυτή του καθολικού παραλήπτη δίνεται στην Εικόνα 36.

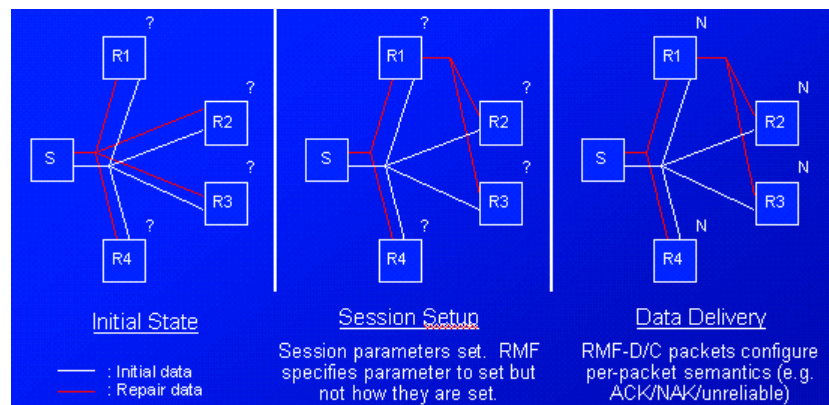


Εικόνα 36 Λειτουργία του καθολικού παραλήπτη στο RMF [20]

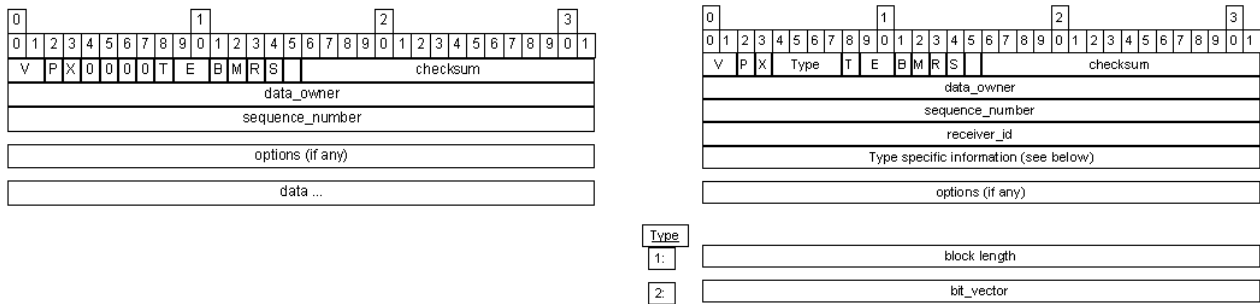
□ **Πληροφορία κατάστασης της συνόδου (Session State Information)**

Πρόκειται για προαιρετική πληροφορία σχετική με την κατάσταση του παραλήπτη, η οποία διατηρείται από τα πρωτόκολλα ελέγχου του επιπέδου συνόδου (τα οποία διαφέρουν από τα πρωτόκολλα επιπέδου μεταφοράς δεδομένων) και καθορίζει την εξ' ορισμού συμπεριφορά ενός πρωτοκόλλου. Για παράδειγμα, η διεύθυνση στην οποία οι επιβεβαιώσεις και οι αρνητικές επιβεβαιώσεις θα πρέπει να παραδίδονται, οι αλγόριθμοι χρονισμού του παραλήπτη και η εξ' ορισμού αξιοπιστία και κατάσταση του παραλήπτη αποτελούν περιπτώσεις πληροφορίας κατάστασης επιπέδου συνόδου.

Ένα από τα αποτελέσματα των παραπάνω δύο χαρακτηριστικών είναι η απλούστερη λειτουργία των παραληπτών, οι οποίοι μπορούν να συνδιαλαγούν με διάφορους αποστολείς και με διαφορετικές απαιτήσεις αξιοπιστίας. Στην Εικόνα 37 φαίνεται το περιβάλλον του RMF, δηλαδή η ρύθμιση των παραληπτών πριν την ανταλλαγή δεδομένων (αριστερή εικόνα), ο καθορισμός του ρόλου κάθε παραλήπτη (δεύτερη εικόνα) και η αποστολή δεδομένων (τρίτη εικόνα). Μια περίληψη των χαρακτηριστικών του RFM δίνεται στον Πίνακα 1, ενώ στην Εικόνα 38 βλέπουμε τη μορφή των πακέτων δεδομένων και ελέγχου του RMF.



Εικόνα 37 Περιβάλλον του RMF [20]



Εικόνα 38 Μορφή πακέτων δεδομένων (αριστερά) και ελέγχου (δεξιά) του RMF

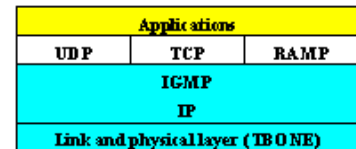
Reliable Multicast Service	RMF Configurable Alternatives
<i>Error Control</i>	<i>Multiple levels of reliability semantics can be supported within a single data stream through per-packet flags.</i>
Detection	Unreliable, Sender-oriented (ACK), or Receiver-oriented (NAK)
Who retransmits missing?	Specified source such as the original sender or a repair server (e.g. a neighboring receiver). Unspecified source when retransmission requests are multicast.
How are retransmits performed?	Unicast retransmissions or Multicast retransmissions (SRM-like)
<i>Performance Monitoring</i>	<i>Numerous measurements about the session are available such as group membership, round-trip delay, and loss rates.</i>
Frequency	Sender-initiated polling, receiver-generated at uniform intervals, and receiver-triggered conditioned on key events.
<i>Algorithm Options</i>	<i>Key receiver algorithm parameters such as the retransmission time-out interval are configurable.</i>
Control Packet Aggregation	Individual control packets for each data packet; Single control packet for consecutive set of data packets; Single control packet for a bit-vector set of data packets.
Ordering	Unordered delivery and source ordered delivery are directly supported.
<i>Miscellaneous</i>	<i>Supports streaming and burst modes for aggressive error control. Supports fragmentation and reassembly.</i>

Πίνακας 1 Σύνοψη χαρακτηριστικών του RMF

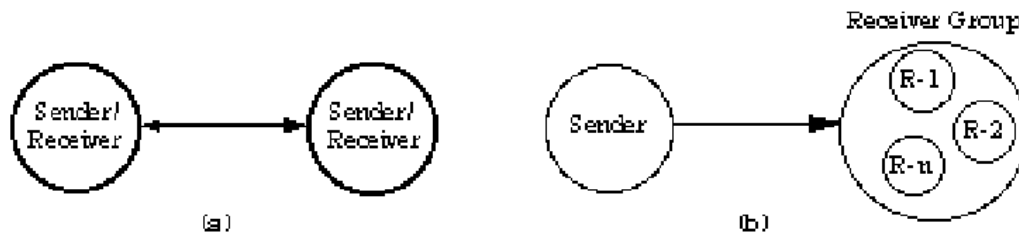
12. Προσαρμόσιμο Πρωτόκολλο Αξιοπιστής Πολλαπλής Μετάδοσης (RAMP-Reliable Adaptive Multicast Protocol)

Το πρωτόκολλο RAMP είναι ένα πρωτόκολλο πολλαπλής μετάδοσης του επιπέδου μεταφοράς και λειτουργεί σε συνεργασία με πρωτόκολλα δικτύου πολλαπλής μετάδοσης, όπως το πρωτόκολλο πολλαπλής μετάδοσης του IP, παρέχοντας δυνατότητες αξιοπιστής μετάδοσης από έναν προς πολλούς σταθμούς (point-to-multipoint transmission). Το πρωτόκολλο παρέχει αξιόπιστες υπηρεσίες προσανατολισμένες στη σύνδεση και συνεχείς ροές δεδομένων (streams), αλλά μπορεί να διατηρήσει και τα όρια των μηνυμάτων, οπότε υποστηρίζονται και τα πακέτα δεδομένων (datagrams). Η αξιοπιστία που παρέχεται αφορά τόσο στον αποστολέα, όσο και στους παραλήπτες, αντίθετα με άλλα παρόμοια πρωτόκολλα [38].

Σχηματικά, στην Εικόνα 39 φαίνεται η θέση του πρωτοκόλλου RAMP σε σχέση με τα συνεργαζόμενα με αυτό πρωτόκολλα. Αν και το λειτουργικό μοντέλο του RAMP είναι παρόμοιο με το TCP, το TCP εγκαθιστά μια πλήρη, διπλής κατεύθυνσης αξιόπιστη σύνδεση μεταξύ των ακραίων σημείων ((a)), ενώ το RAMP εγκαθιστά μιας μονής κατεύθυνσης αξιόπιστη ροή μεταξύ του αποστολέα και της ομάδας των παραληπτών (Εικόνα 40(b)).



Εικόνα 39 Θέση του RAMP σε σχέση με άλλα πρωτόκολλα [22]



Εικόνα 40 Σύγκριση τρόπου σύνδεσης TCP και RAMP [38]

12.1. Παρεχόμενες υπηρεσίες από το πρωτόκολλο RAMP

12.1.1. Μη αξιόπιστη παράδοση

Παρέχονται δύο τρόποι παράδοσης δεδομένων, χωρίς εγγυήσεις όσον αφορά στην ακεραιότητα των παραδιδόμενων δεδομένων (μη αξιόπιστη παράδοση). Ο πρώτος τρόπος είναι το κλασικό μοντέλο αναξιόπιστης παράδοσης χωρίς σύνδεση (κατάλληλη για εφαρμογές μεταφοράς βίντεο και φωνής). Ο δεύτερος τρόπος παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, δεδομένου ότι, ενώ ο αποστολέας υποστηρίζει την αξιόπιστη παράδοση, δεν είναι απαραίτητο όλοι οι παραλήπτες να λειτουργούν σε αξιόπιστη λειτουργία. Η ελαστικότητα αυτή δίνει τη δυνατότητα εξυπηρέτησης διαφορετικών απαιτήσεων με μια μοναδική αποστολή δεδομένων.

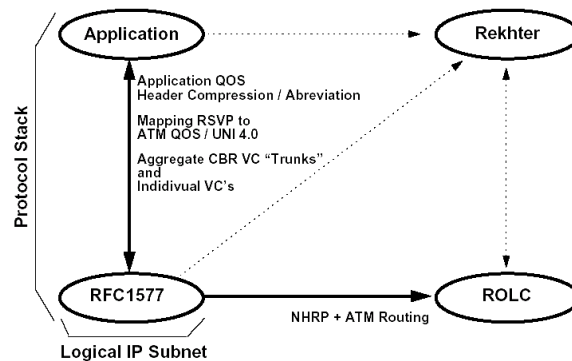
12.1.2. Ροή δεδομένων

Σε αντίθεση με το πρωτόκολλο IP [38], η ροή δεδομένων από τον αποστολέα στους παραλήπτες στο RAMP περιέχει, εκτός από τα πακέτα δεδομένων, και επιπλέον μηνύματα ελέγχου. Αυτό που είναι πολύ σημαντικό στη λειτουργία του πρωτοκόλλου RAMP είναι ότι ο αποστολέας επιλέγει να λειτουργεί είτε κατά ριπές (**burst mode**) είτε με στάση αδράνειας (**idle mode**) ([39], [21]). Η επιλογή εξαρτάται από τον αριθμό των παραληπτών και επηρεάζει τη φόρτωση ή όχι του δικτύου. Πιο συγκεκριμένα, η κατάσταση λειτουργίας με ριπές μειώνει τον αριθμό των μεταδιδόμενων bits δεδομένων αυξάνοντας τις δυνατότητες ελέγχου και ως εκ τούτου είναι κατάλληλη για μικρές μόνο ομάδες παραληπτών (<100). Αντίθετα, η «αδρανής» λειτουργία εισάγει και νέα μηνύματα στη ροή δεδομένων, οπότε χρησιμοποιείται σε μεγάλες ομάδες παραληπτών. Οι δύο αυτοί τρόποι λειτουργίας φαίνονται σχηματικά στην Εικόνα 41.

13. Δρομολόγηση μεγάλων νεφών (ROLC- Routing Over Large Clouds)

Δεδομένου ότι οι υπηρεσίες που παρέχονται από τα δίκτυα ATM είναι πολύ σημαντικές, γίνεται προσπάθεια, με τις ελάχιστες δυνατές τροποποιήσεις, να παρέχονται από και το IP οι δυνατότητες αυτές. Ανάμεσα στους τρόπους πραγματοποίησης αυτής της μετατροπής είναι η εξομοίωση LAN και το κλασικό IP πάνω από ATM, δεν πληρούν όμως όλες τις προϋποθέσεις [23]. Η επιθυμητή λύση θα πρέπει να έχει τις παρακάτω ιδιότητες (Εικόνα 43):

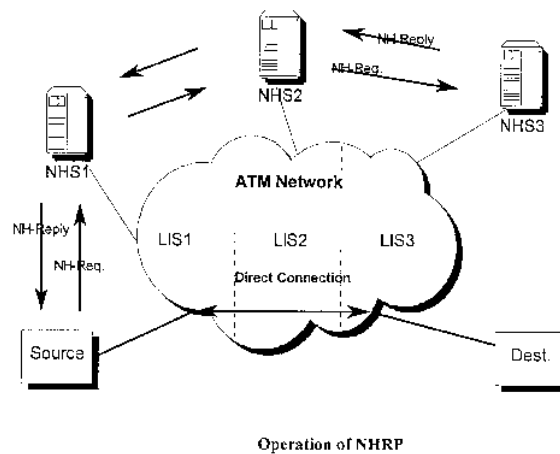
- Οι εφαρμογές TCP/IP που μπορούν να επωφεληθούν από το ATM πρέπει να υποστηρίζονται απευθείας από τη δομή του ATM
- Ομαλή συνύπαρξη εξομοίωσης LAN και IP πάνω από ATM και υπέρβασή τους
- Συμβατότητα με παλαιότερες τεχνολογίες



NOTE: The classical LIS model is the default for all IP over ATM clients; i.e., for now and future, hosts will still be able to default to a subnet hop-by-hop routing model and/or the traditional protocol stack.

Εικόνα 43 Θέση του ROLC

Η πρόταση του ROLC αντικαθιστά τις προηγούμενες τεχνολογίες με μια νεότερη έκδοση δικτύου μη- ευρείας πολλαπλής μετάδοσης (Non-Broadcast Multiple Access (NBMA) network) [24]. Επίσης, εισάγει το πρωτόκολλο NHRP, κάνοντας κάποιες μετατροπές όπως: χαλαρώνει το κλασικό μοντέλο και διευρύνει το ρόλο του εξυπηρέτη



Εικόνα 44 Πρόταση ROLC [24]

14. Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία παρουσιάστηκαν οι ανάγκες που οδήγησαν στην εισαγωγή του **IPv6** και αντίστοιχα στη σταδιακή αντικατάσταση του προγενέστερου IPv4, οι οποίες δεν είναι άλλες από την εκθετική αύξηση του μεγέθους του Διαδικτύου και την τάση εξάντλησης του χώρου διευθύνσεων του IPv4, την απαίτηση από τους δρομολογητές να διατηρούν τεράστιους πίνακες δρομολόγησης, την επιτακτική ανάγκη για απλούστερη δρομολόγηση, τις απαιτήσεις για ασφάλεια στο επίπεδο δικτύου και την ανάγκη για καλύτερη υποστήριξη παράδοσης δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, δηλαδή για βελτιωμένη και εγγυημένη ποιότητα υπηρεσιών (Quality of Service- QoS). Ακολούθησε η παράθεση των βασικών χαρακτηριστικών του.

Επίσης, παρουσιάστηκαν τα βασικά στοιχεία του **MBONE** - Virtual Multicasting Backbone On the Internet, μιας τεχνολογίας που επιτρέπει τη διακίνηση και προσπέλαση διαλογικών πολυμέσων σε πραγματικό χρόνο στο Internet. Η διανομή τέτοιων ισόχρονων μέσων σε δίκτυα μεταγωγής πακέτων, όπως το Internet, δεν ήταν εφικτή πριν εφευρεθεί και αναπτυχθεί το MBONE. Πρόκειται για μια πειραματική δομή που κατασκευάστηκε για την ανάπτυξη, εκλέπτυνση και βελτίωση των πρωτοκόλλων πολλαπλής αποστολής (multicast protocols) και εφαρμογών στο Internet.

Στη συνέχεια, αναλύθηκαν οι λόγοι για τους οποίους η κινητή και ασύρματη κοινότητα επικοινωνιών υποστηρίζει με σθένος το **Wireless IPv6 Networking**, και τα πλεονεκτήματά του ως προς την κάλυψη των αναγκών για δισεκατομμύρια διευθύνσεις IP για τις κινητές συσκευές μέσα στην επόμενη δεκαετία. Τα δίκτυα που αποτελούνται από αυτούς τους τύπους συσκευών θα γίνουν πιθανώς νησίδες (islands) IPv6, με τις πύλες στο Διαδίκτυο, καθώς οι ασύρματες υπηρεσίες επόμενης γενιάς αναπτύσσονται.

Στη συνέχεια, παρουσιάστηκαν οι βελτιώσεις του ICMPv6 σε σχέση με τις προηγούμενες εκδόσεις του. Πρόκειται για ένα μηχανισμό αναφοράς λαθών και μπορεί να αναφέρει την κατάσταση μόνο στην αρχική πηγή, διότι το πρωτόκολλο IP δεν καταγράφει πλήρη εγγραφή αυτής της διαδρομής μέσω του διαδικτύου. Επιτρέπει δε σε δρομολογητές και εξυπηρετητές να στέλνουν μηνύματα ελέγχου ή λαθών σε άλλους δρομολογητές ή εξυπηρετητές.

Στα δίκτυα IP, οι διακομιστές που θέλουν να λάβουν μηνύματα πολλαπλής μετάδοσης πρέπει να ενημερώσουν τους αμέσως γειτονικούς τους δρομολογητές. Είναι δυνατό για κάθε κόμβο να γίνει μέλος μιας ή περισσότερων ομάδων πολλαπλής μετάδοσης. Το **IGMP** είναι το πρωτόκολλο μέσω του οποίου οι διακομιστές ανταλλάσσουν αυτές τις πληροφορίες με τους τοπικούς δρομολογητές τους.

Το **NHRP** που παρουσιάστηκε στην συνέχεια δεν είναι ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης, αλλά ένας μηχανισμός καθορισμού διεύθυνσης του προορισμού. Συνεπώς, δεν αντικαθιστά κανένα πρωτόκολλο και συνεργάζεται με αυτά. Το NHRP αντικαθιστά την έννοια των LISs με αυτή των λογικών ομάδων διευθύνσεων (Logical Address Groups- LAGs). Οι ομάδες αυτές καθορίζονται μέσω ενός προθέματος διεύθυνσης IP και ομαδοποιούν τους διακομιστές και τους δρομολογητές σε διαφορετικά υποδίκτυα. Συνεπώς, υπάρχει δυνατότητα επικοινωνίας μεταξύ δύο σταθμών που είναι στο ίδιο NBMA, αλλά σε διαφορετικό LIS επειδή είναι στο ίδιο LAG.

Το **MPOA** είναι μια προσπάθεια υποστήριξης ενιαίας και χωρίς όρια (seamless) μεταφοράς των πρωτοκόλλων του επιπέδου 3 δια μέσου των δικτύων ATM. Επεκτείνει την ιδέα του ιδεατού τοπικού δικτύου (Virtual Lan- VLAN) πέρα από τις δυνατότητες του πρωτοκόλλου LANE (LAN Emulation- LANE), αντιμετωπίζοντας κάποια μειονεκτήματά του. Προσφέρει λοιπόν διαφανή εξομοίωση των πρωτοκόλλων δρομολόγησης πάνω σε δίκτυα ATM, ενώ το LANE προσφέρει εξομοίωση των πρωτοκόλλων LAN πάνω σε δίκτυα ATM. Λειτουργεί δε στα επίπεδα 2 και 3, αλλά μπορεί να χρησιμοποιήσει το πρωτόκολλο LANE για την προώθηση στο επίπεδο 2.

Η μεταγωγή μέσω ετικετών πολλαπλών πρωτοκόλλων (Multi Protocol Label Switching- **MPLS**) αναπτύχθηκε για να ενσωματώσει τα δίκτυα που βασίζονται στο πρωτόκολλο IP και αυτά που βασίζονται στο ATM. Το MPLS χρησιμοποιεί την πληροφορία δρομολόγησης τους επιπέδου 3, ενώ πραγματοποιεί τη μεταγωγή στο επίπεδο 2. Αντίθετα με την ανάλυση κεφαλίδας του IP που πρέπει να γίνεται σε κάθε σταθμό, με το MPLS κάθε πακέτο ανατίθεται με τη συνολική ροή μόνο μια φορά σε κάθε δίκτυο που εισέρχεται.

Δεδομένων των αδυναμιών του πρωτοκόλλου IP (εργασία χωρίς σύνδεση, έλλειψη αξιοπιστίας κλπ) και των αντίστοιχων πλεονεκτημάτων των δικτύων ATM, αλλά και της ευρείας χρήσης του IP, κρίθηκε απαραίτητο ότι τα δύο είδη δικτύων θα πρέπει να συνυπάρχουν. Για να επιτευχθεί η συνύπαρξη αυτή, θα έπρεπε να αντιστοιχηθούν όλες οι υπηρεσίες των δύο ειδών δικτύων. Αυτός ακριβώς είναι και ο λόγος ύπαρξης του **MARS**.

Όπως προδίδει και το όνομά του, το **RMF** αποτελεί ουσιαστικά μια προσέγγιση ορισμού ενός πλαισίου εργασίας (framework) για την υλοποίηση αξιόπιστων πρωτοκόλλων πολλαπλής μετάδοσης (reliable multicast protocols). Δεδομένου λοιπόν ότι πρόκειται για ένα πλαίσιο εργασίας, το RMF δεν ορίζει αποκλειστικά κάποιο πρωτόκολλο. Αντ' αυτού, παρέχει επαρκώς τη δομή και τους μηχανισμούς, ώστε τα διάφορα αξιόπιστα πρωτόκολλα που αναπτύσσονται σύμφωνα με αυτό το πλαίσιο εργασίας, να υλοποιούνται σωστά και μάλιστα να μπορούν να συνεργάζονται.

Το πρωτόκολλο **RAMP** είναι ένα πρωτόκολλο πολλαπλής μετάδοσης του επιπέδου μεταφοράς και λειτουργεί σε συνεργασία με πρωτόκολλα δικτύου πολλαπλής μετάδοσης, όπως το πρωτόκολλο πολλαπλής μετάδοσης του IP, παρέχοντας δυνατότητες αξιόπιστης μετάδοσης από έναν προς πολλούς σταθμούς (point-to-multipoint transmission). Το πρωτόκολλο παρέχει αξιόπιστες υπηρεσίες προσανατολισμένες στη σύνδεση και συνεχείς ροές δεδομένων (streams), αλλά μπορεί να διατηρήσει και τα όρια των μηνυμάτων, οπότε υποστηρίζονται και τα πακέτα δεδομένων (datagrams). Η αξιοπιστία που παρέχεται αφορά τόσο στον αποστολέα, όσο και στους παραλήπτες, αντίθετα με άλλα παρόμοια πρωτόκολλα.

Δεδομένου ότι οι υπηρεσίες που παρέχονται από τα δίκτυα ATM είναι πολύ σημαντικές, γίνεται προσπάθεια, με τις ελάχιστες δυνατές τροποποιήσεις, να παρέχονται από και το IP οι δυνατότητες αυτές. Ανάμεσα στους τρόπους πραγματοποίησης αυτής της μετατροπής είναι η εξομοίωση LAN και το κλασικό IP πάνω από ATM, δεν πληρούν όμως όλες τις προϋποθέσεις. Η πρόταση του ROLC αντικαθιστά τις προηγούμενες τεχνολογίες με μια νεότερη έκδοση δικτύου μη- ευρείας πολλαπλής μετάδοσης (Non-Broadcast Multiple Access (NBMA) network). Επίσης, εισάγει το πρωτόκολλο NHRP, κάνοντας κάποιες μετατροπές όπως: χαλαρώνει το κλασικό μοντέλο και διευρύνει το ρόλο του εξυπηρέτη ATMARP.

15. Βιβλιογραφία

Πηγές στο Διαδίκτυο

- [1] <ftp://ftp.ipv6.org/pub/rfc/rfc1933.txt>
Δικτυακός τόπος ενημέρωσης για το πρωτόκολλο IPv6. Περιέχει συνδέσεις σε συχνές ερωτήσεις (FAQs), πληροφορίες για εφαρμογές που στηρίζονται στο IPv6, κείμενα που ορίζουν πρότυπα σχετιζόμενα με το IPv6, υλοποιήσεις, λίστες (mailing lists) κλπ
- [2] *IP Next Generation (IPv6)*, Based in part upon slides of Prof. Raj Jain (OSU), S.Deering (Cisco), C. Huitema (Microsoft), http://eece2.sogang.ac.kr/class/2002_2/internetarchitecture/ipv6.ppt
Δικτυακός τόπος του εργαστηρίου Real Time Internet Lab, Shinsudong, Mapogu, Seoul, Korea, Θέματα ενδιαφέροντος: Θεωρία κυκλωμάτων, Δίκτυο Internet, Αρχιτεκτονική του Internet, Nobile Internet κλπ
- [3] <http://www.teiath.gr/mbone/>
Δικτυακός τόπος του ΤΕΙ Αθηνών. Στη συγκεκριμένη περιοχή, δίνονται πληροφορίες για το MBONE και την εξάπλωσή του στην Ελλάδα. Καλύπτονται δηλαδή τα εξής :GUNET, συχνές ερωτήσεις για το MBONE, εγχειρίδια χρήσης, tests για το MBONE, πρωτόκολλα πολλαπλής μετάδοσης, χαρακτηριστικά ποιότητας, MBONE και ATM, CODECs κλπ
- [4] <http://tokuda-www.cs.titech.ac.jp/~pavlin/multicast/mbone/mbone.html>
Γενικές πληροφορίες για το MBONE: τι είναι το MBONE, πώς μπορεί κάποιος να γίνει συνδρομητής, τι καινούριο προσφέρεται από το MBONE, συχνές ερωτήσεις, εφαρμογές MBONE, άλλες σελίδες με πληροφορίες για το MBONE, αναφορές, εμπορικοί προμηθευτές του MBONE κλπ
- [5] *The Internet Multicast Backbone*, <http://www.serpentine.com/~bos/tech/mbone/>
Δίνουν μια συνοπτική επισκόπηση του MBONE, των εφαρμογών του και του τρόπου σύνδεσης σε αυτό. Οι ακόλουθες σελίδες παρέχουν μια επισκόπηση της τρέχουσας κατάστασης του κόσμου του MBone, καθώς επίσης και ένα σύνολο αναφορών για πιο λεπτομερή μελέτη.
- [6] *IP Multicasting - DAVE KOSIUR -The Mbone & Other Multicast Networks 1998* <http://ccl.cnu.ac.kr/seminar/1998/labseminar/IPmulticasting/chap10.ppt>
Δικτυακός τόπος του εργαστηρίου Computer Communications Laboratory, Chungnam National University, Department. of InfoCom Engineering
- [7] Kevin Savetz, Neil Randall and Yves Lepage : *MBONE: Multicasting Tomorrow's Internet*, 1998, <http://www.savetz.com/mbone/>
Ένα βιβλίο για το multicasting backbone και το μέλλον των πολυμέσων στο διαδίκτυο. Αυτή η σελίδα περιέχει το πλήρες κείμενο του βιβλίου που δημοσιεύθηκε από τον οίκο IDG τον Απρίλιο του 1996 και έχει εξαντληθεί.

- [8] Zach D. Shelby¹, Tommi Saarinen, Petri Mähönen, Diego Melpignano, Alan Marshall, Luis Muñoz: *Wireless IPv6 Networking–WINE* http://paula.oulu.fi/~zdshelby/work/ist_mobile_paperv2.doc
Προσωπική ιστοσελίδα του Z. Shelby. Ερευνητικά ενδιαφέροντα: Internet Protocol Research, IP over wireless links, network simulation.
- [9] IPv6 Upgrades for Wireless <http://www.internetindustry.com/mag/archive/fw00/14ipv6/index.shtml>
Ιστοσελίδα του περιοδικού “Internet Industry: the complete source book for ISP executives, purchasing agents and industry professionals”. Περιέχει νέα και πηγές σχετικές με τις εφαρμογές του Internet στη βιομηχανία.
- [10] Ping implementation (ICMP) <http://profile.sh/syswiki/edit.php?links=ICMP>
Εφαρμογές του πρωτοκόλλου ICMP πχ PING, traceroute κλπ
- [11] <http://www.ecse.rpi.edu/Homepages/shivkuma/teaching/sp2002/>
Διαλέξεις στο ECSE-6600 με θέμα τα πρωτόκολλα του Internet. Διεξήχθη την άνοιξη του 2001.
- [12] <http://www.networksorcery.com/enp/protocol/igmp.htm>
Κείμενο ορισμού του πρωτοκόλλου IGMP. Η ιστοσελίδα <http://www.networksorcery.com/> παρέχει πηγές πληροφοριών για τις δικτυακές τεχνολογίες.
- [13] <http://www.conta.uom.gr>
Το εργαστήριο **CONTA** (COmputer Networks & Telematics Applications) είναι ένα εργαστήριο έρευνας και ανάπτυξης. Τομείς ενδιαφέροντος: Πολυμεσικά Δίκτυα, Οπτικά Δίκτυα, Ποιότητα Υπηρεσιών, Σχεδίαση & Βελτιστοποίηση Δικτύων, Έλεγχος & Διαχείριση Ροής Πληροφορίας, Προσομοιώσεις Δικτύων, Ευφυείς Αλγόριθμοι σε Δίκτυα, Οικονομικά Δικτύων, Τιμολόγηση & Ανταγωνισμός, Τηλε-Εκπαίδευση, Ηλεκτρονικό Εμπόριο, Υπηρεσίες Παγκόσμιου Ιστού
- [14] http://www.et.put.poznan.pl/tcpip/igmp/igmp_intro.htm
Βασικές πληροφορίες για το πρωτόκολλο IGMP.
- [15] http://searchnetworking.techtarget.com/sDefinition/0,,sid7_gci283989,00.html
Βασικές πληροφορίες για το πρωτόκολλο NHRP, χρήσιμοι σύνδεσμοι και πηγές.
- [16] Jay Kumarasamy: *MPLS Architecture Overview*, http://www.cisco.com/warp/public/732/Tech/mppls/mppls_presentations.shtml
Συλλογή πληροφοριών και άρθρων σχετικών με το MPLS, από την εταιρεία CISCO, η οποία επίσης δραστηριοποιείται και σε πολλούς άλλους τομείς των δικτυακών τεχνολογιών.
- [17] Ayan Banerjee, John Drake, Jonathan P. Lang, Brad Turner, Kireeti Kompella, Yakov Rekhter: *Generalized Multiprotocol Label Switching: An Overview of Routing and Management Enhancements*, <http://www.mplssrc.com/articles.shtml>
Άρθρα σχετικά με τα πρωτόκολλα διαμοιρασμού ετικέτας (Label Distribution Protocols (RSVP / CR-LDP)), το γενικευμένο MPLS (Generalized MPLS (GMPLS)), το Optical Networking και την ενοποίηση ATM και Frame Relay

- [18] Göran Hågård and Mikael Wolf, *Multiprotocol label switching in ATM networks*, <http://www.whipper.uwc.ac.za/~tpaulse/Masters/Summaries/mpis.htm>
Περιγραφή του MPLS, πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα
- [19] Eric Mannie, *Internet and ATM Coexistence Draft Guideline*, <http://gina.iihe.ac.be/nig-g3/nigg3.ppt>
Τρόποι συνύπαρξης Internet και ATM, όπως καθορίστηκαν από το Project Nig-3
- [20] Brian DeCleene, Jim Kurose: *Reliable Multicast Framework (RMF)*, April 5, 1997
http://www.tascnets.com/newtascnets/Software/RMF/RMF_CLR.ppt
Πληροφορίες για τα Reliable Multicast Framework και Reliable Adaptive Multicast Protocol (RMF/RAMP)
- [21] *Overview of Reliable Multicast Protocols*, Haobo Yu (with additions by Christos Papadopoulos) USC/ISI, <http://netweb.usc.edu/cs551sp2000/lectures/>
Περιεχόμενα του CS551: Computer Communications, 2000. Το θέμα αυτής της σειράς μαθημάτων είναι τα πρωτόκολλα επικοινωνίας υπολογιστών. Η έμφαση δίνεται στα εννοιολογικά και πειραματικά ζητήματα στο σχέδιο και την εφαρμογή των δικτύων υπολογιστών και των διαδικτύων.
- [22] *Time-Reliable Multicast Protocols* http://nimrud.eet.bme.hu/mc/2MC_IMPL/4TIMEREL.PPT
Εργαστήριο Πολυμέσων και Πληροφορικής πανεπιστημίου της Ουγγαρίας
- [23] Yakov Rekhter, *IP Architecture Extensions for ATM -ROLC and LIS_ Model*, March 1995, <http://www.ietf.cnri.reston.va.us/proceedings/95apr/rtg/rolc.html>
Ιστοσελίδα της IETF με πληροφορίες για ποικίλους τομείς των δικτυακών επικοινωνιών
- [24] <http://www.csse.monash.edu.au/~jwb/subjects/cse5803/multicast/multicasting.html>
Ιστοσελίδα της σχολής Computer Science and Software Engineering του Monash University

Άρθρα περιοδικών/ πρακτικών συνεδρίων, βιβλία/ εγχειρίδια

- [25] www.cisco.com/warp/public/732/abc/docs/abcip6.pdf
- [26] *Internet Protocol, Version 6 (IPv6)*, Cisco Systems Inc, 1996
<http://www.cn411.com/Ziliao/CCNA/IPv6%20White%20Paper.pdf>
- [27] Michael R. Macedonia and Donald P. Brutzman, *MBone Provides Audio and Video Across the Internet*, <http://www-itg.lbl.gov/mbone/Macedonia.html>
- [28] Tamara Munzner, Eric Hoffman, K. Claffy and Bill Fenner: *Visualizing the Global Topology of the Mbone* Proceedings of the 1996 IEEE Symposium on Information Visualization, pp. 85-92, October 28-29 1996, San Francisco, CA, 1996

- [29] Hans Eriksson: MBONE: The Multicast Backbone, Communications of the ACM August 1994, Volume 37 Issue 8
- [30] Emerging Wireless Technologies: *High-Speed Wireless LANs and Internet Protocols of Tomorrow* http://www.psw.gov/library/docs/emerging_wireless_technologies_part3.doc
- [31] Luigi Rizzo, *Fast group management in IGMP*, <http://citeseer.nj.nec.com/rizzo98fast.html>
- [32] Peter J. Welch: *Next Hop Resolution Protocol*, www.tele.sunyit.edu/welcher/nhrp.pdf
- [33] S. Giordano, R. Schmid (Editor), R. Beeler, H. Flinck, J.-Y. Le Boudec, IP and ATM – a position paper, SSC Technical Report no. 97/017, in EXPERT ATM Traffic Symposium 1997
- [34] Jun Xu: *IP over ATM: Classical IP, NHRP, LANE, MPOA, PAR and I-PNNI*, http://www.cis.ohio-state.edu/~jain/cis788-97/ip_over_atm/index.htm
- [35] Raj Jain, Legacy Protocols Over ATM: Part II, http://www.cis.ohio-state.edu/~jain/cis788-97/h_4ipsw.htm
- [36] Uyless Black, IP Routing Protocols: RIP, OSPF, BGP, PNNI & CISCO Routing Protocols, Upper saddle River, New Jersey, Prentice Hall: 2000
- [37] Royce Ulrich: *IP Multicasting over ATM: A Survey*, ATM/ IP and QoS Workshop, 1997
- [38] A. Koifman and S. Zabele, "RAMP: A Reliable Adaptive Multicast Protocol," Proceedings of IEEE INFOCOM, pp1442-1451, March 1996
- [39] Katia Obraczka, *Multicast Transport Protocols: A Survey and Taxonomy*, IEEE Communications Magazine, January 1998, <http://csl.changwon.ac.kr/cyberclasses/seminars>