

Τ.Ε.Ι. ΗΠΕΙΡΟΥ

Τ.Ε.Ι. OF EPIRUS



ΣΧΟΛΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ (Σ.Δ.Ο)
ΤΜΗΜΑ ΤΗΛΕΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

SCHOOL OF MANAGEMENT AND ECONOMICS
*DEPARTMENT OF COMMUNICATIONS,
INFORMATICS AND MANAGEMENT*

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

IP OVER ATM

ΣΚΑΛΟΥΜΠΙΑΚΑΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: ΛΑΠΠΑΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

Καθηγητής Τεχνολογιών Διαδικτύου

ΑΡΤΑ 2003

Ευχαριστίες

Θα ήθελα πριν ξεκινήσει η παρουσίαση αυτής της εργασίας να ευχαριστήσω αυτούς που με βοήθησαν στην πραγματοποίησή της είτε ενεργά με την παροχή μερικών πληροφοριών ή με την γενικότερη προσφορά τους όσον αφορά τις γνώσεις που έλαβα όλα αυτά τα τέσσερα χρόνια της φοίτησής μου στο ΤΕΙ Ηπείρου, πάνω στο αντικείμενο των δικτύων. Αρχικά να ευχαριστήσω τον εισηγητή μου κ. Κωνσταντίνο Λάππα για την αναγνώριση της πρωτοβουλίας, της εργατικότητας και της υπευθυνότητας που αναγνώρισε στο πρόσωπο μου και μου ανέθεσε το θέμα αυτό και το βιβλιογραφικό υλικό που μου προσέφερε, ύστερα όλους τους καθηγητές μου που με τις γνώσεις που μου παρείχαν αυτό το διάστημα με βοήθησαν στη σύνταξη αυτής της εργασίας και την απόκτηση πολλών άλλων σημαντικών γνώσεων. Επίσης να ευχαριστήσω τους καθηγητές της τριμελούς επιτροπής κ. Ελευθέριο Στεργίου καθηγητή Εφαρμογών και κ. Χήρα Χρήστο καθηγητή Τεχνολογιών Διαδικτύου.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Πρόλογος	4
1. Εισαγωγή	5
2. Υποστηριζόμενες υπηρεσίες - Supported Services	8
3. Ζητήματα σχετικά με το IP πάνω από το ATM	12
4. Λειτουργία του δικτύου ATM	17
4.1 Peer and Overlay Models	20
5. Techniques of IP Over ATM	23
5.1 Σηματοδοσία – Signaling	23
5.1.1 Απλό πρωτόκολλο σηματοδοσίας ATM δικτύων - Simple Protocol for ATM Network Signaling (SPANS)	24
5.1.2 UNI 3.0 και UNI 3.1	24
5.1.3 UNI 4.0	25
5.2 Πρωτόκολλα δρομολόγησης του ATM	26
5.2.1 Φάση P-NNI 1 , QoS Υποστήριξη	28
5.3 Εξομοίωση τοπικού δικτύου - LAN Emulation (LANE)	30
5.4 Κλασικό πρότυπο - Classical Model	34
5.5 Πρωτόκολλο ανάλυσης next hop, (NHRP)	37
5.6 P-NNI και Integrated P-NNI	41
5.6.1 Private-NNI (P-NNI)	41
5.6.2 Integrated-PNNI (I-PNNI)	46
5.7 Multi-Protocol Over ATM (MPOA) Model	49
5.8 Multi-Protocol Label Switching (MPLS)	52
5.8.1 Tag Switching	54
5.9 Multicast over ATM	57
5.10 IP Integrated Services over ATM	60
5.10.1 Real-Time Protocol (RTP)	62
5.10.2 Evolution to IPv6	64
5.10.3 Ανταγωνιστικές Τεχνολογίες	65
6. Διαμόρφωση απόδοσης IP Over ATM	66
7. Συμπεράσματα	67
Επίλογος	70
Βιβλιογραφία	71

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το Διαδίκτυο είναι το δημοφιλέστερο και το γρηγορότερο δίκτυο στον κόσμο σήμερα. Τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται από το Διαδίκτυο είναι το πρωτόκολλο ελέγχου μεταφορών (TCP) που τρέχει πάνω από το πρωτόκολλο Διαδικτύου IP, γνωστό ως TCP/IP. Το τελευταίο είναι το πρωτόκολλο στρώματος δικτύων. Το μεγαλύτερο μέρος του Διαδικτύου τρέχει σήμερα με τη συμβατή τεχνολογία του τοπικού LAN όπως Ethernet και Token Ring για τα μικρότερα υποδίκτυα και τις WAN τεχνολογίες Frame Relay.

Ο τρόπος ασύγχρονης μεταφοράς (ATM) είναι μια ενιαία εξελικτική τεχνολογία που μπορεί να αντικαταστήσει όλες τις ανωτέρω τεχνολογίες. Τα οφέλη που προσφέρονται από το ATM περιλαμβάνουν την ποιότητα των υπηρεσιών (QoS). Αυτά τα χαρακτηριστικά το καθιστούν πιθανό να τρέξει τις νέες κατηγορίες εφαρμογών στο διαδίκτυο, όπως το real time audio και video.

Ενώ η δομή κυττάρων του ATM και οι μηχανισμοί μετατροπής κυττάρων διευκολύνουν την ανάπτυξη των γρήγορων switch υψηλής απόδοσης ATM, η διασύνδεση των τμημάτων του ATM για να διαμορφώσει ένα δίκτυο περιλαμβάνει την επικάλυψη της σύνθετης δομής πρωτοκόλλου. Και δεδομένου ότι το ATM ακόμα ευρέως δεν επεκτείνεται, η κατάσταση είναι ακόμα και πιο σύνθετη και οφείλεται στο γεγονός ότι τα δίκτυα πρέπει να συνδέσουν τα δίκτυα κληρονομιών.

Το IP είναι ένα σύνθετο πρωτόκολλο στρώματος δικτύων που σχεδιάστηκε για να τρέξει στις συμβατικές τεχνολογίες δικτύων μετάδοσης χωρίς σύνδεση. Το ATM δεν προσαρμόζεται και στις δύο από τις ανωτέρω υποθέσεις. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο είναι απαραίτητο να προσαρμοστούν τα πρωτόκολλα δικτύων του ATM για να εξυπηρετήσουν τις ανάγκες του στρώματος IP. Τα πρωτόκολλα του ATM υποτίθεται ότι γενικά έτρεξαν στο στρώμα δικτύων, αν και είναι δυνατό και μερικές φορές πιθανό να τρέχουν σε άλλα στρώματα ανάλογα με τα στρώματα που τρέχουν επάνω τους.

Διάφορες προσεγγίσεις έχουν προταθεί για να τρέξουν ένα σύνθετο πρωτόκολλο πάνω από ένα άλλο δεδομένου ότι θα επέτρεπε στο Διαδίκτυο ή οποιοδήποτε άλλο δίκτυο που τρέχει το IP, να εκμεταλλευθεί τις υψηλές εγγυήσεις ταχύτητας και ποιότητας του ATM με τη γερή χρησιμότητα του Πρωτοκόλλου IP.

1.Εισαγωγή

Θα προσπαθήσουμε να δώσουμε μια σαφή εικόνα στον τρόπο μεταφοράς IP υπηρεσιών πάνω από το ATM και τις εναλλακτικές λύσεις αυτής της τεχνολογίας. Η τεχνολογία και οι επιλογές αλλάζουν πολύ γρήγορα και έχουν εξελιχθεί σημαντικά κατά τη διάρκεια αυτής της εργασίας. Επιπλέον τα ζητήματα δεν είναι αποκλειστικά τεχνικά αλλά σε πολλές εκτιμήσεις απεικονίζουν ένα μονίμως μνησίκακο χάσμα. Σε αυτή την εργασία προσπαθούμε να παρουσιάσουμε τα τεχνικά ζητήματα και τις λύσεις ακριβώς και να δώσουμε μια αμερόληπτη επισκόπηση των περισσότερων ζητημάτων και τελικά να δείξουμε πως σκεφτόμαστε την τεχνολογία και την εγκατάσταση του εξοπλισμού που πρόκειται να αναπτυχθεί κατά τη διάρκεια των επόμενων ετών. Σαφώς η βεβαιότητα με την οποία παρουσιάζουμε κάθε μία από τις παρακάτω επισκοπήσεις μειώνεται καθώς απομακρυνόμαστε από τη σημερινή τεχνολογία.

Η μεγαλύτερη διαφωνία στον κόσμο των επικοινωνιών είναι: *connected* ή *connectionless*; Σε αυτή τη διαίρεση εντάσσονται και οι οποιεσδήποτε παρακάτω συγκρούσεις:

1. Packet vs. cell
2. L3 routing vs. L2 switching
3. Best effort vs. resource reservation
4. Soft state vs. hard state
5. Hop-by-hop forwarding vs. source routing
6. Broadcast/multicast vs. hard state
7. Receiver-driven multicast vs. sender-driven multicast
8. Connections over connectionless network vs. connectionless over connection-oriented networks.

Οι απόψεις δίστανται και μερικοί ειδικοί πάνω στο θέμα έχουν πάρει ακραίες θέσεις. Σύμφωνα με την καθαρή (*connectionless*) άποψη δεν υπάρχει καμία ανάγκη για τη σύνδεση (*connection oriented*) δικτυακής τεχνολογίας. Η επέκταση του ATM έχει αρχίσει να μειώνεται. Θα αντικατασταθεί παγκοσμίως από τους εξαιρετικά γρήγορους δρομολογητές IP που συνδέονται σε ένα *point to point* βρόγχο από συνδέσεις υψηλού ρυθμού μετάδοσης (*high rate*) SONET (FRAME RELAY, SMDS, ή άλλες *no switched technologies*). Μερικοί θεωρούν ότι αυτό θα επεκταθεί στο PSTN, με ακόμη και την απλή τηλεφωνική υπηρεσία να οδεύει προς τη μεταφορά χωρίς σύνδεση. Η

25ετής ιστορία του Διαδικτύου έχει αποδείξει ένα χρυσό κανόνα σχεδίασης για τα εύρωστα συστήματα δικτύωσης: - διατηρούμε το δίκτυο απλό και βάζουμε την πολυπλοκότητα στα άκρα.

Η αντίθετη όψη φυσικά (connection oriented) είναι ότι το ATM και τα εγγενή πρωτόκολλα του είναι ικανοποιητικά για όλες τις ανάγκες επικοινωνίας, από τη φωνή και το βίντεο στον υπολογιστή έως και WAN, LAN και επικοινωνία δεδομένων. Το IP είναι ένα άλλο πρωτόκολλο που θα χρησιμοποιηθεί σε ένα ευρέως διαδεδομένο ATM δίκτυο το οποίο θα επεκτείνεται από τους Service Providers απευθείας στην επιφάνεια εργασίας.

Η βασική πλευρά του ATM είναι αρκετά απίθανη να πραγματοποιηθεί στο προβλέψιμο μέλλον. Αφ' ετέρου είναι λιγότερο προτεινόμενο ή ευρέως προωθημένο από το IP. Οι περισσότερες μεγάλες εταιρίες επεξεργασίας δεδομένων το βρίσκουν ενδιαφέρον να αναπτύξουν μια σύνθεση αυτών των απόψεων, υιοθετώντας μια γκάμα από λύσεις για τη μεταφορά του IP φορτίου πάνω από το φυσικό δίκτυο ATM. Εντούτοις υπάρχει ένα μεγάλο μέρος του IP που ασχολείται με την ανάπτυξη των εναλλακτικών τεχνολογιών συνδέσεων.

Σε αυτή την παγκόσμια άποψη η τεχνολογία σύνδεσης θα είναι ασήμαντη εφόσον είναι γρήγορη και αποδοτική. Το κλειδί είναι οι εξαιρετικά γρήγορες αναζητήσεις διευθύνσεων, ο υψηλός ρυθμός προώθησης των πακέτων και οι πολύ υψηλού εύρους δρομολογήσεις είτε είναι switched ή bussed.

Ποιες είναι οι δυνάμεις και ποιες οι αδυναμίες των connectionless IP εναντίον των connection oriented δικτύων IP over ATM; Θεωρείται ότι η μετάδοση πακέτου πληροφοριών(packet switching) παρέχει αποδοτικότερη χρήση των πόρων από τη μετατροπή κυκλωμάτων (circuit switching), και λειτουργεί καλύτερα όταν μεταφέρει κανονική ποσότητα δεδομένων. Αυτή η κοινοτοπία περιπλέκεται από την ανακάλυψη της αυτογνωσίας στη συμπεριφορά κυκλοφορίας του δικτύου σε διαφορετικά επίπεδα συνάθροισης. Μένει να γίνει πολλή εργασία για να διευκρινιστεί πώς αυτό έχει επιπτώσεις στη στατιστική πολυπλεξία. Αφ' ετέρου, η μετατροπή κυκλωμάτων(circuit switching) έχει την ικανότητα της παροχής της αυστηρής ποιότητας των υπηρεσιών (QoS). Αλλά οι περισσότερες QoS ευαίσθητων δεδομένων αντιπροσωπεύουν ένα μειωμένο μέρος της γενικής κυκλοφορίας σε όλους τους τύπους δικτύων. Το live video είναι μια απαιτητική εφαρμογή, από την άποψη του εύρους ζώνης καθώς επίσης και άλλων παραμέτρων που θα αποτελέσουν την ποιότητα της υπηρεσίας. Ο

πίνακας 1 είναι μια απλή σύγκριση των παραμέτρων που εξετάζονται από σεβαστές IP υπηρεσίες και από το ATM στον καθορισμό της ποιότητας της υπηρεσίας.

INTERNET QoS		ATM QoS	
Packet Delay	Real-time (bounded)	Cell transfer delay	
	Elastic (best effort)	Cell delay variation	
Link Sharing	Assigned shares	Cell rate	Peak
	Traffic control		Sustainable
Packet Dropping		Cell loss ratio	
		Cell error ratio	
		Cell misinsertion rate	

Πίνακας 1: Διαδίκτυο εναντίον της ποιότητας του ATM των παραμέτρων υπηρεσιών
 Το full motion video δεν είναι εφικτό στις συνδέσεις με το Διαδίκτυο αυτή τη στιγμή, εξαιτίας της έλλειψης ικανοποιητικού εύρους ζώνης και ενδεχομένως των ανώριμων σεναρίων εξοικονόμησης πόρων. Είναι δύσκολο να υποστηριχθούν οι σκληρές QoS εγγυήσεις σε ένα δίκτυο χωρίς σύνδεση, και μπορεί να υπάρξουν εφαρμογές που τις απαιτούν, εντούτοις, αυτή δεν είναι μια συνηθισμένη κατάσταση.

Η ερώτηση που θέλουμε να απαντήσουμε δεν είναι ποια προσέγγιση είναι καλύτερη, αλλά εάν και πώς το IP και το ATM θα συνεργαστούν στο IP κυρίαρχο περιβάλλον του Διαδικτύου; Το υπόλοιπο αυτής της έκθεσης περιέχει διάφορες μεθόδους που έχουν αναπτυχθεί ή έχουν προταθεί για να φέρουν το IP και το ATM μαζί, και για να γίνει αυτός ο συνδυασμός ένας χρήσιμος μεταφορέας για τις επιθυμητές υπηρεσίες.

2.Υποστηριζόμενες υπηρεσίες

Σε αυτήν την εργασία, έχουμε εξετάσει τους μηχανισμούς παράδοσης που είναι κατάλληλοι (ή προτεινόμενοι τουλάχιστον) για την ευρύτερη κατηγορία των ψηφιακών πολυμέσων. Σε αυτό το πλαίσιο αναφερόμαστε σε κάποιο συνδυασμό ψηφιακού τηλεοπτικού, ψηφιακού ήχου, και στατικές και ενεργές ευπαρουσίαστες επιδείξεις (π.χ. φωτογραφικές διαφάνειες διάλεξης ή 'whiteboards'). Μερικές γενικές κατηγορίες είναι:

1. Πολυμέσα ψυχαγωγίας
 1. Motion picture and television production
 2. Pay-per-view live broadcast
 3. Video-on-demand
 4. Interactive gaming
 5. Internet telephony
2. Επιχειρησιακά/ εμπορικά πολυμέσα
 1. Enterprise-wide presentations
 2. Multimedia conferencing
 3. Enterprise-wide telephony
 4. Workgroup collaboration
 5. Interactive sales
3. Ιατρικά πολυμέσα
 1. Medical real-time imaging
 2. Medical image storage and retrieval
 3. Remote consultation and diagnosis
 4. Interactive 'rounds'
4. Εκπαιδευτικά και επιστημονικά πολυμέσα
 1. Distance education
 2. Multimedia libraries
 3. Virtual conferencing
 4. Scientific presentations
 5. Committee working sessions

Είναι σαφές ότι αυτές οι κατηγορίες δεν είναι ολοκληρωτικά περιεκτικές, ούτε είναι αποκλειστικές. Διαμορφώνουν ένα πλαίσιο για να συγκεντρώσουμε τη σκέψη μας.

Είναι επίσης ενδιαφέρον να σημειωθεί ότι μόνο στην περίπτωση της ψυχαγωγίας με πολυμέσα η υπηρεσία είναι το τελικό προϊόν που πωλείται. Ως εκ τούτου οι προσδοκίες για την ποιότητα και τη διαθεσιμότητα είναι πιθανό να είναι υψηλότερες εδώ απ' ότι σε πολλές από τις φαινομενικά περισσότερες σοβαρές εφαρμογές, με εξαίρεση την ιατρική τεχνολογία.

Αυτές οι εφαρμογές χρησιμοποιούν μια σειρά κωδικοποιήσεων με απέραντα διαφορετικές απαιτήσεις μετάδοσης, από την άποψη του εύρους ζώνης, της ευαισθησίας καθυστέρησης, και των άλλων δεδομένων της ποιότητας των υπηρεσιών. Ο πίνακας 2 παρουσιάζει διάφορες κωδικοποιήσεις βίντεο και πολυμέσων, προκειμένου να συγκριθούν οι τρόποι μετάδοσης τους και οι απαιτούμενοι ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων. Ο πίνακας 3 δείχνει το ίδιο πράγμα αλλά για αποκλειστικά audio κωδικοποιήσεις.

Standard or format	Service	Comp. Ratio	Bandwidth range
YUV/CIF	Vic	5:1	37Mbps(320x240px, 30fps)
JPEG	Vic		1.35Mbps(320x240px, 30fps)
NTSC	TV	n.a.	209.5Mbps(600x485px, 30fps)
PAL	TV	n.a.	400.2Mbps(580x575px, 50fps)
H.320/H.261	Video conf.	24:1	64 kbps-2Mbps
	Real video 1.0		28.8kbps(newscast) 55kbps(full motion) 100kbps('near' NTSC)
DVI		160:1	1.2-1.5Mbps
CDI		100:1	1.2-1.5Mbps
M-JPEG	CMFS	7:1 27:1	10Mbps 20Mbps
MPEG-1	Storage	100:1	1.2-2.0Mbps(352x240px, 30fps)
MPEG-2	Any	30:1 100:1	4-60 Mbps 1.5Mbps(VHS, 352x240px) 5-6Mbps(b'cast, 1440x1152px) 7Mbps(studio, 1920x1080px)

MPEG-4			4.8-64 kbps (176x144px, 10fps)
ITU-R 723		3:1 5:1	32Mbps 45Mbps
ITU-R 601	TV	n.a.	140-270Mbps(320x480px)

Πίνακας 2: Κωδικοποιήσεις Βίντεο και Πολυμέσων

Standard or format	Service	Comp. Ration	Bandwidth range
G.728	Telephony	4:1	16kbps
G.726	Telephony	1.6:1	16kbps
		4:1	40ibps
G.722	Telephony	3.5:1	
ISO audio	MPEG		
Layer 1	Philips DCC	7.8:1	192kbps
Layer 2	MUSICAM	11.7:1	128kbps
Layer 3	ASPEC	23.4:1	64kbps

Πίνακας 3: Κωδικοποιήσεις Ήχου

Οι στοίβες πρωτοκόλλων (protocol stacks) που χρησιμοποιούν αυτές τις κωδικοποιήσεις και είναι υιοθετημένες από υψηλού επιπέδου εφαρμογές αποτελούν το κατάλληλο αντικείμενο αυτής της εργασίας. Οι διατάξεις των στοιβών πρωτοκόλλου επιτρέπουν στον ήχο και το βίντεο να συμπιεστούν και να παραδοθούν στους θεατές ή τους παραλήπτες μέσα από ένα πολύ ευρύ φάσμα των βασικών μέσων και κάτω από μια εξίσου ευρεία σειρά των προσδοκιών της ποιότητας και του κόστους. Περιλαμβάνουν unicast, multicast, και broadcast πρότυπα, υψηλή ποιότητα, εγγυημένη υπηρεσία παράδοσης και αργές, χαμηλής ποιότητας, συνδέσεις. Στο τμήμα 5 παρουσιάζουμε μια επισκόπηση αυτών των στοιβών πρωτοκόλλου.

Το πιο βασικό ζήτημα που προκύπτει σε οποιαδήποτε εκτίμηση των πολυμέσων είναι η έννοια των ενοποιημένων υπηρεσιών (IS,integrated services). Ο όρος αναφέρεται σε ένα πρότυπο υπηρεσιών Διαδικτύου που περιλαμβάνει την υπηρεσία

best effort, την υπηρεσία πραγματικού χρόνου, και ελεγχόμενη κοινοχρησία συνδέσεων (controlled link sharing). Από την ελεγχόμενη σύνδεση που μοιράζεται καταλαβαίνουμε μια κατάσταση όπου η κυκλοφορία είναι διαχωρισμένη σε διαχειριστικές κατηγορίες, κάθε μια από τις οποίες μπορεί να οριστεί με κάποιο ελάχιστο μέρος του εύρους ζώνης συνδέσεων σε συνθήκες υπερφόρτωσης. Με άλλα λόγια, αυτό είναι το πιο βασικό πρότυπο μιας ποιότητας υπηρεσιών.

Το υπάρχον Διαδίκτυο προσφέρει αυτή τη στιγμή μόνο το στοιχείο best effort. Το RFC1633 παρουσιάζει τις Integrated Services ως εκτεταμένο πρότυπο υπηρεσιών στη βασική αρχιτεκτονική. Απαριθμεί τρία επιχειρήματα που έχουν προβληθεί ενάντια στην εφαρμογή του IS model στο Διαδίκτυο:

- το εύρος ζώνης θα είναι άπειρο
- η απλή προτεραιότητα είναι ικανοποιητική
- οι εφαρμογές μπορούν να προσαρμοστούν

και συνοψίζει εν συντομία τους λόγους που αυτοί δεν αποτελούν ένα επαρκές υποκατάστατο των εγγυήσεων των πόρων στο Διαδίκτυο. Το RFC1633 είναι τώρα παλαιό, και η υπηρεσία best effort στο Διαδίκτυο έχει συνεχίσει μόνο να υποβιβάζεται στο μεσοδιάστημα. Αν και όλες οι εφαρμογές πολυμέσων έχουν σχεδιαστεί με αυτόν τον τύπο (best effort) ως προεπιλογή, δύο ισχυρά στοιχεία έχουν συνδυάσει να επιδεινώσουν την κατάσταση ανυπόφορα:

1. η εκθετικά αυξανόμενη ζήτηση για την πρόσβαση Διαδικτύου
2. οι ανεπαρκείς πόροι ακόμη και για την υπάρχουσα κυκλοφορία

Είναι τουλάχιστον αμφισβητήσιμο εάν η πρόοδος στην ταχύτητα των δικτύων μόνο, μπορεί να κρατήσει αρκετά επικεφαλής της πανταχού παρουσίας δικτύων (ως εκ τούτου αύξηση κυκλοφορίας) για να ανακουφίσει οποιαδήποτε ανάγκη για τις εγγυήσεις των πόρων. Εάν αυτό πρέπει να είναι οι σκληρές εγγυήσεις, οι στατιστικές εγγυήσεις, ή ευαισθησία σε μερικά άλλα μέσα πρόσβασης στις υπηρεσίες είναι μετά βίας κοντά στην ανάλυση.

3.Ζητήματα σχετικά με το IP over ATM

Υπάρχουν διάφορα ζητήματα που πρέπει να δρομολογηθούν με οποιαδήποτε λύση IP over ATM. Αυτά περιλαμβάνουν την εικονική πορεία(virtual path) την εικονική χρήση κυκλωμάτων(virtual circuit) (VP/VC) (virtual path/virtual circuit) και την εγκατάσταση κυκλωμάτων(circuit setup) ,αποδοτικότητα εύρους ζώνης και encapsulation, υποστήριξη διευθύνσεων, ανάλυση δρομολόγησης, πολλαπλή διανομή(multicast), την υποστήριξη QoS, τη σηματοδοσία, και την υποστήριξη IPv6. Ο γενικός καθοριστικός παράγοντας της επιτυχίας θα είναι η *εξελισσιμότητα*.

Όλοι οι εγγενείς τρόποι του ATM ως υπόστρωμα του B-ISDN έχουν αναπτυχθεί με στόχο έναν πρωτοφανή βαθμό εξελισσιμότητας. Το πολύ μεγάλο μέγεθος χώρου των διευθύνσεων του ATM, είτε NSAP end point ή E.164, καθορίστηκε εν μέρει για αυτόν τον λόγο, όπως ήταν το P-NNI με την αναμφισβήτητη πολυπλοκότητά του και τα πολλαπλάσια ιεραρχικά στρώματά του. Εντούτοις, αυτή η εξελισσιμότητα είναι εξαρτημένη από την επαναχρησιμοποίηση του VP/VC χώρου σε κάθε διεπαφή δικτύων, με τη χρησιμοποίηση της μεταστροφόμενης εικονικής πορείας/ εικονικών κυκλωμάτων (SVP/SVC), και ως εκ τούτου στην ταχύτητα με την οποία η σηματοδοσία μπορεί να εγκαταστήσει και να τερματίσει κυκλώματα μετά από απαίτηση.

Το πρόβλημα χρήσης VP/VC στο IP over ATM προκύπτει από τη θεμελιώδη διαφορά μεταξύ του κλασσικού IP και του ATM, η connectionless εναντίον της connection oriented, προσέγγιση. Σε ένα δίκτυο όπου όλες οι κυκλοφοριακές ροές στις συνδέσεις, και η διάρκεια ζωής μιας σύνδεσης είναι αρκετά μεγαλύτερες από το χρόνο που απαιτείται για να το εγκαταστήσει και να το τερματίσει με σηματοδοσία end to end, τα SVP/SVCS είναι αποτελεσματικά και η χρήση τους είναι πράγματι εξελικτική. Εντούτοις, ένα δίκτυο χωρίς σύνδεση έχει πολύ διαφορετικές απαιτήσεις. Κάθε πακέτο είναι μια σχετικά μικρή συσκευασία πληροφοριών, η οποία αναμένεται να σχηματίσει την πορεία της μέσα στο δίκτυο. Δεδομένου ότι είναι, τουλάχιστον σε γενικές γραμμές, ανεξάρτητο από το πακέτο που προηγείται ή το ακολουθεί, το χαρακτηριστικό χρονοδιάγραμμά του είναι πολύ σύντομο. Είναι αστήρικτο να φανταστούμε ότι οργανώνοντας μια end to end σύνδεση, με όλη τη σηματοδοσία και τις πληροφορίες που πρέπει να παραδοθούν στα Switch κατά μήκος της διαδρομής, να δρομολογηθεί ένα ενιαίο πακέτο, ακόμη και μέσω ενός σχετικά μικρού δικτύου, και

μια τέτοια διαδικασία είναι προφανώς απρόσιτη σε ένα σφαιρικό Διαδίκτυο. Αλλά το connectionless παράδειγμα είναι η ίδια η ψυχή του Διαδικτύου. Στο ευρύτερο πλαίσιο, θα δικαιολογούμαστε των ροών χαρτογράφησης πάνω από το IP στα εικονικά κυκλώματα(VC). Εντούτοις, η ανάλυση κυκλοφορίας δείχνει ότι υπό λογικούς όρους, ρέουν μέσα μόνο περίπου 100 πακέτα. Αυτό θέτει αρκετά αυστηρά όρια στο πόσο χρόνο μπορεί να ξοδευτεί ωφέλιμα αναγνωρίζοντας τις ροές, και στην οργάνωση των εικονικών κυκλωμάτων ή άλλων stateful πορειών σε ολόκληρο το Διαδίκτυο για να τα μεταφέρει.

Δεν υπάρχει καμία απλή λύση σε αυτό το πρόβλημα. Στις τρέχουσες εφαρμογές του ATM, η μετατροπή κελιών(cell switching) μπορεί να γίνει πολύ γρήγορα αλλά η καθιέρωση σύνδεσης είναι πολύ πιο αργή, συνήθως από διάφορες σημαντικές εντολές. Παραδείγματος χάριν, ο κόμβος υπηρεσιών StrataCom BPX (ATM switch), που υποστηρίζει 384.000 ενεργές συνδέσεις ανά κόμβο με μια ρυθμοαπόδοση 20Gbps, επεξεργάζεται μόνο 4000 κλήσεις ανά δευτερόλεπτο. Αυτό οδηγεί σε μια δύσκολη απόφαση μεταξύ της χρησιμοποίησης επίμονου VCs, είτε μόνιμα εικονικά κυκλώματα είτε soft PVCs και ιδρύοντας νέο VCs μετά από απαίτηση. Υπάρχουν καθαρές connectionless προσεγγίσεις, όπου χρησιμοποιούνται μόνο VCs για να συνδέσουν τους γειτονικούς δρομολογητές, και καθαρές προσανατολισμένες προς την connection oriented σύνδεση προσεγγίσεις, όπου νέα VCs δημιουργούνται πάντα. Και τα δύο άκρα έχουν τα μειονεκτήματά τους, είτε δεν αξιοποιούν πλήρως την ικανότητα του ATM ή είναι πάρα πολύ ακριβά, ή και τα δύο. Συνήθως συμφωνείται ότι υπάρχει ένα ενδιάμεσο φάσμα δυνατοτήτων. Η δυνατότητα στην αναβάθμιση από το τοπικό δίκτυο στις αναλογίες του Διαδικτύου είναι ένα σημαντικό ζήτημα.

Αφ' ετέρου, οι συνδέσεις είναι συχνά απαραίτητες ακόμη και σε ένα connectionless δίκτυο. Το TCP είναι ο πιο κοινός τρόπος για τις συνδέσεις στο Διαδίκτυο, αλλά μόνο οι τερματικοί σταθμοί ξέρουν για τέτοιες συνδέσεις στις τρέχουσες εφαρμογές. Αυτό δεν βοηθά με οποιοδήποτε τύπο εγγύησης υπηρεσιών, επιφύλαξης εύρους ζώνης, ο οποίος απαιτεί την κυριαρχία στους ενδιάμεσους δρομολογητές ή άλλα switchpoints. Δεδομένου ότι συζητήσαμε στην εισαγωγή, υπάρχει μια σημαντική και αυξανόμενη ζήτηση για τις εγγυήσεις υπηρεσιών για την παράδοση των ενοποιημένων υπηρεσιών, και η απλούστερη μέθοδος για μια εγγύηση υπηρεσιών είναι με την προσφορά των συνδέσεων. Μια σχετικά μη παρεισφρητική μέθοδος εγκατάστασης end to end συνδέσεων, ακόμη και σε ένα καθαρά IP περιβάλλον, είναι μέσω της

τεχνικής ανερχόμενου προσδιορισμού(flow identification). Αυτό γίνεται χαρακτηριστικά με την αναγνώριση κάποιου συνδυασμού IP διεύθυνσης πηγής και αριθμού port, διεύθυνσης IP προορισμού και αριθμού port, και τύπο πρωτοκόλλου. Το λογισμικό διακοπών NetFlow της Cisco, μια βελτίωση ios των υψηλών δρομολογητών κατηγορίας τους στο λογισμικό, κάνει ακριβώς αυτό το είδος αναγνώρισης ροής, που συνδέεται με απλουστευμένη next hop αναζήτηση. Μια εξαιρετικά περίπλοκη λύση, αλλά που πρέπει να δει ακόμα οποιαδήποτε επέκταση στο Διαδίκτυο, είναι το IPv5, γνωστό και ως ST2. Το ST2+ πραγματικά μετατρέπει το Διαδίκτυο σε connection oriented δίκτυο.

Το NetFlow της Cisco οργανώνει τη ροή στο δρομολογητή στο πρώτο πακέτο μιας πιθανής ροής, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε μια πραγματική αύξηση στο φορτίο του δρομολογητή χωρίς ακόλουθη βελτίωση απόδοσης κάτω από μερικά σχέδια κυκλοφορίας. Στατιστικές προσεγγίσεις έχουν προταθεί, στις οποίες ο δρομολογητής συνόρων θα εγκαταστήσει ένα κύκλωμα μόνο αφού έχουν σταλεί διάφορα πακέτα μεγαλύτερα από κάποιο κατώτατο όριο σε μια αναγνωρίσιμη ροή. Αυτό θέτει τα θέματα της ταχύτητας και της αποτελεσματικότητας του προσδιορισμού ροής. Όπως θα δούμε, το ίδιο ζήτημα προκύπτει στο MPLS, ο τρέχων γενικός όρος για τους συνδεδεμένους IP δρομολογητές και Switches του ATM. Πρέπει επίσης να επινοηθούν αλγόριθμοι για το κλείσιμο των συνδέσεων και των κυκλωμάτων. Το πρόβλημα δεν λύνεται εντελώς. Εάν ο αριθμός πακέτων που πρέπει να εξεταστεί πριν οργανωθεί ένα νέο κύκλωμα είναι πάρα πολύ υψηλός και εάν η συνθήκες διάλυσης είναι πάρα πολύ στενές, θα υπάρξει ακόμα ανεπαρκής χρήση των πόρων του δικτύου. Οι καλύτερες λύσεις σε αυτό το πρόβλημα επιθυμούν να χρησιμοποιηθούν πληροφορίες QoS όταν λαμβάνεται η απόφαση. Αυτό απαιτεί QoS δρομολόγηση, ένα μεγάλο ανοικτό θέμα.

Μια άλλη κατηγορία θεμελιωδών ζητημάτων περιστρέφεται γύρω από την έκταση στην οποία είναι ευεργετικό να χαρτογραφηθούν οι διαφορετικές ροές επάνω από το IP στις χωριστές συνδέσεις κάτω από το IP, ή αντιθέτως να συγχωνευθούν οι διαφορετικές ροές με τον ίδιο προορισμό σε μια ενιαία σύνδεση κάτω από το IP. Αυτό θα συζητηθεί περαιτέρω μαζί με το MPLS, σε άλλη παράγραφο.

Η συμπύκνωση (encapsulation) εξετάζει τον τρόπο με τον οποίο τα πακέτα IP στέλνονται πάνω από τα ATM VCs. Το RFC1483, η βασική προδιαγραφή στην συμπύκνωση πολυπρωτοκόλλων άνω του ATM AAL5, καθορίζει 2 τεχνικές: LLC/SNAP encapsulation, η οποία επιτρέπει στα διαφορετικά πρωτόκολλα να

πολυπλεχθούν επάνω σε ένα ενιαίο VC και VC βασισμένη πολυπλεξία, η οποία ορίζει σε κάθε πρωτόκολλο ένα ξεχωριστό VC. Η επιλογή ποίας να χρησιμοποιήσει σαφώς εξαρτάται από την εκμετάλλευση μεταξύ VC συντήρησης και της αποδοτικότητας συμπίκνωσης.

Η δρομολόγηση είναι το κεντρικό θέμα τρέχουσας έρευνας στο IP πάνω από την περιοχή του ATM. Τα διαφορετικά πρότυπα για την ολοκλήρωση IP over ATM δίνουν πολύ διαφορετικές απαντήσεις. Θα πάμε σε αυτές τις λύσεις με ιδιαίτερες λεπτομέρειες αργότερα, ειδικά οι επιπτώσεις εξελιξιμότητας στην επέκταση Διαδικτύου. Το I-PNNI είναι η πιο λεπτομερής ATM κεντρική προσέγγιση, οι άλλοι είναι γενικοί τρόποι για να κάνουμε ένα δίκτυο ATM να μοιάζει με ένα κλασσικό δίκτυο μετάδοσης στις εφαρμογές.

Το πρότυπο MARS(Multicast Address Resolution Server) είναι η ευρύτατα υιοθετημένη μέθοδος υποστήριξης πολλαπλής διανομής πάνω απ' το ATM. Ιδιαίτερη προσοχή δίνεται επίσης στο πρωτόκολλο PIM - SM(Protocol Independent Multicast-Sparse Model) πάνω απ' το ATM. Θα δούμε αυτή τη λύση παρακάτω.

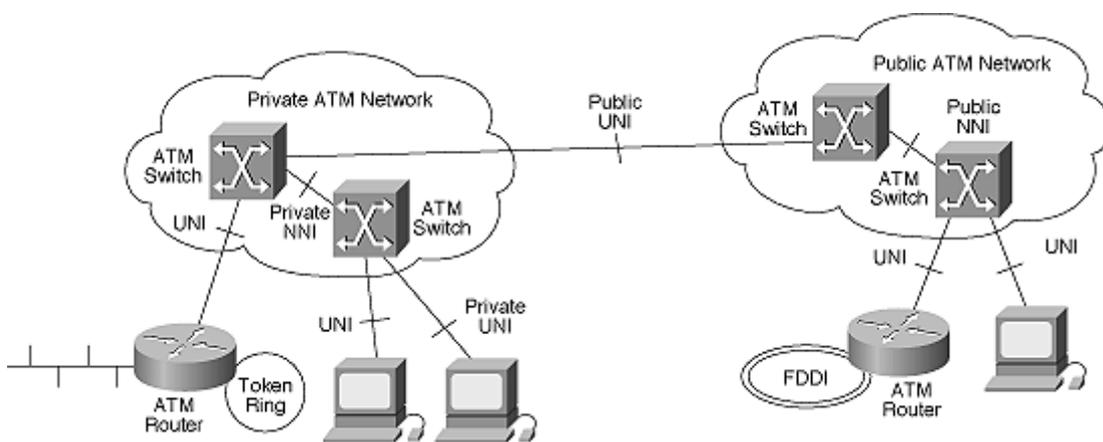
Το RSVP είναι ένα πρωτόκολλο resource reservation που χρησιμοποιείται για να υποστηρίξει τις εγγυήσεις QoS για τα ρεύματα δεδομένων στο Διαδίκτυο. Με το RSVP, πολλοί άλλοι τύποι υπηρεσιών εκτός της best effort delivery μπορούν να υποστηριχθούν στο Διαδίκτυο, παραδείγματος χάριν, η real time υπηρεσία παράδοσης. Το ATM έχει σχεδιαστεί με την εγγενή υποστήριξη για την ποιότητα των εγγυήσεων υπηρεσιών, και δείχνει σαν ένα τέλειο υπόστρωμα για την εφαρμογή των ενοποιημένων υπηρεσιών για το IP. Εντούτοις, το ταίριασμα μεταξύ του IP RSVP και του ATM QoS μπορεί να μην είναι τόσο εύκολο όσο εμφανίζεται αρχικά. Βλέπουμε τα προβλήματα στην παράγραφο 5,10.

Η σηματοδосία για την εγκατάσταση κλήσης και ο τερματισμός κλήσης και άλλες διαχειριστικές λειτουργίες είναι αρκετά διαφορετικές κάτω από το ATM απ' ότι στα πιο κοινά μέσα δικτύων. Τα παλαιότεροι switch του ATM γενικά υποστήριζαν μόνο τη σηματοδосία out of band, αλλά αυτά είναι ξεπερασμένα και έχουν αντικατασταθεί κατά ένα μεγάλο μέρος. Η σηματοδосία στα αληθινά δίκτυα του ATM γίνεται χρησιμοποιώντας OAM κελιά, μερικές φορές πάνω από γνωστά PVP/PVCs, μερικές φορές στα εντός του επιπέδου εφαρμογής εικονικά κυκλώματα. Τα παλαιότερα ιδιόκτητα σενάρια σηματοδосίας είναι ακόμα σε χρήση (πρώτιστα το SPANS) αλλά μετατοπίζονται βαθμιαία από τα βιομηχανικά πρότυπα για τη σηματοδότηση UNI και NNI.

Το τελικό σημαντικό ζήτημα που θα συζητήσουμε είναι η υποστήριξη IPv6 (ενότητα 5.11). Το IPv6 είναι το IP πρωτόκολλο επόμενης γενιάς, σχεδιασμένο να διασώσει το Διαδίκτυο από μια έκρηξη του χώρου των διευθύνσεων. Πολλά νέα χαρακτηριστικά γνωρίσματα έχουν προστεθεί επίσης στο IPv6, όπως η υποστήριξη για το μαρκάρισμα ροής, ένα καλό χαρακτηριστικό για τη μεταφορά δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, και η ανακάλυψη γειτόνων, που είναι δύσκολο για να το χειριστεί το ATM, δεδομένου ότι θεωρεί το βασικό δίκτυο να υποστηρίζει εγγενώς multicast.

4.Λειτουργία δικτύων ATM

Ένα δίκτυο ATM αποτελείται από ένα σύνολο ATM switches που διασυνδέονται από τις point to point συνδέσεις ή διεπαφές ATM. Τα switch του ATM υποστηρίζουν δύο είδη διεπαφών: UNI(User Node Interface) και NNI(Network Node Interface). Η UNI συνδέει τα τερματικά συστήματα του ATM (οικοδεσπότες, δρομολογητές) με το ATM switch, ενώ ένα NNI μπορεί να οριστεί ως μια διεπαφή που συνδέει δύο διακόπτες του ATM. Ακριβέστερα, εντούτοις, ένα NNI είναι οποιαδήποτε φυσική ή λογική σύνδεση με την οποία δύο διακόπτες του ATM ανταλλάσσουν το NNI πρωτόκολλο. Αυτό θα περιγραφεί λεπτομερέστερα στην παράγραφο 5.

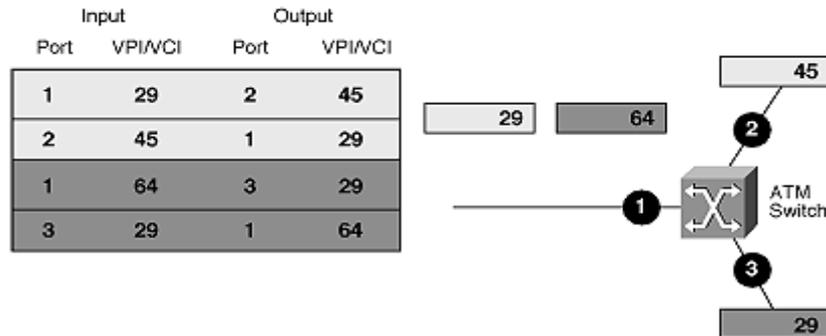


Σχήμα 1: Διεπαφές δικτύων του ATM

Όπως σημειώνεται ανωτέρω, τα δίκτυα του ATM είναι connection oriented. Αυτό σημαίνει ότι ένα εικονικό κύκλωμα πρέπει να οργανωθεί στο δίκτυο του ATM πριν από οποιαδήποτε μεταφορά δεδομένων. Τα κυκλώματα του ATM είναι δύο τύπων: Virtual Paths, που προσδιορίζονται από τα εικονικά προσδιοριστικά πορειών (VPI) και Virtual Circuit, που προσδιορίζονται από το συνδυασμό ενός VPI και ενός εικονικού προσδιοριστικού καναλιών (VCI). Μια εικονική πορεία είναι μια δέσμη εικονικών καναλιών, που αλλάζονται διαφανώς μέσω του δικτύου του ATM βάσει του κοινού VPI. Όλα τα VCI και VPI, έχουν μόνο την τοπική σημασία πέρα από μια ιδιαίτερη σύνδεση, και είναι, ανάλογα με την περίπτωση, σε κάθε Switch. Σε κανονική λειτουργία, τα switch διαθέτουν όλες τις συνδέσεις UNI μέσα σε VPI=0. Η χρήση άλλων εικονικών πορειών συζητείται αργότερα σε αυτό το έγγραφο.

Η βασική λειτουργία ενός Switch του ATM είναι πολύ απλή: για να λάβει ένα κύτταρο πέρα από μια σύνδεση σε ένα γνωστό VCI ή μια αξία VPI, για να ανατρέξει η αξία σύνδεσης σε έναν τοπικό πίνακα μεταφράσεων, για να καθορίσει το εξερχόμενο port της σύνδεσης και τη νέα αξία VPI/VCI της σύνδεσης σε εκείνη την σύνδεση και για να

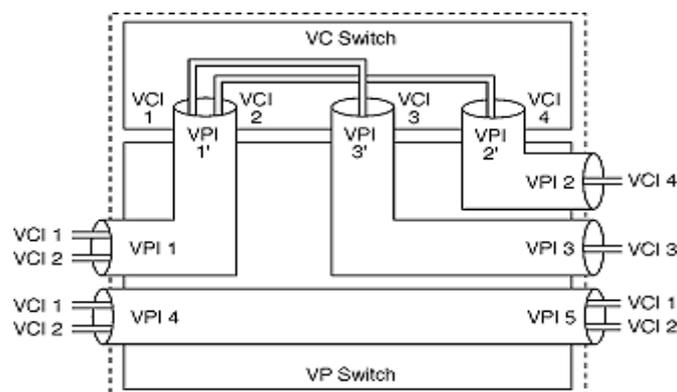
αναμεταδώσει έπειτα το κύτταρο στην εξερχόμενη σύνδεση με τα κατάλληλα προσδιοριστικά σύνδεσης.



Σχήμα 2: Διαδικασίες του ATM Switch

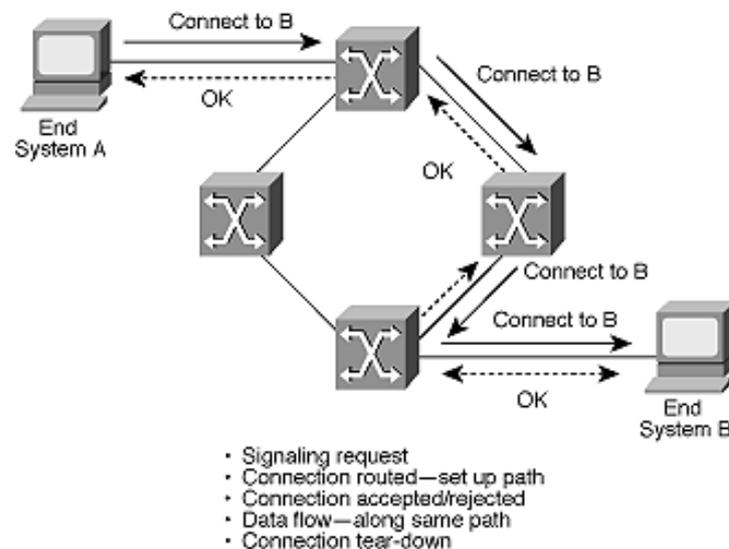
Η λειτουργία των Switch είναι τόσο απλή επειδή οι εξωτερικοί μηχανισμοί ιδρύουν τους τοπικούς πίνακες μεταφράσεων πριν από τη μεταφορά οποιωνδήποτε στοιχείων. Ο τρόπος με τον οποίο αυτοί οι πίνακες ιδρύονται καθορίζει τους δύο θεμελιώδεις τύπους συνδέσεων του ATM:

- **Μόνιμες εικονικές συνδέσεις (PVC):** Ένα PVC είναι μια σύνδεση που οργανώνεται από κάποιο εξωτερικό μηχανισμό, στην οποία ένα σύνολο Switches μεταξύ μιας πηγής ATM και ενός συστήματος προορισμού ATM είναι προγραμματισμένο με τις κατάλληλες τιμές VPI/VCI. Όπως συζητείται αργότερα, το ATM μπορεί να διευκολύνει την ίδρυση PVCs, αλλά, εξ ορισμού, τα PVCs απαιτούν πάντα κάποια στατική διαμόρφωση. Υπό αυτήν τη μορφή, η χρήση τους μπορεί συχνά να είναι δυσκίνητη.
- **Μεταστρεφόμενες εικονικές συνδέσεις (SVC):** Ένα SVC είναι μια σύνδεση που οργανώνεται αυτόματα μέσω ενός πρωτοκόλλου σηματοδότησης. Τα SVCs δεν απαιτούν τη στατική αλληλεπίδραση που απαιτείται για να ιδρυθούν PVCs και, υπό αυτήν τη μορφή, είναι πιθανό να είναι πολύ περισσότερο χρησιμοποιούμενο ευρέως. Όλα τα υψηλότερα πρωτόκολλα στρώματος που λειτουργούν πάνω απ' το ATM χρησιμοποιούν πρώτιστα SVCs.



Σχήμα 3: Εικονικό κύκλωμα και εικονική μετατροπή πορειών

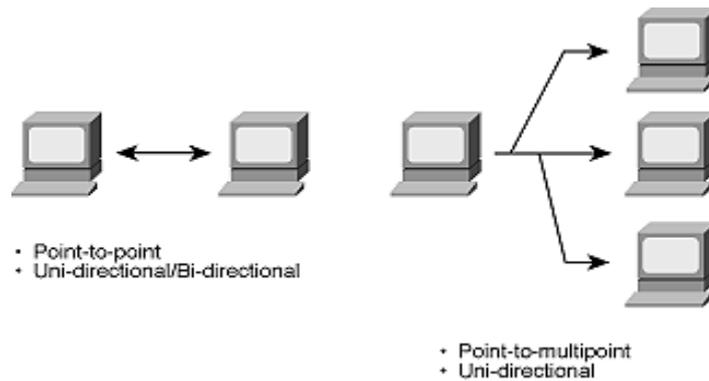
Η ATM σηματοδοσία αρχίζει από τα τερματικά σύστημα του ATM που επιθυμεί να οργανώσει μια σύνδεση μέσω ενός δικτύου του ATM, τα πακέτα σηματοδοσίας στέλνονται σε ένα εικονικό κανάλι φρεατίων, VPI=0, VCI=5. Η σηματοδοσία καθοδηγείται μέσω του δικτύου, από την αλλαγή σε switch, ιδρύοντας τα προσδιοριστικά σύνδεσης όπως αυτό πάει , έως ότου φθάνει στο τερματικό σύστημα προορισμού. Τα τελευταία μπορούν είτε να δεχτούν και να επιβεβαιώσουν το αίτημα σύνδεσης, είτε μπορούν να το απορρίψουν. Επειδή η σύνδεση οργανώνεται κατά μήκος της πορείας του αιτήματος σύνδεσης, το στοιχείο ρέει επίσης κατά μήκος αυτής της ίδιας πορείας.



Σχήμα 4: Οργάνωση σύνδεσης μέσω της σηματοδότησης του ATM (SVC)

Υπάρχουν δύο θεμελιώδεις τύποι συνδέσεων του ATM:

- *Point to Point* συνδέσεις, οι οποίες συνδέουν δύο τερματικά συστήματα του ATM. Τέτοιες συνδέσεις μπορούν να είναι ομοιοκατευθυνόμενες ή αμφίδρομες.
- *Point to multipoint* συνδέσεις, συνδέουν ενιαία τα τερματικά σύστημα πηγής (γνωστό ως κόμβος ρίζας) με πολλαπλάσια τερματικά συστήματα προορισμού (γνωστά ως φύλλα). Η αντένσταση κυτάρων γίνεται μέσα στο δίκτυο από το ATM switch στο οποίο η σύνδεση χωρίζεται σε δύο ή περισσότερους κλάδους. Τέτοιες συνδέσεις είναι ομοιοκατευθυνόμενες, επιτρέποντας στη ρίζα να διαβιβάσει στα φύλλα, αλλά όχι τα φύλλα που διαβιβάζουν στη ρίζα, στην ίδια σύνδεση. Ο λόγος για τον οποίο τέτοιες συνδέσεις είναι μόνο ομοιοκατευθυνόμενες περιγράφεται κατωτέρω.



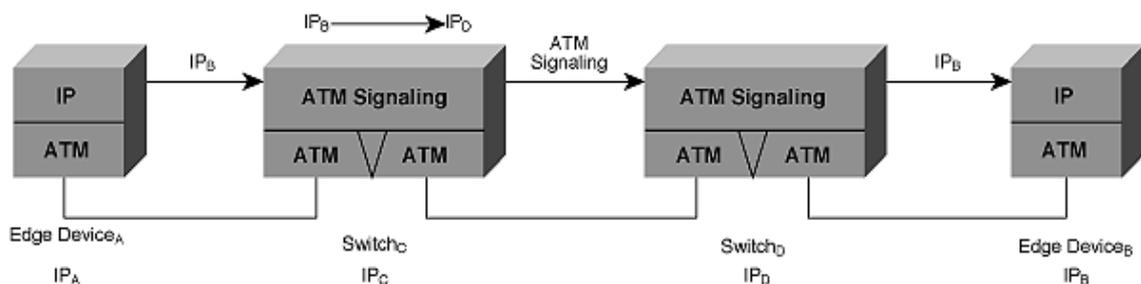
Σχήμα 5: Τύποι συνδέσεων του ATM

4.1. Peer and overlay model

Το όμοιο πρότυπο

Η φιλοσοφία αυτού του προτύπου επρόκειτο να χρησιμοποιήσει τα υπάρχοντα σχέδια εξέτασης και τα πρωτόκολλα δρομολόγησης εκείνων των στρωμάτων δικτύων για να προσδιορίσει και να καθοδηγήσει τα μηνύματα οργάνωσης σύνδεσης από έναν σταθμό του ATM σε άλλους. Ως εκ τούτου τα τερματικά σημεία του ATM θα προσδιορίζονταν από τις υπάρχουσες διευθύνσεις στρώματος δικτύων (όπως τις διευθύνσεις IP) και τα αιτήματα σηματοδότησης του ATM θα έφεραν τέτοιες διευθύνσεις. Υπάρχοντα πρωτόκολλα δρομολόγησης στρώματος δικτύων (όπως IGRP και OSPF) θα χρησιμοποιούταν επίσης μέσα στα δίκτυα του ATM στα αιτήματα σηματοδότησης διαδρομών ATM, από αυτά τα αιτήματα, χρησιμοποιώντας τις υπάρχουσες διευθύνσεις στρώματος δικτύων, θα έμοιαζαν με τα χωρίς σύνδεση πακέτα, τα οποία συμβατικά διαβιβάζονται από εκείνα τα πρωτόκολλα στρώματος δικτύων.

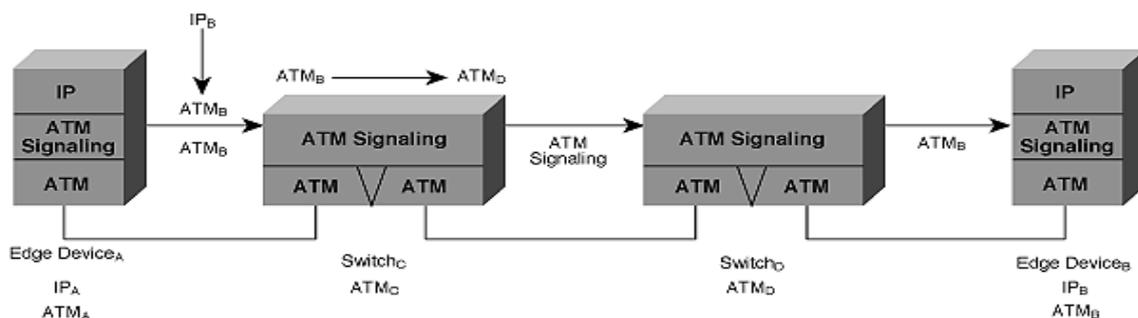
Αυτό το πρότυπο ήταν γνωστό ως όμοιο πρότυπο δεδομένου ότι μεταχειρίζεται ουσιαστικά το στρώμα του ATM ως λόρδο των υπαρχόντων στρωμάτων δικτύων.



Σχήμα 6. Όμοιο πρότυπο της εξέτασης του ATM

Το πρότυπο επικαλύψεων

Αυτό το πρότυπο αποσύνδεσε το στρώμα δικτύων που οργανώνονται στο στρώμα του ATM από το ίδιο το στρώμα πρωτοκόλλου του ATM. Αυτό θα σήμαινε ότι όλα τα πρωτόκολλα θα έτρεχαν στο στρώμα του ATM μόλις εφαρμοζόταν αυτό. Δεδομένου ότι αυτό το πρότυπο διαμορφώνει τις επικαλύψεις, στα υπάρχοντα στρώματα δικτύων σύμφωνα με το στρώμα του ATM, είναι γνωστό ως πρότυπο επικαλύψεων. Αυτός ο τρόπος λειτουργίας είναι πώς τα τρεξίματα στρώματος IP σε άλλα στρώματα δικτύων όπως το X.25 ή στις γραμμές διεπιλογών. Το πρότυπο επικαλύψεων απαιτεί προφανώς τον καθορισμό μιας χωριστής δομής διευθύνσεων και σχετικών πρωτοκόλλων δρομολόγησης. Επομένως σε όλα τα συστήματα του ATM ορίζεται επίσης μια διεύθυνση του ATM εκτός από τις διευθύνσεις στρώματος δικτύων. Αυτό επίσης θα σήμαινε ότι κάποιο πρωτόκολλο ψηφίσματος διευθύνσεων απαιτείται για να χαρτογραφήσει από μια δομή διευθύνσεων σε άλλη.



Σχήμα 7. Πρότυπο επικαλύψεων της εξέτασης του ATM

Τελικά το πρότυπο επικαλύψεων επιλέχτηκε λόγω μερικών σαφών πλεονεκτημάτων που είχε. Πρώτιστα επέτρεπε την ανάπτυξη των πρωτοκόλλων του ATM παράλληλα με τα άλλα στρώματα. Αυτό θα σήμαινε ότι η επέκταση του ATM θα μπορούσε να επιταχυνθεί με την προαναφερθείσα αποσύνδεση. Το όμοιο πρότυπο αφ' ετέρου είχε μερικά προφανή μειονεκτήματα. Ενώ απλοποιεί πολύ τη διαχείριση διευθύνσεων τερματικών συστημάτων, αυξάνει πολύ την πολυπλοκότητα των διακοπών του ATM, δεδομένου ότι πρέπει όλοι να ενεργήσουν ως δρομολογητές πολυπρωτοκόλλων και πίνακες διευθύνσεων υποστήριξης για κάθε πρωτόκολλο που υπάρχει σήμερα εκτός από τους πολλαπλάσιους πίνακες για τα πολλαπλάσια πρωτόκολλα δρομολόγησης. Επίσης τα τρέχοντα πρωτόκολλα δρομολόγησης δεν θα επέτρεπαν τη χρήση των QoS εγγυήσεων ότι το δίκτυο του ATM είναι σε θέση δεδομένου ότι τα συμβατικά πρωτόκολλα δρομολόγησης δεν επιτρέπουν τη χρήση του ίδιου πράγματος.

Το πρότυπο επικαλύψεων έχει και μειονεκτήματα. Μπορεί να προκαλέσει την sub optimal δρομολόγηση μερικές φορές όπως μόλις επιλεχτεί μια πορεία διασχίζοντας ένα δίκτυο του ATM, μια αλλαγή στην τοπολογία ή τα χαρακτηριστικά του ATM, το στρώμα δεν θα ήταν γνωστό στο υψηλότερο πρωτόκολλο δρομολόγησης στρώματος, ακόμα κι αν οδηγήσει η αλλαγή σε μια βέλτιστη διαδρομή που παρακάμπτει το δίκτυο του ATM.

Εντούτοις τα πλεονεκτήματα του προτύπου επικαλύψεων ξεπέρασαν τα μειονεκτήματα και το ATM forum επέλεξε να δεχτεί το πρότυπο επικαλύψεων. Σε αυτό το πρότυπο ένας συνδυασμός διευθύνσεων NSAP και E.164 χρησιμοποιείται για να αντιπροσωπεύσει τις διευθύνσεις του ATM.

5.Τεχνικές IP Over ATM

Υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός προτύπων για να τρέξει το IP over ATM, μερικά ριζωμένα στο IETF, μερικά στο ATM forum, και μερικά που αναπτύσσονται από συγκεκριμένες επιχειρήσεις μεταδόσεων δεδομένων. Θα αναθεωρήσουμε τις ακόλουθες τεχνικές:

1. LAN Emulation (LANE)
2. Classical Model IP over ATM (RFC1577)
3. Next Hop Resolution Protocol (NHRP)
4. Multi Protocol Over ATM (MPOA)
5. Integrated PNNI (I-PNNI)
6. Multi Protocol Label Switching (MPLS)
7. Multicast over ATM
8. IP Integrated Services over ATM
9. IPv6 over ATM

Δεν είναι όλα ισοδύναμα στη λειτουργία ή το σκοπό, π.χ. το LANE και το RFC1577 είναι πραγματικά δυο μοναδικές μέθοδοι για την εφαρμογή του IP ως επίστρωμα σε ένα κανονικό δίκτυο ATM. Το MPLS χρησιμοποιεί το υλικό του ATM σε μια μη ATM διαμόρφωση, και το I-PNNI είναι μια προσπάθεια να ενοποιηθεί η δρομολόγηση στα δίκτυα του ATM και την κληρονομιά, στα δίκτυα χωρίς σύνδεση. Εντούτοις, αυτοί είναι οι σημαντικότεροι τομείς της δραστηριότητας για την IP over ATM ολοκλήρωση αυτή τη στιγμή. Θα εξετάσουμε πρώτα τις συγκεκριμένες μεθόδους για την IP over ATM ενοποίηση, κατόπιν θα δούμε πώς αντιμετωπίζουν τις προκλήσεις.

5.1.Σηματοδοσία

Πριν αναφερθούμε στις τεχνικές για την μετάδοση IP υπηρεσιών over ATM, θα εξετάσουμε εν συντομία τη σηματοδοσία. Υπάρχει ένας περιορισμένος αριθμός τεχνολογιών σηματοδοσίας του ATM, και αυτές χρησιμοποιούνται σε πολλές εφαρμογές του IP over ATM. Το πρότυπο MPLS είναι η κύρια εξαίρεση, που χρησιμοποιεί τα πρωτοκόλλα Διαδικτύου στρώματος 3(Layer 3) για όλη τη σηματοδοσία και τη διανομή βάσεων δεδομένων. Θα αναφερθούμε εν συντομία στην

ιδιόκτητη σηματοδοσία spans της fore system, κατόπιν τη σηματοδοσία UNI του ATM FORUM η οποία είναι βασισμένη στις συστάσεις σειράς ITU Q .

5.1.1.Απλό πρωτόκολλο για τη σηματοδότηση δικτύων του ATM (SPANS)

Τα πρότυπα του ATM forum είναι πιο αργά από το αναμενόμενο στην ωρίμανση. Θα συζητήσουμε το P-NNI σε άλλο τμήμα. Είναι ικανοποιητικό αυτή τη στιγμή να σημειωθεί ότι η φάση P NNI 1 έφθασε στην τυποποίηση μόνο τον Απρίλιο του 1996 και δεν εφαρμόζεται ευρέως, ο προκάτοχός του, P-NNI φάση 0, διαφορετικά ξέρει όπως το IISP(Interim Inter-Switch Signaling Protocol), είναι ένα πολύ περιορισμένο υποσύνολο του πρωτοκόλλου NNI, που υποστηρίζει μόνο τις στατικές δρομολογήσεις και ελάχιστη σηματοδοσία. Η FORE SYSTEMS εισήγαγε το SPANS, ένα ιδιόκτητο πρωτόκολλο UNI και NNI, το οποίο είναι UNI 3,0 συμβατό. Το συστατικό NNI επιτρέπει στην ανταλλαγή πληροφοριών δρομολόγησης NSAP για να επιτρέψει την αυτοματοποιημένη κατασκευή ενός συνόλου σύνδεσης PVC μεταξύ των μεταβάσεων σε ένα σύννεφο. Το συστατικό UNI επιτρέπει σε μια συσκευή πηγής να καθιερώσει SVCs πέρα από εκείνο το σύννεφο, χρησιμοποιώντας το σήμα πέρα από το πλέγμα PVC, για την πραγματική μεταφορά δεδομένων. Το SPANS παρέχει μια IP ικανότητα διόρυξης σε ένα δίκτυο ATM, αν και εφόσον αυτό υπάρχει ανεξάρτητα από το LANE τους ή οι κλασσικές IP εφαρμογές είναι ασαφής.

5.1.2.UNI 3,0 και UNI 3,1

Οι UNI 3,0 συμβατές γραμμές switch TAXI 100 Mbps και οι διεπαφές χρηστών έχουν εφαρμόσει ποικίλα σχέδια σηματοδοσίας έλεγχου-σύνδεσης, παραδείγματος χάριν το πρωτόκολλο ελέγχου ποσοστού XON-XOFF της IBM. Εντούτοις, το τυπικό σύστημα σηματοδοσίας για το UNI 3,0 και UNI 3,1 είναι ένα υποσύνολο των ικανοτήτων της ITU Q σειράς συστάσεων. Το Q.93B και Q.931 είναι μικρού εύρους πρωτόκολλα σηματοδοσίας ISDN (DSS-1) και ήταν τα αρχικά πρότυπα που χρησιμοποιήθηκαν για UNI 3,0. Εντούτοις, δεν παρέχουν καμία υποστήριξη για τις εικονικές πορείες ή τα εικονικά κανάλια, έτσι το dss-2 Q.2931 υιοθετήθηκε γρήγορα από το ATM forum. Έχει επεκταθεί για να παρέχει υποστήριξη Multicast (σημείο Q.298x point to multipoint) και για την υπονοούμενη διαπραγμάτευση των παραμέτρων QoS.

Η Dss (σηματοδοσία ψηφιακού συστήματος) UNI σηματοδοσία, είναι ενός στρώματος 3 (Layer 3)ευθύνη, και το UNI έχει το δικό του στρώμα 3 εφαρμογής αρκετά ανεξάρτητο από οποιαδήποτε (Layer 3)στρώματος 3 ικανότητα μεταφοράς δεδομένων, όπως το IP. Το UNI 3,0 χρησιμοποίησε μια πρώιμη σειρά πρωτοκόλλων επιπέδου σύνδεσης δεδομένων γνωστό ως Q.SAAL (Signaling ATM Adaptation Layer). Αυτό δεν είναι συμβατό με το πρωτόκολλο συνδέσεων δεδομένων Q.2931, SSCOP (Service Specific Connection-Oriented Protocol), ένα αξιόπιστο πρωτόκολλο παράδοσης παρόμοιο του TCP. Ως εκ τούτου το UNI 3,0 και UNI 3,1 είναι παρόμοια στη λειτουργία αλλά μη διαλειτουργικά.

Το UNI 3.0/3.1 επιτρέπει την οργάνωση σύνδεσης, τον τερματισμό της σύνδεσης , και την έρευνα κατάστασης. Οι point to multipoint επεκτάσεις παρέχονται για τα δέντρα πολλαπλής διανομής.

5.1.3.UNI 4,0

Το UNI 4, όπως το P-NNI φάσης 1, ολοκληρώθηκε το 1996. Προσθέτει ένα σύνολο προαιρετικών ικανοτήτων στο βασικό σύνολο που ενσωματώνεται σε UNI 3.0/3.1. Μεγάλης σπουδαιότητας στην προσπάθεια IP over ATM είναι μακροπρόθεσμα η υποστήριξη για 'Leaf-Initiated-Join' από point to multipoint ομάδες, το πρότυπο για όλες τις τρέχουσες προσπάθειες IP πολλαπλής διανομής. Αυτή τη στιγμή, εντούτοις, το LIJ δεν υποστηρίζεται από τα εγγενή πρωτόκολλα δρομολόγησης του ATM, ούτε χρησιμοποιείται από τέτοια IP over ATM πρότυπα όπως το LANE και MPOA. Από αμεσότερο ενδιαφέρον, η UNI 4,0 σηματοδοσία παρέχει στις ρητά σηματοδοτούμενες QoS παραμέτρους, σηματοδότηση anycast που εξετάζει για να διαφημίσει τις γνωστές υπηρεσίες, και διαθέσιμη υπηρεσία ποσοστού δυαδικών ψηφίων (ABR). Η επέκταση UNI 4,0 είναι βαθμιαία, με πολλούς προμηθευτές να εφαρμόζουν μόνο μέρος των προτύπων στους τρέχοντες διακόπτες (ABR σηματοδοσία και anycast ιδιαίτερα).

5.2.Πρωτόκολλα δρομολόγησης του ATM

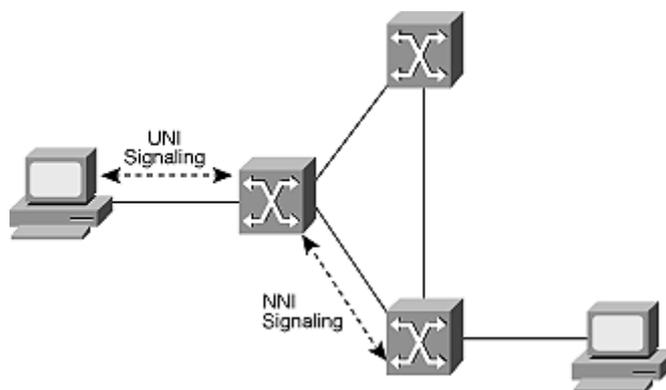
Θα αναφερθούμε στα πρωτόκολλα διεπαφών κόμβων δικτύων (NNI) που χρησιμοποιούνται μέσα στα δίκτυα του ATM στα αιτήματα σηματοδοσίας διαδρομών ATM μεταξύ των διακοπών του ATM. Δεδομένου ότι το ATM είναι connection

oriented, ένα αίτημα σύνδεσης πρέπει να καθοδηγηθεί από τον κόμβο αίτησης μέσω του δικτύου του ATM και στον κόμβο προορισμού.

Το ATM forum κάνει μια προσπάθεια να καθορίσει ένα ιδιωτικό πρωτόκολλο NNI (P-NNI). Ο στόχος είναι να καθοριστούν τα πρωτόκολλα NNI για χρήση μέσα στα ιδιωτικά δίκτυα του ATM, πιο συγκεκριμένα, μέσα στα δίκτυα που χρησιμοποιούν NSAP διευθύνσεις σχήματος ATM. Τα δημόσια δίκτυα που χρησιμοποιούν τους αριθμούς E.164 για την εξέταση θα διασυνδεθούν χρησιμοποιώντας μια διαφορετική λίστα πρωτοκόλλου NNI που βασίζεται στο πρωτόκολλο ITU-T-B και το ITU-T MTP επίπεδου 3 πρωτόκολλο δρομολόγησης.

Το πρωτόκολλο P-NNI αποτελείται από δύο συστατικά: το πρώτο είναι ένα πρωτόκολλο σηματοδότησης P-NNI που χρησιμοποιείται για να αναμεταδώσει τα αιτήματα σύνδεσης του ATM μέσα στα δίκτυα, μεταξύ της πηγής και του προορισμού UNI. Το αίτημα UNI χαρτογραφείται σε NNI σηματοδότηση στο switch πηγής (είσοδος). Το NNI είναι πίσω σε UNI σηματοδότηση στο switch προορισμού (έξοδος).

Τα πρωτόκολλα P-NNI λειτουργούν μεταξύ των συστημάτων μεταγωγής του ATM, τα οποία συνδέονται με P-NNI συνδέσεις. Οι συνδέσεις P-NNI μπορούν να είναι φυσικές συνδέσεις ή εικονικές, συνδέσεις multi hop. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα μιας εικονικής σύνδεσης είναι μια εικονική πορεία που συνδέει δύο κόμβους. Δεδομένου ότι όλα τα εικονικά κανάλια, συμπεριλαμβανομένης της σύνδεσης που φέρει το P-NNI σηματοδότησης, θα φέρονταν διαφανώς μέσω οποιωνδήποτε ενδιάμεσων διακοπών μεταξύ αυτών των δύο κόμβων σε αυτήν την εικονική πορεία, οι δύο κόμβοι είναι λογικά παρακείμενοι σε σχέση με τα πρωτόκολλα P-NNI.



Σχήμα 8. Σηματοδότηση UNI και NNI

Το πρωτόκολλο ILMI, που καθορίζεται πρώτα για χρήση στις συνδέσεις UNI, θα χρησιμοποιηθεί επίσης και στις φυσικές και εικονικές συνδέσεις NNI. Οι αυξήσεις στο

ILMI MIBs επιτρέπουν την αυτόματη αναγνώριση NNI εναντίον των συνδέσεων UNI, και ιδιωτικού εναντίον δημόσιου UNI.

Το τρέχον πρωτόκολλο σηματοδότησης P-NNI είναι μια επέκταση σηματοδότησης UNI και ενσωματώνει τα πρόσθετα στοιχεία (IE) πληροφοριών για τέτοιες σχετικές παραμέτρους όπως οι *designated transit lists* (DTL). Το P- NNI φέρεται στις συνδέσεις NNI στο ίδιο εικονικό κανάλι, VCI=5, το οποίο χρησιμοποιείται για τη σηματοδότηση πέρα από το UNI. Η αξία VPI εξαρτάται από το εάν η σύνδεση NNI είναι φυσική ή εικονική.

Το δεύτερο συστατικό του πρωτοκόλλου P-NNI είναι ένα εικονικό πρωτόκολλο δρομολόγησης κυκλωμάτων. Αυτό χρησιμοποιείται για να καθοδηγήσει το αίτημα μέσω του δικτύου του ATM. Αυτή είναι επίσης η διαδρομή πάνω στην οποία η σύνδεση του ATM οργανώνεται, και κατά μήκος της οποίας τα στοιχεία θα ρεύσουν. Η λειτουργία της δρομολόγησης ενός αιτήματος σηματοδότησης μέσω ενός δικτύου του ATM, είναι επιφανειακά παρόμοια με αυτήν της δρομολόγησης των χωρίς σύνδεση πακέτων μέσα στα υπάρχοντα πρωτόκολλα στρώματος δικτύων (όπως το IP). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι πριν από τη σύνδεση που οργανώνεται, δεν υπάρχει, φυσικά, καμία σύνδεση για το αίτημα να ακολουθήσει.

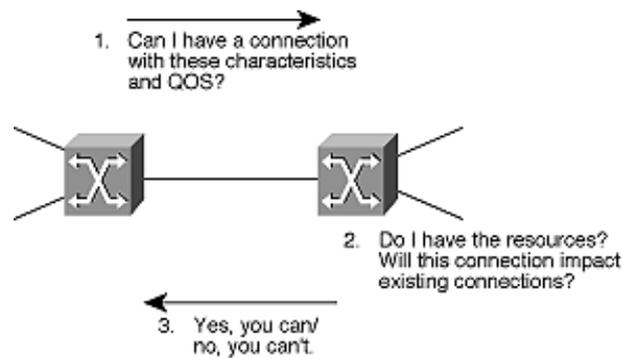
Υπό αυτήν τη μορφή, ένα VC πρωτόκολλο δρομολόγησης μπορεί να χρησιμοποιήσει μερικές από τις έννοιες που κρύβονται κάτω από τα χωρίς σύνδεση πρωτόκολλα δρομολόγησης που έχουν αναπτυχθεί κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών. Εντούτοις, το πρωτόκολλο P-NNI είναι πιο σύνθετο από οποιοδήποτε υπάρχον πρωτόκολλο δρομολόγησης. Αυτή η πολυπλοκότητα προκύπτει από δύο στόχους του πρωτοκόλλου: να επιτρέψει την πολύ μεγαλύτερη εξελισσιμότητα από ότι είναι δυνατό με οποιοδήποτε υπάρχον πρωτόκολλο, και να υποστηρίξει την αληθινή QoS βασισμένη δρομολόγηση.

5.2.1.Φάση 1 P- NNI: QoS υποστήριξη

Ένα από τα μεγάλα πλεονεκτήματα του ATM είναι η υποστήριξή του για QoS στις συνδέσεις. Ως εκ τούτου, ένας κόμβος που ζητά μια σύνδεση που οργανώνεται μπορεί να ζητήσει ένα ορισμένο QoS από το δίκτυο και μπορεί να βεβαιωθεί ότι το δίκτυο θα παραδώσει QoS για τη διάρκεια της σύνδεσης. Τέτοιες συνδέσεις είναι ταξινομημένες στους διάφορους τύπους τύπων του ATM QoS: CBR, VBR, ABR, και UBR, ανάλογα με τη φύση της επιθυμητής εγγύησης QoS και τα χαρακτηριστικά της

αναμενόμενης κυκλοφορίας. Ανάλογα με τον τύπο υπηρεσίας του ATM, το δίκτυο αναμένεται να παραδώσει τις εγγυήσεις στο ιδιαίτερο μίγμα των στοιχείων QoS που διευκρινίζονται στην οργάνωση σύνδεσης.

Το VC πρωτόκολλο δρομολόγησης πρέπει να εξασφαλίσει ότι ένα αίτημα σύνδεσης καθοδηγείται κατά μήκος μιας πορείας που οδηγεί στον προορισμό και έχει μια υψηλή πιθανότητα της συνάντησης του QoS που ζητείται στη σύνδεση που οργανώνεται, δηλαδή να διαπεράσει τους διακόπτες των οποίων τοπικό CAC δεν θα απορρίψει την κλήση.



Σχήμα 9. Έλεγχος αποδοχής σύνδεσης

Για να κάνει αυτό, το πρωτόκολλο χρησιμοποιεί ένα πρωτόκολλο κρατικής δρομολόγησης τοπολογίας στο οποίο οι κόμβοι έχουν QoS και πληροφορίες reachability έτσι ώστε όλοι οι κόμβοι να λαμβάνουν γνώση για το reachability μέσα στο δίκτυο και τους διαθέσιμους πόρους κυκλοφορίας. Τέτοιες πληροφορίες περνούν μέσα στα κρατικά πακέτα τοπολογίας P- NNI (PTSP), τα οποία περιλαμβάνουν τα διάφορα κρατικά στοιχεία τοπολογίας P- NNI τύπος-μήκος-αξίας (TLV) κωδικοποιημένα (PTSE). Αυτό είναι παρόμοιο με τα τρέχοντα πρωτόκολλα κρατικής δρομολόγησης συνδέσεων όπως το OSPF. Αντίθετα από αυτά που έχουν μόνο τη στοιχειώδη υποστήριξη για QoS, το πρωτόκολλο P-NNI υποστηρίζει έναν μεγάλο αριθμό κρατικών παραμέτρων συνδέσεων και κόμβων που διαβιβάζονται από τους κόμβους για να δείξουν την επικρατούσα κατάστασή τους σε τακτά χρονικά διαστήματα.

Υπάρχουν δύο τύποι παραμέτρων συνδέσεων: Non-Additive ιδιότητες συνδέσεων που χρησιμοποιούνται QoS για να καθορίσουν εάν μια δεδομένη σύνδεση ή ένας κόμβος δικτύων μπορεί να συναντήσει ένα ζητούμενο και πρόσθετες μετρικές συνδέσεων που χρησιμοποιούνται για να καθορίσουν εάν μια δεδομένη πορεία, που αποτελείται από ένα σύνολο συνδεδεμένων συνδέσεων και κόμβων, μπορεί να συναντήσει το ζητούμενο QoS.

Το τρέχον σύνολο *metric* των συνδέσεων είναι:

- Μέγιστη καθυστέρηση μεταφοράς κυττάρων (MCTD) ανά κατηγορία κυκλοφορίας .
- Μέγιστη παραλλαγή καθυστέρησης κυττάρων (MCDV) ανά κατηγορία κυκλοφορίας
- Μέγιστη αναλογία απώλειας κυττάρων (MCLR) για τα κύτταρα CLP=0, για τις κατηγορίες της κυκλοφορίας CBR και VBR
- Διοικητικό βάρος: Αυτό είναι μια αξία που τίθεται από το διαχειριστή δικτύων και χρησιμοποιείται για να δείξει την επιθυμία μιας σύνδεσης δικτύων.

Το τρέχον σύνολο ιδιοτήτων συνδέσεων είναι:

- Διαθέσιμο ποσοστό κυττάρων (ACR): Ένα μέτρο του διαθέσιμου εύρους ζώνης στα κύτταρα ανά δευτερόλεπτο, ανά κατηγορία κυκλοφορίας
- Περιθώριο ποσοστού κυττάρων (CRM): Ένα μέτρο της διαφοράς μεταξύ της αποτελεσματικής κατανομής εύρους ζώνης ανά κατηγορία κυκλοφορίας, και η κατανομή για το βιώσιμο ποσοστό
- Διαφορά Factor (VF): Ένα σχετικό μέτρο του περιθωρίου CRM που ομαλοποιείται από τη διαφορά του συνολικού ποσοστού κυττάρων στη σύνδεση.

Όλοι οι κόμβοι δικτύων μπορούν να λάβουν μια εκτίμηση της τρέχουσας κατάστασης ολόκληρου του δικτύου μέσω πλημμυρισμένων PTSPs που περιέχουν τέτοιες πληροφορίες όπως ανωτέρω. Αντίθετα από τα περισσότερα τρέχοντα κρατικά πρωτόκολλα συνδέσεων, το πρωτόκολλο P-NNI διαφημίζει όχι μόνο τα *metric* των συνδέσεων, αλλά και τις κομβικές πληροφορίες. Χαρακτηριστικά, τα PTSPs περιλαμβάνουν τις αμφίδρομες πληροφορίες για τη συμπεριφορά διέλευσης των ιδιαίτερων κόμβων που βασίζονται στην είσοδο και το port, και την επικρατούσα εσωτερική κατάσταση. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε περιπτώσεις όπου ο κόμβος αντιπροσωπεύει ένα αθροισμένο δίκτυο (δηλαδή μια όμοια ομάδα). Σε αυτή την περίπτωση, οι μετρικές κόμβων πρέπει να προσπαθήσουν να προσεγγίσουν την κατάσταση του δικτύου. Αυτό το εσωτερικό κράτος είναι συχνά τουλάχιστον τόσο σημαντικό όσο αυτή των συνδέσεων για λόγους δρομολόγησης QoS.

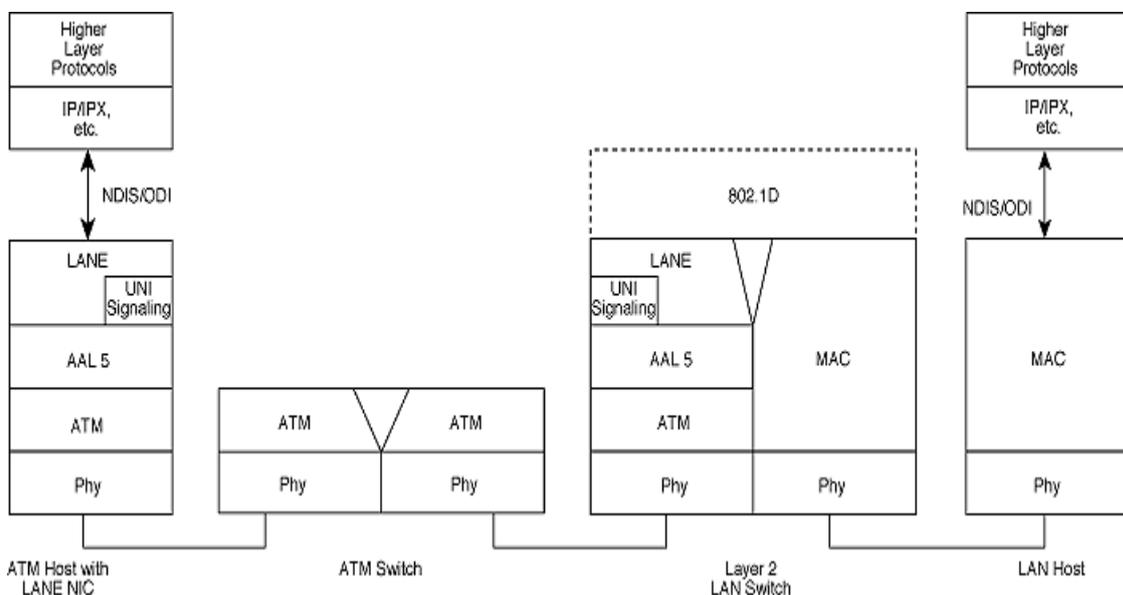
Η ανάγκη να αθροιστούν τα στοιχεία δικτύων και οι σχετικές μετρικές πληροφορίες τους έχει επίσης τις σημαντικές συνέπειες στην ακρίβεια τέτοιων πληροφοριών.

Δύο προσεγγίσεις είναι δυνατές για τη δρομολόγηση μιας σύνδεσης μέσω του δικτύου: δρομολόγηση hop by hop και δρομολόγηση πηγής. Η δρομολόγηση hop by hop χρησιμοποιείται από τα περισσότερα τρέχοντα πρωτόκολλα στρώματος δικτύων

όπως η IP ή το IPX, όπου ένα πακέτο καθοδηγείται σε οποιοδήποτε δεδομένο κόμβο μόνο σε έναν άλλο next hop κόμβο πιο κοντά στον τελικό προορισμό. Στη δρομολόγηση πηγής, ο αρχικός κόμβος στην πορεία καθορίζει ολόκληρη τη διαδρομή ως τον τελικό προορισμό.

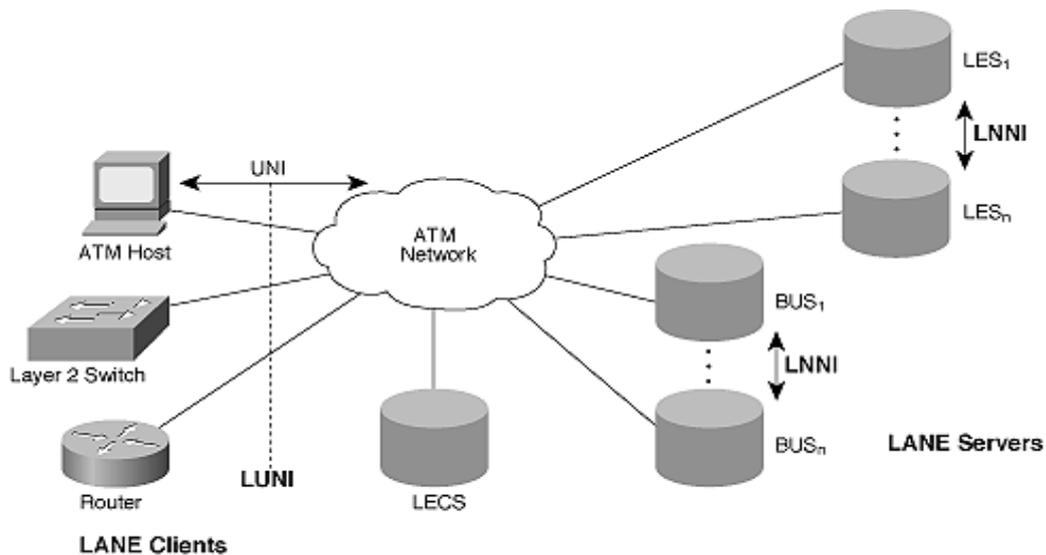
5.3. Εξομοίωση του τοπικού LAN (LAN Emulation)

Η εξομοίωση του τοπικού δικτύου LAN διαφέρει από όλα τα άλλα IP over ATM σενάρια που περιγράφονται σε αυτήν την εργασία δεδομένου ότι χρησιμοποιεί το ATM ως MAC επιπέδου πρωτόκολλο κάτω από το LLC, ενώ τα άλλα χρησιμοποιούν το ATM ως πρωτόκολλο διασυνδέσεων κάτω από το IP. Χρησιμοποιεί ένα overlay model για να τρέξει διαφανώς διαμέσου των υπάρχοντων ATM switches και τα πρωτόκολλα σηματοδότησης, είναι στην ουσία ένα πρωτόκολλο για το γεφύρωμα πάνω από το ATM. Δεν κάνει καμία πρόφαση ύπαρξης σαν ένα πρωτόκολλο διασύνδεσης, ούτε της εξέτασης των ζητημάτων της εξελισιμότητας που αυτό θα περιελάμβανε. Είναι απλώς ένα πρωτόκολλο τοπικών δικτύων, όπως το Ethernet. Στο σχήμα 10 βλέπουμε την αρχιτεκτονική του.



Σχήμα 10. LANE Protocol Architecture

Το LANE διαιρεί ένα δίκτυο ATM σε πολλαπλάσια εξομοιωμένα LANs. Αυτά τα LANs λειτουργούν ανεξάρτητα και η επικοινωνία μεταξύ εξομοιωμένων LANs είναι εφικτή μόνο μέσω των δρομολογητών ή των γεφυρών. Το σχήμα 11 δείχνει τη σχέση μεταξύ των οντοτήτων στο LANE.



Note: The Phase 1 LANE spec only specifies the LUNI interface

Figure 11. LAN Emulation τμήματα και διασυνδέσεις πρωτοκόλλου

Οι hosts στο εξομοιωμένο τοπικό LAN αποκαλούνται πελάτες (LAN Emulation Clients,) εξομοιωμένου τοπικού LAN (LEC). Κάθε εξομοιωμένο LAN έχει έναν κεντρικό υπολογιστή εξομοιωμένου LAN (LES, LAN Emulation Server), έναν κεντρικό υπολογιστή διαχείρισης (LECS, Configuration Server), και έναν Broadcast and Unknown Server (BUS). Ο κεντρικός υπολογιστής διαχείρισης (configuration server) διορίζει τους hosts σε ένα δίκτυο ATM σε διαφορετικά LANs, ο BUS χειρίζεται όλη τη broadcast και multicast κυκλοφορία, ενώ ο LES είναι αρμόδιος για το πρωτόκολλο LAN Emulation Address resolution Protocol (LE_ARP). Το LE_ARP επιτρέπει στο LES να εκπληρώσει τη βασική ευθύνη του LANE, που αναλύει τις διευθύνσεις MAC σε διευθύνσεις του ATM. Αυτό επιτρέπει στους LECs (clients) να εγκαθιστούν άμεσες συνδέσεις SVC μεταξύ τους για την αποστολή δεδομένων unicast. Η Broadcast / Multicast κυκλοφορία στέλνεται πρώτα στον 'Broadcast / Multicast server' και ανακατανέμεται έπειτα σε όλους τους δέκτες. Η σύνδεση από τον LES στους LECS μπορεί να προκύψει και πέρα από ένα μόνιμο εικονικό κύκλωμα (PVC, permanent virtual circuit), να αρχίσει από ένα 'well known address', ή χρησιμοποιώντας ένα πρωτόκολλο που καθορίζεται στην ενσωματωμένη τοπική διοικητική διεπαφή (ILMI, Integrated Local Management Interface). Ένας Ιστός PVC, permanent virtual circuits και αμφίδρομα και ομοιοκατευθυνόμενα, χρησιμοποιείται για να διασυνδέσει τους LECs, τους LECS, τον LES και τον BUS για τη σηματοδότηση και τον έλεγχο. Το σχήμα 11 επεξηγεί τις σχέσεις μεταξύ LEC, LES, LECS και του BUS.

Το πρωτόκολλο LANE καθορίζει τους μηχανισμούς για εξομοίωση είτε ενός Ethernet (802,3) ή Token Ring (802,5) LAN στον εγκατεστημένο host LECs. Η υποστήριξη IP over LAN Emulation είναι η ίδια με την IP πάνω από καθένα από τα IEEE 802 LANs, χωρίς την τροποποίηση σε υψηλότερου στρώματος πρωτόκολλα όπως η κοινή διεπαφή οδηγών 'NDIS driver interface' για το IP και τις παρόμοιες στοίβες πρωτοκόλλου. Πρέπει να σημειωθεί, ότι το LANE δεν παρέχει κανένα μέσο άμεσης σύνδεσης μεταξύ Ethernet και Token Ring Emulations. Απαιτείται ακόμα μια πύλη για να τα γεφυρώσει μεταξύ τους. Η αποστολή των πακέτων μεταξύ διαφορετικών εξομοιωμένων LANs πρέπει να ολοκληρωθεί μέσω των δρομολογητών, είτε συμβατών εγκατεστημένων ATM δρομολογητών ή μια μορφή δρομολογητή ATM εφαρμόζοντας το LANE σε δύο ή περισσότερες διεπαφές(interfaces) στα διαφορετικά εξομοιωμένα δίκτυα.

Η φάση 1 LANE επεκτείνεται αυτήν την περίοδο, ενώ η φάση 2 δεν είναι ακόμα πλήρης. Η φάση 2 θα προσθέσει στο LAN emulation NNI (LNNI) πρωτόκολλο, να επιτρέψει στο περιπτώ LESSs και πανομοιότυπο BUSs, καθώς επίσης και επιτρέποντας για το ιεραρχικό BUSs. Αυτό προορίζεται για να αποφύγουμε και τους ενιαίους τρόπους αποτυχίας σημείου και τις δυσχέρειες απόδοσης. Οι προμηθευτές όπως η fore systems έχουν εισαγάγει τον εφεδρικό LES και BUS και την failover λειτουργία LEC, στην τρέχουσα φάση τους 1 σε αναμονή για τα πρότυπα. Στα σχήματα 13 και 14 βλέπουμε τους τύπους ελέγχου σύνδεσης και σύνδεσης δεδομένων.

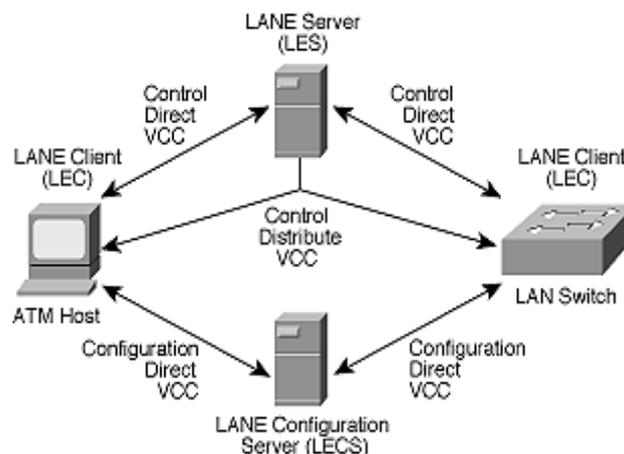


Figure 13. LANE Control Connections

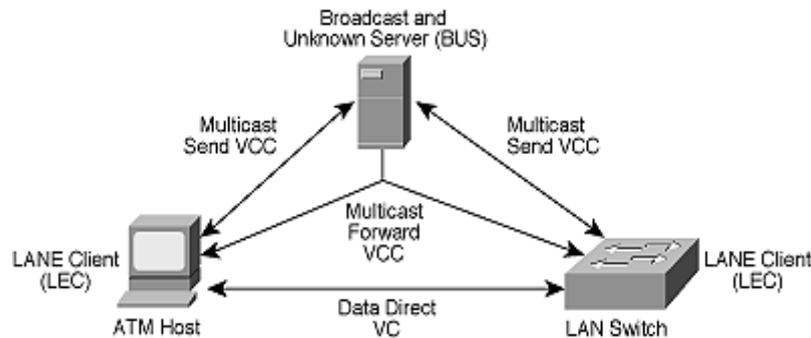
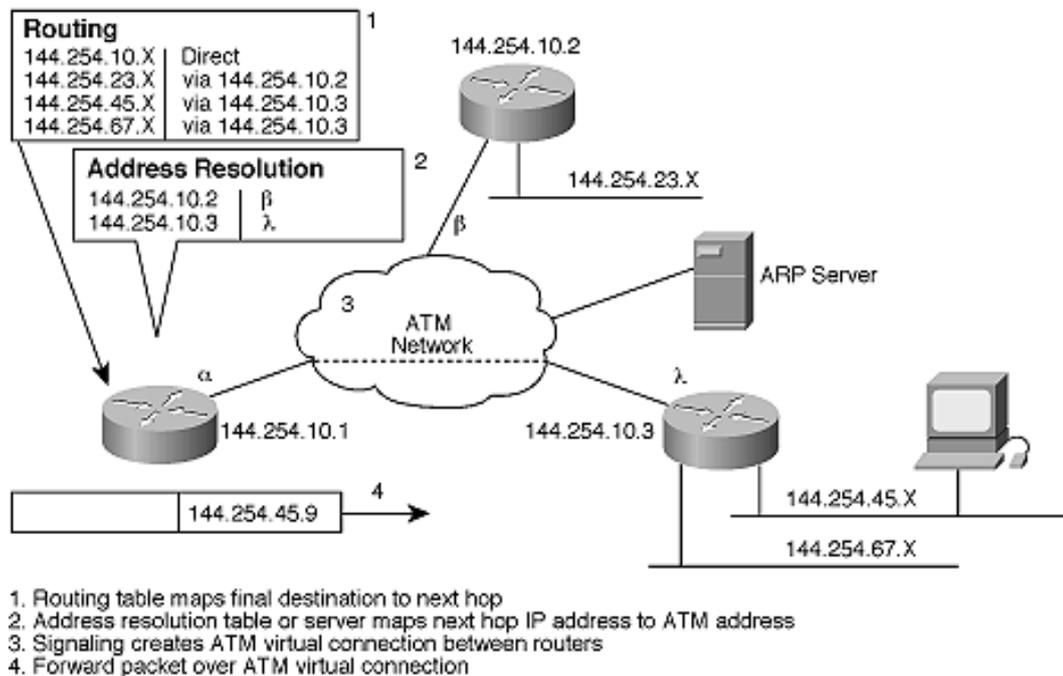


Figure 14: LANE Data Connections

5.4.Κλασσικό πρότυπο (RFC1577)

Το αποκαλούμενο ‘κλασσικό πρότυπο IP’ περιγράφεται στο RFC1577. Στο κλασσικό πρότυπο, η συμβατή αρχιτεκτονική υποδικτύου IP παραμερίζεται. Οι προσαρμογείς του ATM(ATM ADAPTERS) αντιμετωπίζονται ως διεπαφή δικτύων(network interface) στη λίστα πρωτοκόλλου IP. Τα δίκτυα του ATM κάτω από αυτό το πρότυπο διαιρούνται σε λογικά υποδίκτυα IP (**Logical IP Subnets**) στα οποία όλα τα μέλη έχουν την ίδια IP διεύθυνση δικτύων/υποδικτύων και netmask. Κάθε μέλος συνδέεται με το δίκτυο του ATM άμεσα και πρέπει να είναι σε θέση να επικοινωνήσει με άλλα μέλη στο ίδιο **LIS** άμεσα μέσω του ATM (δηλαδή ένα πλήρες πλέγμα VCs καθιερώνεται μεταξύ των μελών LIS). Κάθε μέλος πρέπει επίσης να είναι σε θέση να χαρτογραφεί μεταξύ των IP διευθύνσεων και των ATM NSAP-διευθύνσεων χρησιμοποιώντας ένα ATM βασισμένο arp και Αντίστροφο arp (ATMARP και InATMARP). Ένας ή περισσότεροι κεντρικοί υπολογιστές ‘ATMARP/InATMARP Servers’ μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να παρέχουν την ανάλυση των διευθύνσεων σε ένα unicast περιβάλλον ATM για όλα τα μέλη στο **LIS**. Το σχήμα 15 επεξηγεί τον τρόπο με τον οποίο οι κεντρικοί υπολογιστές ATMARP και InATMARP Servers λειτουργούν για να απεικονίσουν τις μεταξύ NSAP τύπου διευθύνσεις ATM και διευθύνσεις IP.



Σχήμα 15. Routing Across ATM with the Classical IP Model

Η RFC1483 encapsulation χρησιμοποιείται στο κλασσικό IP. Η LLC/SNAP encapsulation πολυπρωτοκόλου χρησιμοποιείται για τη διαβίβαση των πακέτων δεδομένων IP, ενώ το πρωτόκολλο VC Multiplexing χρησιμοποιείται για τις λειτουργίες OAM. Η αρχιτεκτονική δρομολόγησης στο δίκτυο IP παραμένει αμετάβλητη. Η κυκλοφορία δια μέσου LIS ορίων πρέπει να διαβιβαστεί από έναν δρομολογητή που είναι μέλος και των δύο LISs, ακόμα μπορεί να είναι φυσικά δυνατό να εγκατασταθεί μια άμεση VC σύνδεση μεταξύ της πηγής και του προορισμού (δηλ. έχουν μια φυσική σύνδεση στο επίπεδο του ATM).

Αυτό το πρότυπο έχει αποδειχθεί αρκετά επιτυχές όταν ο αριθμός κόμβων στο δίκτυο του ATM δεν είναι πάρα πολύ μεγάλος. Τα περισσότερα από τα υπάρχοντα δίκτυα Ip over ATM, όπως το εθνικό δίκτυο δοκιμής CANARIE, χρησιμοποιούν το κλασσικό IP.

Ένα πρόβλημα με αυτό το πρότυπο είναι ότι μπορούν να υπάρξουν περιπτές αναπηδήσεις όταν είναι οι source και οι destination χρήστες σε διαφορετικό LIS, μέσα στο ίδιο σύννεφο του ATM. Αυτό δεν είναι ένα ατύχημα, αποκαλείται 'κλασσικό πρότυπο(Classical model)' επειδή ακολουθεί την απαίτηση (requirement for internet hosts-communication layers) όπου οποιοδήποτε πακέτο, για έναν προορισμό έξω από το υποδίκτυο IP του κόμβου πηγής, πρέπει να σταλεί σε έναν προεπιλεγμένο δρομολογητή, αυτή η απαίτηση είναι ένας σημαντικός περιορισμός στη λειτουργία των σύννεφων του ATM. Εξετάζουμε το ακόλουθο παράδειγμα:

Source-s1-s2-s3-destination

|
R

Εδώ έχουμε τρία switch του ATM: S1, S2, και S3. Source, s1, S2 και R ανήκουν στο LIS1, destination, R, S2, S3 ανήκουν στο LIS2. Η κίνηση από το source στο destination θα ακολουθούσε το μονοπάτι : source - s1 - S2 - R - S2 - S3 - destination. Προφανώς η κοντύτερη πορεία είναι μια άμεση VC μεταξύ της πηγής και του προορισμού, αλλά αυτό δεν επιτρέπεται από το κλασικό πρότυπο.

Υπάρχουν μερικοί περιορισμοί στο μέγεθος LIS που επιβάλλονται από τις λειτουργίες δρομολόγησης IP. Το πρόσθετο πρόβλημα μεταπηδήσεων γίνεται πολύ χειρότερο όταν το μέγεθος του σύννεφου του ATM και ο αριθμός των LISs είναι πολύ μεγάλοι. Επιπλέον, η αναγκαιότητα για επεξεργασία IP σε κάθε δρομολογητή μπορεί να συντελέσει πολύ στη λανθάνουσα κατάσταση που βιώνεται από τις ροές δεδομένων, τουλάχιστον με τους συμβατούς δρομολογητές IP.

Και το LANE και το κλασικό πρότυπο έχουν τον περιορισμό της μη χρησιμοποίησης της δυνατότητας του ATM να εγκατασταθεί άμεση VCs στα εικονικά όρια του τοπικού LAN(σχήμα 15). Σε μερικές περιπτώσεις αυτό θεωρείται μια αρετή. ELANs υπό διαφορετικό διαχειριστικό έλεγχο είναι λογικά αρκετά ξεχωριστά ακόμα και όταν συνδέονται φυσικά μεμονωμένα switches. Αυτό μπορεί να είναι ένα πλεονέκτημα ασφάλειας. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα του LANE είναι ότι μπορεί να υποστηρίξει το ATM και τα κληρονομούμενα δίκτυα στο ίδιο LAN. Το πλεονέκτημα του κλασικού IP over ATM είναι ότι απλοποιεί τη λίστα πρωτοκόλλου όταν το LAN περιέχει μόνο ATM switches.

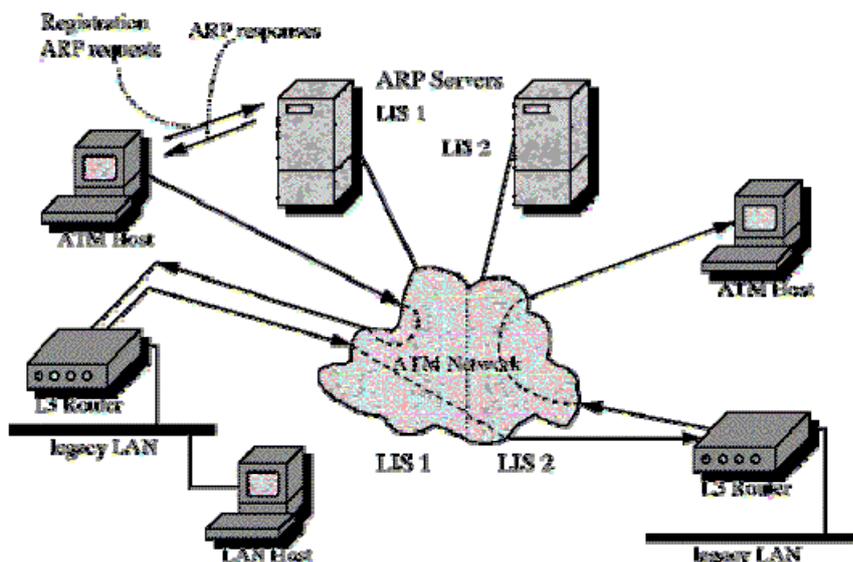


Figure 15. Inter - LIS δρομολόγηση στο Classical IP

5.5.NEXT HOP RESOLUTION PROTOCOL (NHRP)

Το πρόσθετο πρόβλημα hop(αναπήδησης) του κλασσικού προτύπου (classical model) είναι μια από τις ερωτήσεις υπό εξέταση από το IETF IP over non broadcast multi access NBMA network (ION) working group. Ένα νέο πρωτόκολλο, NBMA (NHRP,next hop routing protocol), προτείνεται, όπου μπορεί να υποστηρίξει την περικοπή δρομολόγησης προκειμένου να αποφευχθούν αυτές οι πρόσθετες αναπηδήσεις. Το NHRP προορίζεται για χρήση πάνω και από τα δύο connectionless NBMA υποδίκτυα ATM, έτσι δεν περιλαμβάνουν τους μηχανισμούς για την καθιέρωση σύνδεσης, για την τελευταία περίπτωση. Αυτοί πρέπει να παρασχεθούν από άλλα πρωτόκολλα όπως το MPOA. Το frame relay και το X.25 είναι άλλοι πιθανοί υποψήφιοι για την εφαρμογή NHRP.

Το NHRP χρησιμοποιεί τις τοπικές ομάδες διευθύνσεων (LAGs,Local Address Groups) για να διαμορφώσει το δίκτυο NBMA. Η κύρια διαφορά μεταξύ του LIS προτύπου και του προτύπου LAG βρίσκεται στο πώς λαμβάνεται η τοπική ή απομακρυσμένη απόφαση αποστολής. Στο LIS πρότυπο η απόφαση είναι καθαρά βασισμένη στις πληροφορίες διευθύνσεων. Μόνο οι κόμβοι με την ίδια διεύθυνση IP δικτύου/υποδικτύου μπορούν άμεσα να μιλήσουν ο ένας στον άλλο. Στο πρότυπο LAG δύο οποιοδήποτε κόμβοι στο ίδιο δίκτυο NBMA μπορούν να καθιερώσουν μια άμεση επικοινωνία ανεξάρτητα από τις διευθύνσεις IP τους, ενώ η τοπική εναντίον της μακρινής απόφασης αποστολής βασίζεται στις QoS ή τις εκτιμήσεις κυκλοφορίας. Στα ετερογενή δίκτυα, οι προορισμοί θα βρεθούν συχνά έξω από το όριο του δικτύου NBMA, το NHRP έχει τη δυνατότητα να παρέχει τις πληροφορίες ανάλυσης διευθύνσεων για το δρομολογητή εξόδου, όταν ο προορισμός δεν είναι άμεσα συνδεδεμένος με το NBMA δίκτυο.

Ένα φυσικό δίκτυο NBMA μπορεί να χωριστεί σε αρκετά ξεχωριστά λογικά υποδίκτυα NBMA. Ένα λογικό υποδίκτυο NBMA είναι μια συλλογή hosts και routers (οικοδεσποτών και δρομολογητών) που μοιράζεται την unfiltered συνδετικότητα. Υπάρχουν next hop servers (NHSs) στο λογικό υποδίκτυο NBMA, που παρέχουν την υπηρεσία NHRP μέσα σε ένα σύννεφο NBMA. Κάθε NHS εξυπηρετεί ένα σύνολο hosts προορισμού που μπορεί να είναι ή όχι στο δίκτυο NBMA. Κάθε σταθμός στο

δίκτυο NBMA πρέπει να έχει ένα NHS στο ίδιο λογικό υποδίκτυο NBMA , που μπορεί να παρέχει τις αυθεντικές address resolution πληροφορίες προς συμφέρον του. Αυτό το NHS είναι το 'serving NHS' του σταθμού. Κάθε οντότητα που χρησιμοποιεί την υπηρεσία NHRP είναι ένας Next Hop Resolution Protocol Client (επόμενος πελάτης πρωτοκόλλου ψηφίσματος (NHC)). Ενώ το NHRP μπορεί να επεκταθεί διαφανώς σε ένα **LIS** που περιλαμβάνει arp υπηρεσίες και hosts που δεν καταλαβαίνουν το NHRP, απαιτεί όλους τους δρομολογητές στην πορεία, μεταξύ του NHC και της εξυπηρέτησης NHS του προορισμού, να είναι NHRP-ικανοί.

Οι NHCs αποθηκεύουν προσωρινά τα αποτελέσματα των διευθύνσεων του πρωτοκόλλου LIS σε NBMA αιτήσεις ανάλυσης διευθύνσεων όπως αυτές μαθαίνονται, οι πληροφορίες μπορούν να προέλθουν από τα πακέτα απάντησης ψηφίσματος NHRP(NHRP Resolution Reply Packets), στατικής διαμόρφωσης. Οι αιτήσεις αναλύσεων NHRP(NHRP resolution requests) μπορούν να προκληθούν από διάφορα διαφορετικά γεγονότα, παραδείγματος χάριν, ένας host έχει ένα πακέτο δεδομένων να στέλνει, ή ένα πακέτο αναβάθμισης πρωτοκόλλου δρομολόγησης. Όταν η ώθηση είναι ένα πακέτο δεδομένων, εκείνο το πακέτο πρέπει κάπως να αντιμετωπιστεί, αναμένοντας την έκβαση του αιτήματος ανάλυσης. Μπορεί προαιρετικά να καταρρεύσει, να αποθηκευθεί εν αναμονή της απάντησης ανάλυσης, ή να διαβιβαστεί μέσω της υπάρχουσας (μη συντομότερος δρόμος) δρομολογημένης πορείας προς τον προορισμό. Η τελευταία επιλογή συστήνεται, αλλά μπορεί να οδηγήσει σε αποπροσανατολισμό των πακέτων μόλις εγκατασταθεί η σύνδεση του συντομότερου δρόμου. Αυτό δεν είναι ένα πρόβλημα για το πρωτόκολλο IP αλλά μπορεί να έχει επιπτώσεις σε άλλα πρωτόκολλα.

Στο κλασικό πρότυπο, όλα τα πακέτα δεδομένων δρομολογούνται hop by hop μέσω ενδιάμεσων δρομολογητών. Οι αποφάσεις δρομολόγησης λαμβάνονται σε κάθε δρομολογητή κάθε φορά που φθάνει ένα πακέτο. Στο πρότυπο NHRP, ο ίδιος μηχανισμός χρησιμοποιείται, αλλά όχι για να διαβιβάσει τα πραγματικά πακέτα δεδομένων. Άντ' αυτού, χρησιμοποιείται για να διαβιβάσει τα πακέτα resolution request του NHRP από την πηγή, που πρέπει να είναι ένα NHC, στην εξυπηρέτηση του NHS του προορισμού που μπορεί να παρέχει τις address resolution information. Το πρόσθετο hop επεξεργασίας αναγνωρίζεται μόνο από το πακέτο αιτήματος NHRP. Οι πληροφορίες ψηφίσματος διευθύνσεων (address resolution information) χρησιμοποιούνται από το πρωτόκολλο για να εγκαταστήσουν μια άμεση σύνδεση NBMA. Τα επόμενα πακέτα δεδομένων στέλνονται άμεσα από την πηγή στον

προορισμό μέσω της πρόσφατα καθιερωμένης σύνδεσης (σχήμα 16). Το NHRP απαιτεί μια παρακείμενη επέκταση των ικανών δρομολογητών NHRP. Τα πακέτα αιτήματος NHRP μπορεί να καταρρεύσουν εάν δεν αναγνωρίζονται από έναν ενδιάμεσο δρομολογητή. Σε αυτήν την περίπτωση, τα πακέτα πρέπει να προωθούνται hop-by-hop ακριβώς όπως στο Classical model.

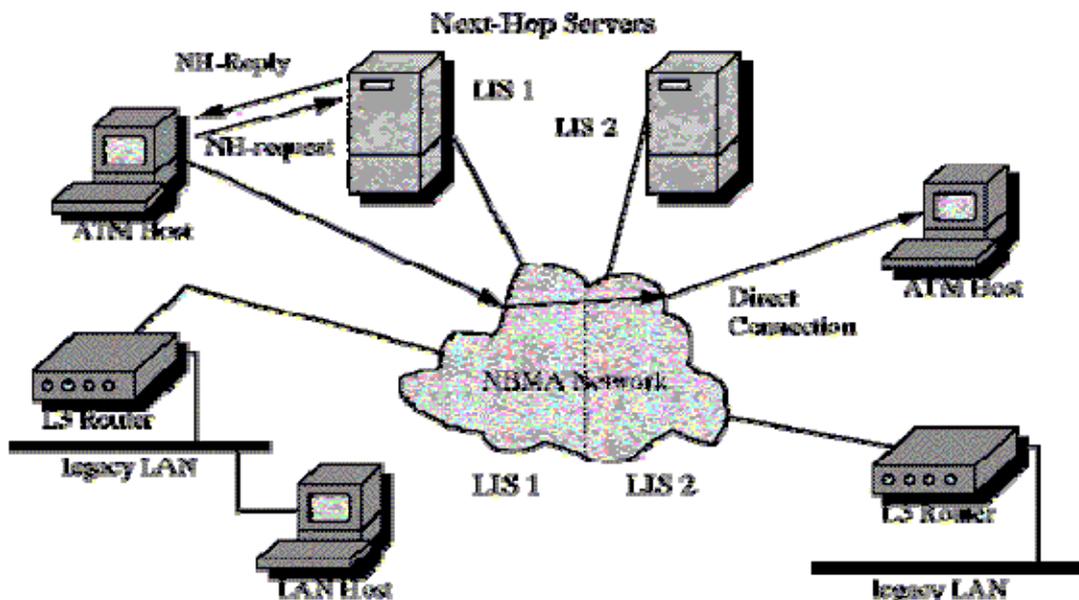


Figure 16. NHRP Solves Extra - hop -Problem

Οι σταθεροί βρόχοι δρομολόγησης είναι μια δυνατότητα κάτω από το NHRP. Αυτό, επειδή παραβιάζει μια θεμελιώδη αρχή της δρομολόγησης IP, ότι οι ανανεώσεις δρομολογήσεων που στέλνονται σε όλες τις πορείες μέσω των οποίων τα δεδομένα ρέουν, επίσης. Οι συντομότεροι δρόμοι NHRP χρησιμοποιούνται μόνο για την προώθηση δεδομένων, και δεν εγκαθιστούν τη γειτνίαση των δρομολογητών. Ακόμα κι έτσι, μόνο οι σταθεροί βρόχοι αναπτύσσονται, υπό τους σχετικά απίθανους, ακόμη και παθολογικούς όρους δικτύων. Οι βρόχοι είναι μια δυνατότητα μόνο όταν υπάρχει ένα back-door path, μεταξύ των δρομολογητών που είναι άγνωστο και, έξω από το δίκτυο NBMA. Οι σταθεροί βρόχοι είναι πιθανό να προκύψουν μόνο στα όρια μεταξύ των διαχειριστικών περιοχών, όπου τα inter-domain πρωτόκολλα δρομολόγησης χάνουν το metric των διαδρομών. Εντούτοις, η δυνατότητα είναι αρκετά σοβαρή ότι διάφορες επιλογές είναι υπό ανάπτυξη. Οι route record extensions για τα πακέτα NHRP έχουν καθοριστεί, για να ενισχύσουν την ανίχνευση των βρόχων, όσο τα διαχειριστικά μέτρα, ιδιαίτερα που χρησιμοποιούν τους δρομολογητές σε οποιοδήποτε όριο μεταξύ των διαχειριστικών περιοχών, προτείνονται ιδιαίτερα.

Αν και το NHRP λύνει το πρόσθετο hop πρόβλημα, εισάγει μερικά δικά του. Το πρώτο πρόβλημα είναι η απαίτηση της παρακείμενης ανάπτυξης NHSs, η οποία

μπορεί να μην συμβεί για πολύ ώρα στο υπάρχον Διαδικτυακό Backbone του ATM. Δεύτερον, το παρόν NHRP εστιάζει μόνο στη δρομολόγηση unicast. Μπορεί να είναι δυνατό να χρησιμοποιήσει το NHRP για να υποστηρίξει multicast, όπου το συντομότερο point-to-multipoint VCs μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αποφευχθούν τα πρόσθετα hops. Δυστυχώς, αυτή η προσέγγιση είναι απίθανη. Ο αποστολέας θα συντριφθεί εάν προσπαθήσει να οργανώσει συντομότερους δρόμους (short-cuts) για έναν πολύ μεγάλο αριθμό δεκτών. Αυτό το πρόβλημα είναι ακόμα χειρότερο στο περιβάλλον IPv6 όπου το multicast είναι ένα απαραίτητο στοιχείο πρωτοκόλλου. Θα δούμε το θέμα και στην παράγραφο 5.10 κατωτέρω. Στο σχήμα 17 βλέπουμε τη βασική μορφή λειτουργίας του NHRP.

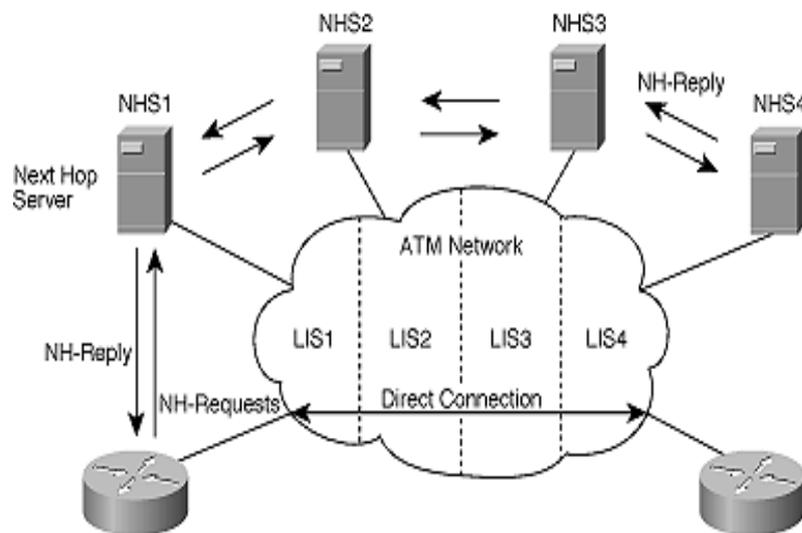


Figure 17: Operation of NHRP

5.6.P-NNI and Integrated P-NNI

Το πρότυπο NHRP χρησιμοποιεί την layered δρομολόγηση στην οποία η internetwork δρομολόγηση στρώματος, και η δρομολόγηση του ATM λειτουργούν ανεξάρτητα. Όταν ένα πακέτο πρόκειται να σταλεί πέρα από ένα σύννεφο του ATM, καθοδηγείται αρχικά σε έναν δρομολογητή εισόδου του δικτύου του ATM βασισμένο στην IP δρομολόγηση. Δεδομένου ότι το πρωτόκολλο δρομολόγησης IP δεν έχει καμία γνώση της τοπολογίας του δικτύου ATM, μπορεί να λάβει λανθασμένες αποφάσεις κατά την επιλογή του δρομολογητή εισόδου. Η QoS δρομολόγηση είναι επίσης ένα πολύ δύσκολο θέμα όταν η δυναμική του δικτύου του ATM δεν είναι διαθέσιμη. Το ενοποιημένο PNNI (integrated PNNI) προτάθηκε για να λύσει αυτά τα

προβλήματα. Πριν αναλύσουμε το IPNNI, πρέπει εν συντομία να αναθεωρήσουμε του φόρουμ του ATM ιδιωτικού P-NNI πάνω στο οποίο είναι βασισμένο.

5.6.1.PRIVATE NNI (P - NNI)

Το P-NNI είναι ένα ιεραρχικό πρωτόκολλο link-state δρομολόγησης και πρωτόκολλο σηματοδοσίας, που χρησιμοποιούνται μαζί για να εγκατασταθούν τα Switched Virtual Circuits(SVCs) σε ένα ιδιωτικό ATM δίκτυο. Σε αυτό το πλαίσιο, ένα ιδιωτικό δίκτυο είναι ένα που χρησιμοποιεί NSAP format ATM διευθύνσεις. Οι κύριοι στόχοι του φόρουμ του ATM στην ανάπτυξη του P-NNI είναι:

- Ποιότητα της υποστήριξης υπηρεσιών, και
- Καθολική εξελισιμότητα

Η P-NNI σηματοδοσία είναι μια επέκταση των πρωτοκόλλων σηματοδοσίας UNI, χρησιμοποιώντας γνωστά VPI/VCIs για να μεταφέρει τα μηνύματα σηματοδοσίας. Στην αρχιτεκτονική της δρομολόγησης και εξέτασής του, στρέφεται στην φιλοσοφία και την παγκόσμια άποψη του nimrod project.

Η Nimrod είναι μια IETF υποστηριζόμενη προσπάθεια να παράγει μια αρχιτεκτονική δρομολόγησης επόμενης γενεάς, για να συνοδεύσει το IPng. Λαμβάνοντας υπόψη την αργή επέκταση του IPv6, εν τούτοις, η ανάπτυξη nimrod φαίνεται.

Το P-NNI είναι ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης map-based, δηλαδή διανέμει περιγραφικές πληροφορίες για το δίκτυο ή τις μερίδες του δικτύου, σε αντιδιαστολή με τη διανομή των πινάκων δρομολόγησης. Τα link-state πρωτόκολλα συνδέσεων, όπως OSPF και IS-IS είναι ουσιαστικά map-based. Η εναλλακτική λύση, τα distance vector schemes, παραδείγματος χάριν, BGP και RIP, μπορούν να θεωρηθούν ως αυτά που αναγκάζουν τους δρομολογητές να διανέμουν την άποψή τους για ολόκληρο το δίκτυο, παρά σαν έναν χάρτη της εγγύτητάς τους. Οι P-NNI χαρτογραφήσεις αφαιρούν τα τμήματα του δικτύου που βρίσκονται σε διαφορετικά επίπεδα ιεραρχίας, αυτοί οι ιεραρχικοί χάρτες επιτρέπουν στις πηγές(sources) να επιλέξουν τις διαδρομές τους μέσα στο δίκτυο. Οι πορείες(paths) επιλέγονται ρητά από τις πηγές παρά από τις πλήρες διανεμημένες, hop by hop διαδρομές, στις οποίες κάθε switch ή δρομολογητής επιλέγει το επόμενό του hop.

Οι ιεραρχικές χαρτογραφήσεις είναι ζωτικής σημασίας στην αναβάθμιση, η οποία δεν θα μπορούσε προφανώς να αντέξει τη διανομή των πλήρων χαρτών δικτύων. Η ιεραρχία P-NNI είναι βασισμένη στο high-order 13 byte εκ των 20 της NSAP μορφής

ATM διευθύνσεων. Αυτό επιτρέπει σε γενικές γραμμές μέχρι 105 επίπεδα, παρόλο που δεν αναμένεται ότι θα χρησιμοποιηθούν περισσότερα από 6 ή 8 επίπεδα πάντα. Στο χαμηλότερο επίπεδο, οι λογικοί κόμβοι είναι ίδιοι με τους φυσικούς διακόπτες (switches), κάθε ένας με μια μοναδική διεύθυνση NSAP. Οι λογικοί κόμβοι ομαδοποιούνται σε *'peer groups'* όμοιες ομάδες, μέσα σε κάθε όμοια ομάδα, όλοι οι κόμβοι χρησιμοποιούν μια κατάλληλη τοπολογική βάση δεδομένων που λαμβάνεται μέσω της ανταλλαγής πλήρων πληροφοριών link state. Κάθε εφάμιλη ομάδα έχει ένα λογικό κόμβο ομάδας γνωστό και ως peer group leader *'ηγέτης ομάδας'*. Αυτός είναι ένας ενιαίος κόμβος που παρουσιάζει μια απεικόνιση, της όμοιας ομάδας του στο επόμενο πιο υψηλό επίπεδο ιεραρχίας. Τα PGLs επιλέγονται μέσω μιας διαδικασίας εκλογής. Οι ανεξάρτητες όμοιες ομάδες (peer groups) είναι περιορισμένου μεγέθους, προκειμένου να αποφευχθεί η υπερβολική ανταλλαγή πληροφοριών link-state (μέσω του *P- NNI*, ή PTSPs). Εξ ορισμού, η όμοια ταυτότητα ομάδας των κόμβων στο χαμηλότερο επίπεδο δίνεται από τα 12 υψηλότερης προτεραιότητας bytes της διεύθυνσης NSAP. Έτσι μένει ένα byte για να διευκρινίσει τα μεμονωμένα switches μέσα στην όμοια ομάδα (peer group), περιορίζοντας τον αριθμό σε 256. Τα end-systems αποκτούν το address prefix του δικτύου τους από το switch στο οποίο είναι συνδεδεμένα.

Δεδομένου ότι μια ιεραρχία όμοιων ομάδων κατασκευάζεται, κάθε προηγούμενη ταυτότητα (ID) της πρέπει να είναι πιο σύντομη από το πρόθεμα που είναι η ταυτότητα ομάδας (peer group) παιδιών του. Αυτό αποκλείει οποιαδήποτε δυνατότητα ιεραρχικών βρόχων. Επιτρέπει επίσης στο πρόθεμα να απεικονίσει όλες τις διευθύνσεις του ATM που είναι εφικτές μέσα στην όμοια ομάδα και των κλώνων του. Σε κάθε επίπεδο, τα PGLs είναι αρμόδια για την ανταλλαγή PTSPs με τους όμοιους κόμβους τους στην ομάδα γονέων προκειμένου να ανακοινωθούν οι πληροφορίες και οι ιδιότητες reachability της ομάδας κλώνων. Όπως και τις ιδιότητες κόμβων (που περιλαμβάνουν την ποιότητα των παραμέτρων υπηρεσιών όπως το διαθέσιμο ποσοστό κυττάρων, την καθυστέρηση κυττάρων, την παραλλαγή καθυστέρησης κυττάρων), ο χάρτης περιλαμβάνει τις ιδιότητες *συνδέσεων*, (link attributes) οι οποίες είναι απαραίτητες για την επιλογή των διαδρομών. Τα PGLs διανέμουν επίσης τους συνοπτικούς χάρτες από την ομάδα γονέων, και τις υψηλότερες ομάδες, κάτω στους κόμβους στην ομάδα παιδιών. Αυτό επιτρέπει στους κόμβους στο χαμηλότερο φυσικό επίπεδο ιεραρχίας να αποκτήσουν πλήρη, περιληπτική γνώση του δικτύου.

Όταν τα switches στο χαμηλότερο επίπεδο λαμβάνουν αιτήματα σηματοδότησης, από τα τερματικά συστήματα, μέσω του UNI, χρησιμοποιούν αυτές τις πληροφορίες δικτύων για να παραγάγουν Designated Transit Lists, τους *οριζόμενους καταλόγους διέλευσης*, ή DTLs, οι οποίες είναι τροποποιημένες διαδρομές πηγής, του τερματικού συστήματος, στον επιθυμητό προορισμό του. Αναφερόμαστε στο DTL ως τροποποιημένη διαδρομή πηγής επειδή, λόγω των συνοψισμένων πληροφοριών που χρησιμοποιούνται για να το προετοιμάσουν, δεν μπορεί να περιέχει τις αναλυτικές πληροφορίες για άλλες όμοιες ομάδες ότι μια σύνδεση ίσως να πρέπει να εξιχνιαστεί. Το DTL επιτρέπει σε μια σύνδεση να φθάσει στο switch εισόδων μιας όμοιας ομάδας. Το Switch εισόδων κατασκευάζει ένα νέο DTL που μεταφέρει την όμοια ομάδα στο Switch εξόδου, κατόπιν προωθεί αυτό το DTL επάνω σε έναν σωρό. Επάνω στην έξοδο μιας όμοιας ομάδας, η διέλευση DTL εκτοξεύεται από το σωρό.

Τα DTLs κατασκευάζονται χρησιμοποιώντας έναν πιο σύντομο αλγόριθμο πορειών, σε όλες τις πιθανές πορείες. Για να κάνει αυτό ο κόμβος απαιτεί τα σταθμά πορειών, έτσι ώστε να παρασχεθεί μια εξασφαλισμένη ποιότητα της υπηρεσίας απαιτεί όχι τους παράγοντες απλά στάθμισης αλλά γνώση των διαθέσιμων πόρων σε κάθε κόμβο στον κατάλογο διέλευσης. Κάθε ένας από αυτούς τους διακόπτες έχει τη λειτουργία *ελέγχου αποδοχής σύνδεσής* του, ή CAC. Το CAC είναι μια τοπική λειτουργία διακοπών, μπορεί να εξαρτάται από την τοπική πολιτική, καθώς επίσης και από τις φυσικές παραμέτρους του switch, και δεν είναι γενικά αναγνωρίσιμο έξω από το switch. Εντούτοις, δεδομένου ότι το CAC δέχεται ή απορρίπτει τις προσπάθειες σύνδεσης διευκρινισμένων QoS, τα switch που παράγουν DTLs πρέπει να έχουν μερικά μέσα εκτίμησης του αποτελέσματος σε όλα τα switch κατά τη διαδρομή.

Αυτό γίνεται μέσω του αλγόριθμου του P-NNI γνωστός ως *γενικός έλεγχος αποδοχής σύνδεσης*, ή GCAC. Το GCAC επιτρέπει σε οποιοδήποτε κόμβο να υπολογίσει μια λογική εκτίμηση της συμπεριφοράς CAC ενός άλλου κόμβου, βασισμένη στα ανακοινωθέντα Metrics του κόμβου και του επιθυμητού QoS. Εντούτοις, δεδομένου ότι αυτό είναι μόνο μια εκτίμηση, και μπορεί να ακυρωθεί καθώς οι όροι των δικτύων αλλάζουν γρηγορότερα από ότι τα PTSPs δημοσιεύονται, κάποια μέσα είναι απαραίτητα για να σώσουν τις συνδέσεις που έχουν απορριφθεί σε έναν κόμβο μεταξύ της πηγής και του προορισμού.

Τα βασικά μέσα με τα οποία οι συνδέσεις ολοκληρώνονται στην φάση της απόρριψης CAC είναι *crankback*. Το Crankback λειτουργεί από τον κόμβο απόρριψης καθαρίζοντας την κλήση call back τόσο όσο ο κόμβος ή το switch να προετοίμασαν το τρέχον DTL. Υπενθυμίζοντας ότι η δρομολόγηση περιλαμβάνει γενικά έναν σωρό της διέλευσης DTLs, αυτό είναι απίθανο να είναι πίσω στο δημιουργημένο κόμβο. Λαμβάνοντας υπόψη τις λάθος πληροφορίες, ο κατασκευαστής DTL πρέπει να είναι σε θέση να υπολογίσει μια άλλη διαδρομή που να αποφεύγει το σημείο του προβλήματος. Σε περίπτωση που καμία εναλλακτική διαδρομή δεν είναι διαθέσιμη, η μια από δύο ενέργειες ακολουθεί.

- Είτε η κλήση στρέφεται ακόμα ένα στάδιο πίσω, ή η fallback επιφύλαξη τίθεται σε λειτουργία. Η fallback είναι ένας μηχανισμός με τον οποίο οι ιδιαίτερες ιδιότητες της ζητούμενης κλήσης χαλαρώνουν, και πιο σύντομες διαδρομές υπολογίζονται εκ νέου προκειμένου να καθοριστεί εάν η κλήση μπορεί να ολοκληρωθεί με το νέο QoS. Το φόρουμ του ATM έχει επιλέξει την Q.2931 σηματοδοσία για χρήση μέσα στο P-NNI, αν και πραγματικά αυτό είναι ένα σύστημα σηματοδοσίας UNI. Υπό αυτήν τη μορφή, απαίτησε διάφορους εμπλουτισμούς, παραδείγματος χάριν, ένα UNI έχει μια «πλευρά χρηστών» και μια «πλευρά δικτύων» κάθε περίπτωσης, ενώ ένα NNI είναι συμμετρικό. Απαιτούνται επίσης τα πρόσθετα στοιχεία πληροφοριών (additional information elements), ο designated transit list 'οριζόμενος κατάλογος διέλευσης' που είναι ο πιο εμφανής μεταξύ τους.

Αυτή είναι μια πολύ σύντομη άποψη μιας σύνθετου, end-to-end δρομολόγησης και πρωτοκόλλου σηματοδοσίας

Όταν έγινε σαφές ότι ολοκληρώνοντας τη φάση 1 η προδιαγραφή επρόκειτο να πάρει πολύ περισσότερο από το αναμενόμενο, το ATM forum δημοσίευσε ένα προσωρινό, UNI - βασισμένο σύστημα σημάτων γνωστό ως P-NNI φάση 0, ή "Interim Interswitch Signaling Protocol" (IISP). Το IISP χρησιμοποιεί UNI 3.0/3.1 σηματοδοσία (με switches σε κάθε πλευρά της σύνδεσης, υποθέτοντας τυχαία τους ρόλους του χρήστη ή του δικτύου) και καθοδηγεί τα σηματοδοτούμενα αιτήματα με hop by hop βάση χρησιμοποιώντας τους πίνακες προθέματος διευθύνσεων μέσα στα switches. Οι πίνακες διευθύνσεων αποτελούνται από καταχωρήσεις της μορφής:

(ATM Address, Address Length, Interface Index)

όπου η **διεύθυνση του ATM** είναι: τα 20 byte της UNI 3,1 ATM διεύθυνσης, το **μήκος διευθύνσεων** δείχνει το μέγιστο αριθμό των bits που εξετάζονται στην αντιστοιχία προθέματος, και το **δείκτη διεπαφών**, ένας δείκτης σε ένα ιδιαίτερο

φυσικό Interface στον κόμβο. Αυτοί οι πίνακες περιέχουν τις στατικές δρομολογήσεις και αναμένονται να διαμορφωθούν στατικά, ή τουλάχιστον με μέσα πέρα από το πεδίο της προδιαγραφής IISP. Το IISP δεν προϋποθέτει καμία ανταλλαγή της δρομολόγησης των πληροφοριών μεταξύ των συστημάτων μεταγωγής. Σαφώς, το IISP δεν υποστηρίζει τη δρομολόγηση QoS ή crankback. Το CAC στους (switches) διακόπτες είναι προαιρετικό. Είναι ένα πολύ διαφορετικό πρωτόκολλο από το PNNI φάσης 1, και μη διαλειτουργικό. Στο σχήμα 18 βλέπουμε την ιεραρχία δικτύου του πρωτοκόλλου P-NNI.

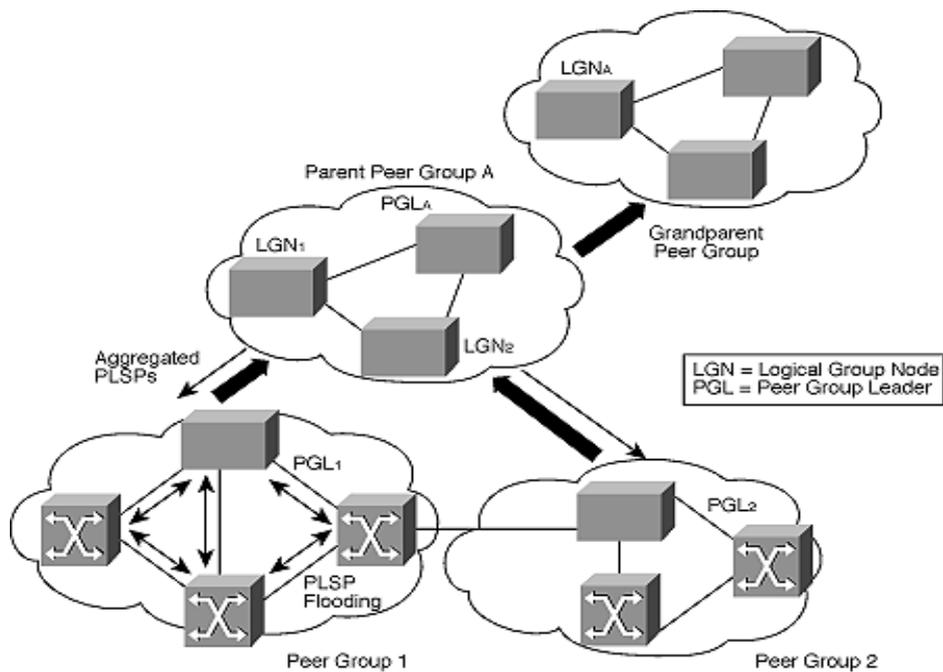


Figure 18: The P-NNI Network Hierarchy Model

5.6.2. INTEGRATED - PNNI (I - PNNI)

Υπάρχουν βεβαίως μερικά μεγάλα ATM σύννεφα' (ο καθορισμός 'μεγάλο' θα αφεθεί σκόπιμα ασαφής!). Όσο και μεγάλα τα ATM δίκτυα γίνουν, όλο και περισσότερο θα απαιτηθεί να μιλούν οι δρομολογητές ο ένας στον άλλο σε αυτά τα σύννεφα. Εφ' όσον οι δρομολογητές IP δεν έχουν καμία γνώση της εσωτερικής τοπολογίας του σύννεφου του ATM, η δρομολόγηση είναι στην καλύτερη περίπτωση ανεπαρκής και ενδεχομένως ανεξέλεγκτη. Τουλάχιστον δύο προσεγγίσεις βασισμένες στο P-NNI έχουν αναπτυχθεί για να επιλύσουν το δίλημμα. Η P-NNI *αυξημένη δρομολόγηση* (PAR augmented routing) είναι η λιγότερο φιλόδοξη των δύο. Η PAR απαιτεί ότι οι ATM διασυνδεδεμένοι δρομολογητές τρέχουν μια φάση του P-NNI μαζί με το κανονικό IP πρωτόκολλο δρομολόγησης τους (OSPF, RIP). Τα ATM Switches στο

σύννεφο τρέχουν το P-NNI φάσης 1. Το P-NNI που τρέχει στους δρομολογητές ακρών(edge routers) τους επιτρέπει να δουν την τοπολογία του σύννεφου του ATM. Τα switches στο σύννεφο γνωρίζουν επίσης τους δρομολογητές ακρών, και μπορούν να εγκαταστήσουν SVCs που δημιουργούνται και ολοκληρώνονται σε έναν δρομολογητή. Τέτοιοι δρομολογητές ονομάζονται, Restricted transit Nodes, που υποδηλώνει ότι δεν μπορούν ποτέ να είναι ένας ενδιάμεσος κόμβος σε ένα SVC. Το P-NNI έχει σχεδιαστεί με τη δυνατότητα να μεταφερθούν οι πληροφορίες που δεν καταλαβαίνει, μεταξύ των συγκεκριμένων κόμβων, όπως και αυτοί οι δρομολογητές ακρών, αυτό γίνεται χρησιμοποιώντας TLV κωδικοποίηση για τις IP συγκεκριμένες πληροφορίες. Το PAR επιτρέπει στους δρομολογητές να μάθει ο ένας για τον άλλον πέρα από ένα σύννεφο του ATM χωρίς, είτε, τη στατική διαμόρφωση PVCs είτε τη χρήση ενός IP over ATM πρωτόκολλου, όπως το LANE, το Classical IP, είτε NHRP, χρησιμοποιώντας τα υπάρχοντα IP πρωτόκολλα δρομολόγησης.

Το ενοποιημένο P-NNI (I-PNNI) είναι η πιο φιλόδοξη εναλλακτική λύση του PAR. Το I-PNNI είναι μια επέκταση του P-NNI για να μεταφέρει internetwork πληροφορίες δρομολόγησης στρώματος, συνεπώς επιτρέποντας στις πληροφορίες δρομολόγησης να ανταλλαχθούν μεταξύ του ATM plane ελέγχου και του στρώματος 3(Layer 3) πρωτοκόλλου όπως το IP. Αυτό οδηγεί σε μια σχεδόν πλήρη ολοκλήρωση των ATM και μη ATM δικτύων. Σε αυτήν την προσέγγιση, τα ATM switches και οι δρομολογητές IP φαίνονται ως κόμβοι στο γενικό χάρτη τοπολογίας, όπως κάνουν στο PAR. Η παράδοση και οι Metric πληροφορίες μπορούν να υπολογιστούν βασισμένες σε αυτήν την συνδυασμένη τοπολογία και μπορούν έτσι να χρησιμοποιηθούν για να βρουν τις καλύτερες διαδρομές. Χρησιμοποιώντας το I-PNNI στην IP δρομολόγηση μπορεί να κάνει το I-PNNI το πρώτο πλήρως QoS-ενημερωμένο πρωτόκολλο δρομολόγησης σχετικά με το διαδίκτυο. Επιτρέπει στο δρομολογητή να επιλέξει τις ειδικές πορείες για τα ευαίσθητα πακέτα QoS. Το σχήμα 19 επεξηγεί την αρχιτεκτονική υψηλού επιπέδου του I-PNNI.

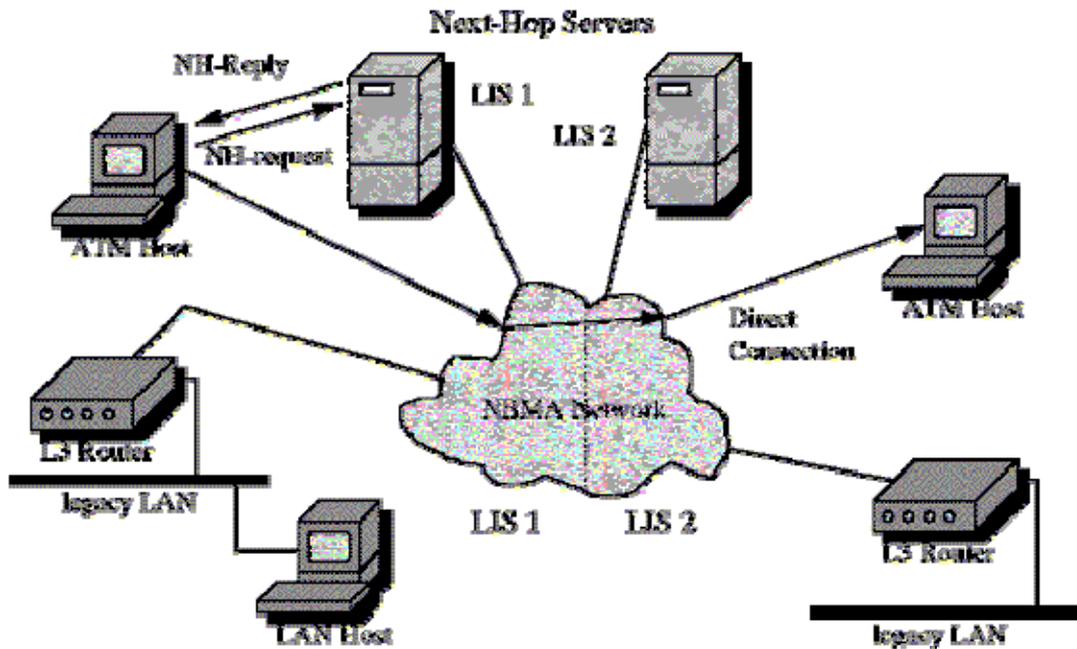


Figure 19. I-PNNI Architecture

Εντούτοις, η επέκταση του I-PNNI πέρα από οποιαδήποτε ουσιαστική μερίδα του Διαδικτύου είναι απίθανη στο εγγύς μέλλον. Απαιτεί σημαντικές αλλαγές στην οργάνωση. Και οι δρομολογητές και τα switches πρέπει να υιοθετήσουν το P-NNI. Και τα switch και οι δρομολογητές αναγγέλλουν την τοπική τοπολογία μέσω PTSPs, αν και το I-PNNI εισάγει ένα νέο P-NNI Topology State Element (PTSE) το οποίο χρησιμοποιεί την TLV κωδικοποίηση για να μεταφέρει την IP πληροφορία διευθυνσιοδότησης ξεχωριστά από την ATM πληροφορία διευθυνσιοδότησης. Βαθύτερα, τα τυποποιημένα πρωτόκολλα δρομολόγησης IP αντικαθίστανται από την I-PNNI δρομολόγηση αν και η I-PNNI δρομολόγηση δεν αλλάζει τον τρόπο με τον οποίο οι δρομολογητές IP αναγγέλλουν το reachability των διευθύνσεων IP από τον τρόπο με τον οποίο γίνεται τώρα κάτω από το OSPF και το IS-IS. Αυτό είναι μόνο πιθανό να αλλάξει εάν το IPv6 γίνει αποδεκτό, δεδομένου ότι όπως θυμόμαστε το nimrod IPv6's που δρομολογεί και που διευθυνσιοδοτεί, είναι πολύ κοντά στο πνεύμα του P-NNI.

Το I-PNNI μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί σε μια περιοχή δρομολόγησης, σε ένα ιδιωτικό δίκτυο που περιέχει και το ATM και τα δίκτυα κληρονομιών. Το πρωτόκολλο BGP(border gateway protocol) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ανταλλάξει τις πληροφορίες δρομολόγησης με άλλες περιοχές δρομολόγησης. Αυτό είναι το πλέον πιθανό σενάριο για την πρόωρη επέκτασή του.

5.7. MULTIPROTOCOL OVER ATM (MPOA) MODEL.

Παρά το όνομά του, πολύ-πρωτόκολλο πάνω απ' το ATM, είναι μια προσπάθεια ολοκλήρωσης με την ίδια πρόθεση του I-PNNI, μια καθαρή διασύνδεση ATM δικτύων με τα υποδίκτυα κληρονομιών. Το MPOA είναι μια από κοινού ανάπτυξη από το ATM forum και το IETF. Ίσως αυτό εξηγεί γιατί έχει προχωρήσει αργά. Παρά το όνομα, όλη η ανάπτυξη μέχρι σήμερα έχει εστιαστεί στο IP για τον αποκλεισμό άλλων στρώματος δικτύου πρωτόκολλα. Το MPOA έχει διάφορους στόχους:

- Παρέχει end-to-end επιπέδου 3 συνδετικότητα διαμέσω ενός δικτύου ATM, για τους οικοδεσπότες είτε άμεσα συνδεδεμένους με το δίκτυο του ATM είτε έμμεσα μέσω των δρομολογητών σε μη ATM IP υποδίκτυα.
- Επιτρέπει το σχηματισμό των ετερογενών υποδικτύων IP (ή των υποδικτύων βασισμένων σε άλλα πρωτόκολλα στρώματος δικτύου) και πέρα από το ATM και μη δίκτυα του ATM.
- Παρέχει την άμεση συνδετικότητα μεταξύ των ATM εγκατεστημένων συσκευών κάτω από το στρώμα 3.
- Εξασφαλίζει τη διαλειτουργική, διανεμημένη δρομολόγηση σε όλα τα τμήματα δικτύων, τη χρησιμοποίηση και της δρομολόγησης και του γεφύρωματος των πληροφοριών για να εντοπίσει τις συσκευές ακρών στους πλησιέστερους τερματικούς σταθμούς.

Το σχέδιο του MPOA είναι κατά ένα μεγάλο μέρος η δημιουργία πλαισίων κάτω από τα οποία τα υπάρχοντα στοιχεία του ATM και τα στοιχεία σύνδεσης μέσω δικτύων κληρονομιών μπορούν να έρθουν σε επαφή. Τα building-blocks του MPOA έχουν συζητηθεί ανωτέρω:

- LAN Emulation
- Next Hop Resolution Protocol (NHRP)
- UNI 3,1 σηματοδosis (προαιρετικά, encapsulation UNI 4.0) και RFC1483
- IEEE 802.1D που εκτείνεται το πρωτόκολλο δένδρων για την υποστήριξη VLAN

Σε αυτό το πρότυπο, η συμπεριφορά του συστήματος διαμορφώνεται χρησιμοποιώντας τα λογικά συστατικά(logical components) του δικτύου. Υπάρχουν δύο είδη λογικών συστατικών: Κεντρικοί υπολογιστές MPOA (servers), και πελάτες MPOA(clients) . Μια συλλογή των λειτουργιών που παρέχονται από ένα ενιαίο λογικό συστατικό καλείται λειτουργική ομάδα (FG,Functional Group). Ο διαβιβασμός και οι

Λειτουργίες δρομολόγησης διαμορφώνονται τώρα χρησιμοποιώντας τις διαφορετικές λειτουργικές ομάδες και μπορούν να παρασχεθούν από τα διαφορετικά φυσικά κιβώτια. Αυτό επιτρέπει τον καθορισμό των εικονικών δρομολογητών (virtual routers), όπου ο υπολογισμός διαδρομών εκτελείται από μια συλλογή κεντρικών υπολογιστών διαδρομών, οι οποίοι παρουσιάζουν μαζί τη συμπεριφορά ενός δρομολογητή. Ένα βασικό όφελος του MPOA προορίζεται να είναι η ολοκλήρωση ευφυών VLANs (εικονικά LANs).

Οι υπηρεσίες MPOA χτίζονται γύρω από την έννοια των υποομάδων διευθύνσεων Διαδικτύου (IASG, Internet Address Sub Groups). Ένα IASG ορίζεται τυπικά ως μια σειρά διευθύνσεων στρώματος internetwork, που συνοψίζονται στο στρώμα δρομολόγησης internetwork, είναι μάλλον όπως το LIS, δεδομένου ότι καθορίζει το λογικό διάστημα στο οποίο ένα σύστημα MPOA λειτουργεί. Περιλαμβάνει την έννοια του πεδίου της broadcast μετάδοσης. Είναι επίσης ειδικό πρωτόκολλο, έτσι ώστε όταν προσφέρεται υποστήριξη σε άλλο IP επίπεδο internetwork, κάθε τύπος πρωτοκόλλου θα καθορίσει ένα ξεχωριστό IASG. Οι λειτουργικές ομάδες που αποτελούν ένα σύστημα MPOA είναι:

EDFG (Λειτουργική ομάδα τερματικών σταθμών) interworking συνδέσεις μεταξύ των υποδικτύων κληρονομιών και του ATM, αποστολή των λειτουργιών, όχι πρωτόκολλα δρομολόγησης.

AHFG (ATM - εγκατεστημένη λειτουργική ομάδα χρηστών) λειτουργίες του ATM συνδέει τον χρήστη που συμμετέχει στην υπηρεσία MPOA.

ICFG (Λειτουργική ομάδα συντονισμού IASG) λειτουργίες που συντονίζουν τη διανομή ενός ενιαίου IASG πέρα από πολλαπλάσια LANs.

DFFG (Ομάδα λειτουργίας αποστολέων προεπιλογής) λειτουργίες αρμόδιες για την αποστολή της κυκλοφορίας ελλείψει της άμεσης συνδετικότητας του ATM, περιλαμβάνει τη λειτουργία MARSMCS.

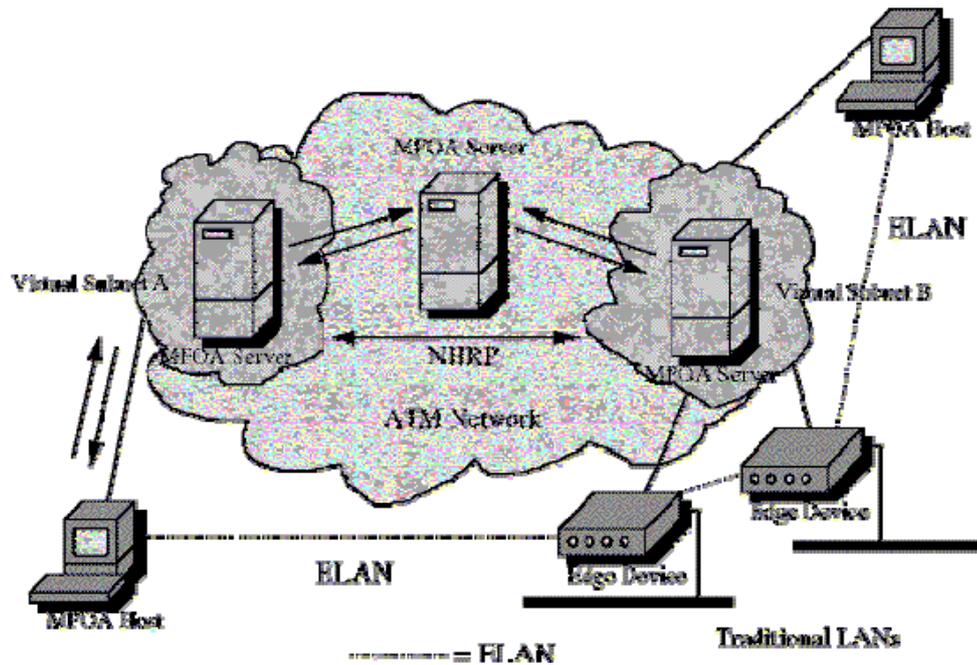
RSFG (Λειτουργική ομάδα κεντρικών υπολογιστών διαδρομών) λειτουργίες που παρέχουν τη σύνδεση μέσω δικτύων σε ένα σύστημα MPOA, περιλαμβάνει τα συμβατά πρωτόκολλα δρομολόγησης και παρέχει ανάλυση διευθύνσεων IASG.

RFFG (Μακρινή λειτουργική ομάδα αποστολέων) λειτουργίες που διαβιβάζουν την κυκλοφορία από ένα IASG σε άλλο, ή μεταξύ IASGs και των ATM πελατών MPOA.

Μέσα στο MPOA, το LANE παρέχει τη λειτουργία γεφυρώματος που επιτρέπει στη συνδετικότητα μέσα σε ένα ενιαίο IASG για να διανεμηθεί στις πολλαπλάσιες συσκευές ακρών (ICFG και EDFG). Οι hosts στην κληρονομιά (Ethernet και Token

Ring) LANs επικοινωνούν με τις λειτουργικές ομάδες RSFG/RFFG σαν να αποτέλεσαν έναν παραδοσιακό δρομολογητή. Το NHRP επιτρέπει την άμεση επικοινωνία μεταξύ των ATM εγκατεστημένων hosts και FGs, ακόμη και πέρα από διαφορετικό IASGs. Αυτό είναι γνωστό ως 'MPOA Target Resolution'. Το NHRP έχει επεκταθεί για να υποστηρίξει τις ετικέτες στα πακέτα μεταφοράς δεδομένων. Οι ετικέτες αντιπροσωπεύονται από 4-bytes πεδίο, μετά από την 8-byte κεφαλίδα LLC/SNAP συμπίκνωσης. Οι ετικέτες προορίζονται να επιτρέψουν στο EDFG να βελτιώσει την επεξεργασία των λαμβανόμενων πακέτων. Τα EDFGs είναι αρμόδια για την ανίχνευση ροής, δηλαδή, ελέγχουν την κυκλοφορία στους προορισμούς MPOA για να καθορίσουν τον αριθμό πακέτων ανά μονάδα χρόνου. Όταν αυτή η στατιστική φθάνει σε κάποιο κατώτατο επίπεδο, το EDFG πρέπει να ρωτήσει το RSFG για τη διεύθυνση του ATM του προορισμού ροής και να ιδρύσει το άμεσο ATM VC, παρά να συνεχιστεί η hop by hop προώθηση. Κατά συνέπεια το MPOA ενσωματώνει ένα βασικό στοιχείο MPLS, ή ειδικότερα τη μετατροπή IP.

Η πολυπλοκότητα του MPOA βρίσκεται στις λεπτομέρειες ολοκλήρωσης. Οι βασικές δομικές μονάδες, όπως έχουμε σημειώσει, έχουν περιγραφεί ήδη σε αυτήν την έκθεση. Οι τερματικοί σταθμοί είναι ένας τομέας σημαντικής προσπάθειας και για τις ομάδες και για τους προμηθευτές προτύπων. Τα EDFGs είναι από πολλές απόψεις λογικά ισοδύναμα με το αεροπλάνο ελέγχου των μεταβάσεων IP, δεδομένου ότι διατηρούν τους πίνακες ροής και είναι αρμόδια για τη σηματοδότηση για να οργανώσουν τις ροές. Η σύνθετη ονοματολογία του ATM forum κρύβει μια λιγότερο περίπλοκη αρχιτεκτονική MPOA, που παρουσιάζεται στο σχήμα 20.



Σχήμα 20. MPOA Architecture

5.8. Multiprotocol - label switching *MPLS*

Το MPLS συνδυάζει τις δυνάμεις της δρομολόγησης στρώματος-3 και της μετατροφής στρώματος-2, για να χτίσει τα υψηλής απόδοσης δίκτυα IP. Η στρώματος 2 μετατροπή τοποθετείται στον πυρήνα του δικτύου, όπου οι υψηλές συγκεντρώσεις της κυκλοφορίας πακέτων σημαίνουν ότι η υψηλής απόδοσης αποστολή πακέτων απαιτείται. Χρησιμοποιώντας MPLS, τα πακέτα IP χαρακτηρίζονται καθώς εισάγονται στο δίκτυο IP και διαβιβάζονται από κόμβο σε κόμβο βασισμένα στην ετικέτα. Η μετατροπή ετικετών επιτρέπει τον διαβιβαζμό πακέτων στο στρώμα 2 και εξαλείφει την ανάγκη διαβιβασμού για στρώματος 3 προώθηση. Αυτό σημαίνει ότι το η διαδικασία προώθησης πακέτων όχι μόνο απλοποιείται, αλλά και ωθείται από το λογισμικό στο υλικό. Το αποτέλεσμα είναι μεγάλη ταχύτητα και υψηλής απόδοσης αποστολή πακέτων IP. Τα switch του ATM είναι ιδανικά για την εφαρμογή της μετατροπής ετικετών επειδή η μετατροπή ετικετών χρησιμοποιεί μηχανισμούς που υπάρχουν ήδη στο υλικό μετατροπής του ATM, που αντικαθιστά τα VPI/VCI ανταλλάσσοντας με την ανταλλαγή ετικετών.

Η πολύ μετατροπή ετικετών πρωτοκόλλου είναι η μάλλον μη κατατοπιστική, επιτροπή για μια κατηγορία σχετιζόμενων τεχνολογιών. Ένα κοινό χαρακτηριστικό είναι ότι το δίκτυο MPLS είναι ένα δίκτυο διέλευσης (transit network). Τα τερματικά

συστήματα (end systems) δεν συνδέονται άμεσα με τους MPLS δρομολογητές ή Switch. Κατά κάποιο τρόπο, το δίκτυο MPLS μετακινεί τα πακέτα δεδομένων μεταξύ των σημείων εισόδου και εξόδου, όπου συμβατοί δρομολογητές που χρησιμοποιούν τις Legacy τεχνικές του τοπικού LAN τα παραδίδουν στα τερματικά συστήματα. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με τέτοιες εγγενείς ATM προσεγγίσεις όπως την LANE και την Classical IP, όπου το ATM χρησιμοποιείται μέσα το ίδιο στο τοπικό LAN τερματικών συστημάτων. Δύο από τις τεχνολογίες MPLS, μετατροπή ετικετών Cisco και IP Ipsilon switch, προκάλεσαν αρχικά τις ανεξάρτητες προσπάθειες τυποποίησης. Εντούτοις, μια ενιαία ομάδα εργασίας διαμορφώθηκε για να διαπραγματεύεται με όλους τους σε μία προσπάθεια να εξασφαλιστεί διαλειτουργικότητα. Οι σημαντικότερες τεχνολογίες (και οι αρχικοί βιομηχανικοί υποστηρικτές τους) είναι:

- Μετατροπή IP (Ipsilon)
- CSR - μεταστρεφόμενος κύτταρο δρομολογητής (Toshiba)
- Μετατροπή ετικετών (συστήματα Cisco)
- ARIS - συνολική διαδρομή - βασισμένη μετατροπή IP (IBM)
- SITA - μετατροπή IP μέσω του ATM (Telecom Finland)

Αυτές οι προσεγγίσεις έχουν σημαντικές ομοιότητες, πρώτιστα την προσπάθεια να επιτευχθούν τα ουσιαστικά κέρδη στην ταχύτητα διαβιβασμού πακέτων με το να χρησιμοποιήσουν σύντομες, Layer-2 πανομοιότυπες ετικέτες. Εντούτοις, η μετατροπές ετικετών προσπαθούν να παραμείνουν ανεξάρτητες από οποιοδήποτε χαμηλότερο στρώμα εφαρμογής υλικού, Switching IP, CSR και SITA όλοι συνδυάζουν ρητά το ATM Layer 2 με μια IP Layer-3 ικανότητα δρομολόγησης και προώθησης. Μια σύγκριση αυτών των προσεγγίσεων, από την άποψη της ομάδας CSR, έχει παρουσιαστεί σαν ένα σχέδιο IETF. Η ομάδα εργασίας IETF MPLS έχει εκδώσει πρόσφατα ένα συνδυασμένο έγγραφο, απαριθμώντας και αναλύοντας τους στόχους και τις απαιτήσεις του Multi Protocol Label Switching. Ο αρχικός κύριος στόχος είναι να παρασχεθεί ένα σύνολο πυρήνων μηχανισμών που θα επιτρέψει την προώθηση της ροής δεδομένων μέσω της χρήσης σύντομων, σταθερού μήκους ετικετών, σχετιζόμενες με τα συγκεκριμένα ρεύματα, οι μηχανισμοί πρέπει να παρέχουν το χαμηλότερο κόστος, υψηλότερης απόδοσης διαβιβασμό πακέτων από τις παραδοσιακές τεχνικές, καθώς θα λειτουργούν πέρα από το ευρύτερο φάσμα των τεχνολογιών συνδέσεων δεδομένων και παραμένοντας συμβατοί με οποιοδήποτε τυποποιημένο πρωτόκολλο δρομολόγησης. Το MPLS πρέπει να λειτουργήσει και με

το unicast και με το multicast ρεύμα ροής, και τα ζητήματα εξελισιμότητας είναι μεγάλου ενδιαφέροντος.

Οι τεχνικές MPLS γενικά είναι ανεπαρκείς στη δυνατότητά τους να χειριστούν την ποιότητα των εγγυήσεων υπηρεσιών(QoS), της κατάληψης πόρων, κλπ., τουλάχιστον στις πρόωρες προδιαγραφές και τις εφαρμογές. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα όταν η ροή παραδίνεται μακριά στα πραγματικά Layer 2 Switch, όπως συμβαίνει στην περίπτωση της μετατροπής IP, CSR και SITA. Ισχύει επίσης για τις μερίδες του ATM των Tag Switched και των ARIS δικτύων. Σημειώνουμε ότι η μετατροπή IP έχει καθοριστεί μόνο για το IP, όπως το όνομα υπονοεί, με άλλα πρωτόκολλα όπως το IPX που μεταφέρονται μόνο με Tunneling. Οι άλλες τεχνολογίες προσπαθούν να παραμείνουν ανεξάρτητες .

5.8.1.Μετατροπή ετικετών - Tag Switching

Με την αρχιτεκτονική μετατροπής ετικετών, η Cisco, προσπαθεί να φθάσει σε μια γενική προσέγγιση σε μια από τις παραδοσιακές δυσχέρειες των δρομολογητών IP, η πιο μακροχρόνια ανάμιξη αντιστοιχιών της διεύθυνσης προορισμού ενός πακέτου. Αυτή η αρχιτεκτονική προορίζεται να ισχύσει σε όλα τα switchpoints σε ένα ετερογενές δίκτυο, είτε με επίπεδου 3 δρομολογητές είτε επίπεδου 2 switches. Η Cisco και η IBM συνέβαλαν στην ίδρυση της ομάδας εργασίας IETF MPLS για να αναπτύξουν ένα σύνολο ανοικτών προτύπων για αυτήν την τεχνολογία.

Καθώς ένα ανώτερου πρωτοκόλλου πακέτο εισάγεται σε σύννεφο μετατροπής ετικέτας, του δίνεται μια ετικέτα, μια μοναδική ετικέτα που λειτουργεί ως δείκτης σε μια βάση πληροφοριών ετικετών (TIB) που κατοικεί σε κάθε, ετικέτας ικανό, δρομολογητή εισόδων μετατροπής. Η ετικέτα λειτουργεί σαν μια ATM κεφαλίδα VPI/VCI. Είναι δυνατό για έναν ειδικά σχεδιασμένο, δρομολογητή, να εφαρμόσει μια γρήγορη hardware based, L2 ικανότητα (switching) μετατροπής για εκείνα τα πακέτα που φέρνουν αυτές τις ετικέτες. Μια βελτίωση λογισμικού στο λειτουργικό σύστημα ενός συμβατού δρομολογητή, παρέχει μερικά από τα οφέλη, της γρηγορότερης αναζήτησης (lookup), και χωρίς την ενισχυμένη μετατροπή υλικού. Το σύστημα σχεδιάζεται για να επιτρέψει τη χρήση των ετικετών στη μερίδα του ATM των ετερογενών δικτύων, πράγματι, για τα ATM switches η ετικέτα είναι πιθανό να χαρτογραφηθεί άμεσα στους τομείς VPI/VCI(cell fields) κυττάρων. Για τους συμβατικούς δρομολογητές, η ετικέτα ενσωματώνεται ως πρόσθετο στοιχείο

πρωτοκόλλου, είτε μεταξύ του δικτύου και των στρωμάτων μεταφορών, είτε μέσα στην επιγραφή στρώματος δικτύων (παραδείγματος χάριν, ο τομέας ετικετών ροής σε IPv6). Η TIB συσχετίζει κάθε είσοδο ετικετών με μια νέα εξερχόμενη ετικέτα, καθώς επίσης και τις εξερχόμενες σύνδεσης και link-level πληροφορίες. Οι ετικέτες ανταλλάσσονται σε κάθε switchpoint, όπως στο εγγενές ATM. Οι πληροφορίες δρομολόγησης κατοικούν σε μια βάση πληροφοριών αποστολής (FIB), η οποία κατασκευάζεται χρησιμοποιώντας τα τυποποιημένα πρωτόκολλα δρομολόγησης (π.χ. OSPF, BGP). Οι συσκευές μεταστροφής Ετικέτας ανταλλάσσουν FIB πληροφορίες χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο διανομής ετικετών (TDP).

Τα Tag Switches προωθούν τα πακέτα με την απλή ανταλλαγή ετικέτας, παρά από το την πιο αργή προώθηση στρώματος δικτύων όπως οι τυπικοί δρομολογητές κάνουν τώρα. Οι ετικέτες μπορούν να είναι κάπως πιο σύνθετες από τις ATM VPI: Οι VCI κεφαλίδες, εν τούτοις καλύπτουν έναν σωρό των ετικετών. Αυτό επιτρέπει την απόκρυψη πληροφοριών (και τη σημαντική απλοποίηση) κατά τη δρομολόγηση διαμέσου εσωκλειόμενων περιοχών (enclosed domains). Με τη χρησιμοποίηση των tag switches ως δρομολογητές εισόδου/εξόδου, μόνο τα border switches, χρειάζονται να διατηρήσουν τις εξωτερικές πληροφορίες δρομολόγησης. Τα switches μέσα στο domain πρέπει να ξέρουν μόνο για την εσωτερική δρομολόγηση, δεδομένου ότι τα πακέτα που διαβιβάζονται μέσω του (domain) θα προωθήσουν τις εξωτερικές πληροφορίες δρομολόγησης, που ωθούνται επάνω στο σωρό ετικετών στο switch εισόδου και μακριά στο switch εξόδου .

Αν και η μετατροπή ετικετών στοχεύει να δανείσει το Layer 2 ανταλλαγής στους δρομολογητές IP, οι υπεύθυνοι ανάπτυξης έχουν επιτύχει λιγότερο στο να χαρτογραφήσουν αυτήν την τεχνολογία άμεσα επάνω στα switches του ATM. Αυτό πρέπει να θεωρηθεί ως απόλυτη απαίτηση, δεδομένου ότι η πρόθεση στην έναρξη, ήταν όχι μόνο να κερδηθεί η ταχύτητα αποστολής στους δρομολογητές, αλλά να καταστεί διαφανές ένα ετερογενές δίκτυο από δρομολογητές και switches. Υπάρχουν δύο περιοχές στις οποίες η λειτουργία των κανονικών switches του ATM δεν ακολουθεί τις απαιτήσεις της μετατροπής ετικετών: συγχώνευση ροής και decrementation TTL. Η μετατροπή ετικετών θεωρείται ως βασισμένη στον προορισμό. Οι πολλαπλάσιες ροές που συγκλίνουν σε έναν ενιαίο προορισμό μπορούν να συγχωνευθούν σε ένα ενιαίο ρεύμα στα διάφορα σημεία συγχώνευσης κατά μήκος ενός Multipoint to point δέντρου. Τα κανονικά switches του ATM δεν είναι ικανά για VC συγχώνευση, εντούτοις, από την έλλειψη των πληροφοριών

αποδιαύλωσης μέσα στα κελιά, δεν είναι δυνατό να χωριστούν τα κελιά από διαφορετικά πλαίσια ή τα πακέτα εάν συγχωνευτούν σε ένα ενιαίο εικονικό κύκλωμα. Η μετατροπή ετικετών εξαρτάται από τη δυνατότητα ενός κόμβου να φτάσει N άλλους κόμβους μέσω $0^{(N)}$ μεταστρεφόμενων πορειών, όπως συμβαίνει για τους δρομολογητές IP.

Το decrementation TTL είναι η κανονική μέθοδος που χρησιμοποιείται στους δρομολογητές για να περιοριστεί η ζημία λόγω της δρομολόγησης των βρόχων, αλλά δεν είναι συμβατό στους κανονικούς ATM switches. Οι εγγενείς διαδικασίες δρομολόγησης του ATM εξαρτώνται από την παρεμπόδιση των βρόχων (παράγραφος 5.7) ενώ η δρομολόγηση IP δέχεται τους παροδικούς βρόχους. Όταν οι Tag-Switch δρομολογητές ενεργούν ως δρομολογητές άκρων για ένα σύννεφο ATM Switches, μπορούν να χειριστούν αυτό το πρόβλημα με το να μειώσουν τον τομέα TTL στο επίπεδο IP από τον αριθμό των hops κατά μήκος του σύννεφου, ωθώντας την εξωτερική ετικέτα δρομολόγησης, σε έναν σωρό ετικετών, επίσης στο επίπεδο IP, έπειτα συνδέοντας την εσωτερική ετικέτα δρομολόγησης VPI/VCI πριν ελευθερώσει το πλαίσιο στο σύννεφο του ATM. Εάν υπάρχει μια ανάγκη να αποτραπεί ο σχηματισμός βρόχων σε ένα δίκτυο MPLS, εάν είναι ικανοποιητικό να ανιχνευθούν και να επισκευαστούν οι βρόχοι γρήγορα, ή εάν η δυνατότητα των κανονικών πρωτοκόλλων δρομολόγησης IP να ανιχνευθούν, τελικά οι βρόχοι μπορεί να αυξηθούν από τις τεχνικές που ελαχιστοποιούν τη ζημία στη ρυθμοαπόδοση δικτύων και τη γενική απόδοση, αποτελεί αντικείμενο διενέξεων στην ομάδα εργασίας MPLS. Η Multicast δρομολόγηση υποστηρίζεται από τη δυνατότητα να συνδεθούν οι ετικέτες με τα multicast δέντρα. Το ενημερωτικό σχέδιο υποδείχνει ότι η μετατροπή ετικετών μπορεί να υποστηρίξει μια διαφορετική λειτουργία δρομολόγησης. Μια ετικέτα μπορεί να σχετίζεται με μια ομάδα διαδρομών, που λειτουργούν σαν μια εικονική πορεία του ATM(virtual path). Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί στην δρομολόγηση προορισμού, (αποστολή βασισμένη στη διεύθυνση προορισμού στο πακέτο καθώς επίσης και τις πληροφορίες FIB), με τον τρόπο των υπαρχόντων δρομολογητών IP. Δυστυχώς, το ενημερωτικό σχέδιο είναι ανεπαρκές λεπτομερώς ως προς τον τρόπο με τον οποίο αυτές οι διαφορετικές λειτουργίες θα ολοκληρωθούν ακριβώς. Παραδείγματος χάριν, υποστηρίζεται ότι η Tag Switching σε ένα ATM Switch, μπορεί να το απαιτήσει για να διατηρήσει διάφορες ετικέτες που σχετίζονται με μια ενιαία διαδρομή ή μια ομάδα διαδρομών με το ίδιο next-hop, προκειμένου να αποφευχθεί η διαστρωμάτωση των κυττάρων(cells) από τα διαφορετικά πακέτα. Δεν είναι σαφές

κατά πόσο μια ομάδα ετικετών θα επιτρέψει στην ATM, βασισμένη σύνδεση, να προσαρμοστεί σε ένα διαδρομής-βασισμένο ιδανικό. Εντούτοις, αυτή η έλλειψη ακρίβειας είναι πιθανή για ιδιόκτητους λόγους παρά την ένδειξη μιας αποτυχίας του συλλογισμού στο πρωτόκολλο.

Η Cisco υποστηρίζει μια κυρίαρχη θέση στους backbone δρομολογητές καθώς επίσης και στους campus-level δρομολογητές, και τώρα έχει τη γραμμή StrataCom's BPX switches του ATM επίσης. Η επιχείρηση έχει αναγγείλει ότι η αρχιτεκτονική μετατροπής ετικετών(Tag Switching) θα ενσωματωθεί στις επερχόμενες εκδόσεις ios τεχνολογίας, έτσι δεν υπάρχει κανένα ζήτημα της διαμόρφωσης πρωτοκόλλου, αυτό το πρωτόκολλο θα χρησιμοποιηθεί στο Διαδίκτυο.

5.9.Multicast over ATM

Το Multicast είναι ένας τομέας υπό υψηλή ενεργό ανάπτυξη εντός της κοινότητας IP. Ενώ επικαλείται μερικές φορές ως κρίσιμη δοκιμή της καταλληλότητας του ATM ως μέσο για να φέρει το IP, η χρήση του στο Διαδίκτυο συνολικά είναι ακόμα κατά ένα μεγάλο μέρος πειραματική. Καμία καθολική λύση δεν υπάρχει ακόμα. Υπάρχουν δύο πολύ διαφορετικά καθεστώτα στα οποία τα διαφορετικά σύνολα(sets) πρωτοκόλλου αναπτύσσονται:

Πυκνός τρόπος και αραιός τρόπος. Η αρχιτεκτονική αραιή τρόπου και τα πρωτόκολλα καθώς επίσης και τα πρωτόκολλα πυκνά τρόπου καθορίζονται στα άρθρα και τα σχέδια Διαδικτύου, όχι ακόμα ως πρότυπα (RFCs).

Το multicast δεδομένου ότι εξελίσσεται στο Διαδίκτυο είναι σκληρό πρόβλημα για το ATM. Ενώ όλοι οι τρέχοντες διακόπτες(switches) του ATM υποστηρίζουν κάποια μορφή point-to-multipoint προώθηση πακέτων, όπως όλες τις συνδέσεις του ATM ενώ αυτό είναι πραγματικά ομοιοκατευθυνόμενο. Επιπλέον, με τους τυποποιημένους διακόπτες του ATM(standard ATM Switches) είναι αδύνατο να υποστηριχθεί άμεσα point to multipoint λειτουργία, κατά τη χρησιμοποίηση PDUs μεγαλύτερου μεγέθους κελιών (π.χ. AAL5) που οφείλεται στο VC merge πρόβλημα. Δηλαδή, όταν τα PDUs είναι μεγαλύτερα από ένα μονό κελί (single cell), ο οικοδεσπότης προορισμού(destination host) εξαρτάται από τη λήψη όλων των κυττάρων ενός δεδομένου PDU στη σειρά σε ένα δεδομένο εικονικό κύκλωμα. Αυτό επειδή το AAL5 στερείται τις πληροφορίες για την per-cell βάση κυττάρων για αποδιαύλωση διαφορετικού PDUs μέσα σε ένα ενιαίο VC. Κατά συνέπεια προκειμένου να

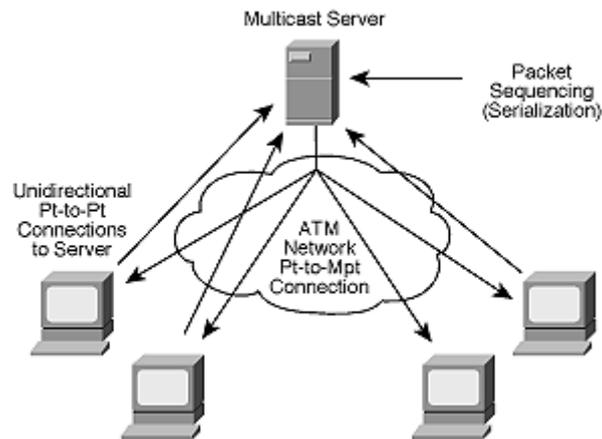
υποστηριχθεί Multipoint to point, ή γενικότερα multipoint to multipoint, το ATM πρέπει γενικά να χρησιμοποιήσει πολλαπλά εικονικά κυκλώματα. Αυτό οδηγεί στην κλιμάκωση των προβλημάτων και την πιθανότητα της εξουθένωσης του VC.

Υπάρχουν αυτή τη στιγμή δύο τρόποι να εφαρμοστεί η πολλαπλής διανομής υπηρεσία για το ATM. Η πολλαπλής διανομής κεντρικοί υπολογιστές του ATM (MC, Multicast Servers) και πλέγματα του ATM VC meshes. Στο προηγούμενο, τα πολλαπλής διανομής πακέτα στέλνονται αρχικά στον κεντρικό υπολογιστή, και έπειτα ανακατανέμονται σε όλους τους δέκτες. Στα τελευταία, κάθε αποστολέας οργανώνει μια point to multipoint VC σε όλους τους δέκτες. Το πρωτόκολλο Multicast Address Resolution Server, απαριθμεί την άποψη του Address Resolution, που προτείνεται για χρήση σε ένα κλασσικό IP πάνω από το περιβάλλον του ATM (Classical IP Over Atm Environment). Μπορεί να υποστηρίξει είτε το VC Mesh πρότυπο είτε το πρότυπο MCS. Υπάρχει τουλάχιστον ένας MARS Server, σε κάθε συστάδα (συνήθως όπως στο LIS) που διατηρεί έναν κατάλογο όλων των τοπικών δεκτών, σε κάθε ομάδα.

Όταν οι κόμβοι συνδέονται ή αφήνουν μια συγκεκριμένη ομάδα πολλαπλής διανομής (Multicast Group), τα μηνύματα MARS_JOIN ή MARS_LEAVE στέλνονται στον MARS κεντρικό υπολογιστή και διαβιβάζονται περαιτέρω σε όλα τα μέλη της ομάδας.

Ο VC μηχανισμός πλέγματος είναι κατάλληλος για τις μικρές ομάδες, και είναι σύμφωνος με τη συστάδα (cluster) ή LIS, αλλά δεν θα σκαρφαλώσει στα μεγάλα σύννεφα Διαδικτύου. Στο VC πλέγματος πρότυπο (mesh model), όταν θέλει ένας οικοδεσπότης να στείλει σε μια ομάδα, οργανώνει το δικό του point to multipoint (P2MP) VC, για κάθε ομάδα που στέλνει.

Το πρότυπο κεντρικών υπολογιστών MultiCast Server (MCS) ωθεί το πρότυπο MARS να χρησιμοποιηθεί στους κεντρικούς υπολογιστές, παρά VC πλέγματα. Τα MC καθιερώνουν ένα P2MP δέντρο με τον εαυτό του σαν πηγή, σε όλα τα εγγραμμένα μέλη της ομάδας LIS. Μπορεί να υπάρχουν περισσότερα από ένα MCS μέσα σε ένα LIS για την ανοχή σφαλμάτων, αλλά μόνο ένα είναι ενεργό οποιαδήποτε στιγμή. Αυτό ελαττώνει τις απαιτήσεις για full-mesh συνδετικότητα μεταξύ όλων των μελών της multicast ομάδας, η οποία μπορεί να είναι μια ανεπαρκής χρήση των πόρων του ATM. Αυτή η ρύθμιση είναι διευκρινισμένη στο σχήμα 20.



Σχήμα 20. MARS MULTICAST SERVER OPERATION

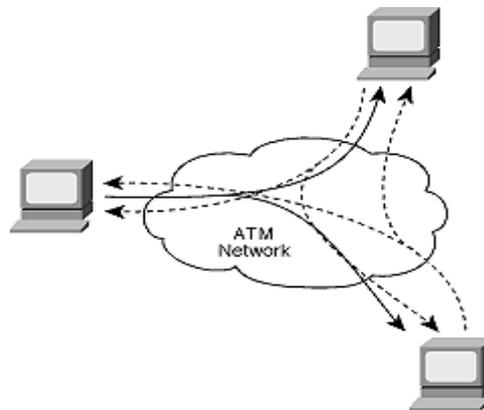


Figure 21: Multicast Through Overlaid Point-to-Multipoint Connections

5.10.Ενοποιημένες IP υπηρεσίες για το ATM

Η έννοια ενοποιημένων IP υπηρεσιών έχει εξεταστεί κατά ένα μεγάλο μέρος μέσω της επιφύλαξης πόρων, και του πρωτοκόλλου των πόρων Reservation (RSVP). Το RSVP ταιριάζει εύλογα με τις φιλοσοφίες σχεδίου του Διαδικτύου, διατηρεί μόνο τις αναζωογονημένες κρατικές πληροφορίες στους ενδιάμεσους κόμβους, ενώ οι περισσότερες από τις σχετικά περιπλοκές state control διατηρούνται στα τερματικά συστήματα. Αυτό επιτρέπει στο RSVP να προσαρμοστεί αυτόματα στις αλλαγές διαδρομών. Εντούτοις, είναι μια ατελής προδιαγραφή, δεν έχει εφαρμοστεί ευρέως, και δεν είναι σαφές εάν και πώς θα λειτουργήσει σε ένα σφαιρικό Διαδίκτυο, για διαχειριστικούς και τεχνικούς λόγους. Όπως προηγουμένως αναφέρεται, υπάρχει ένα ουσιαστικό συναίσθημα ότι το best effort πρότυπο είναι αρκετά καλό εφ' όσον το άπειρο εύρος ζώνης είναι διαθέσιμο. Αλλά φυσικά δεν υπάρχει καμία συμφωνία σ' αυτήν την προσέγγιση, και το RSVP είναι η εναλλακτική λύση.

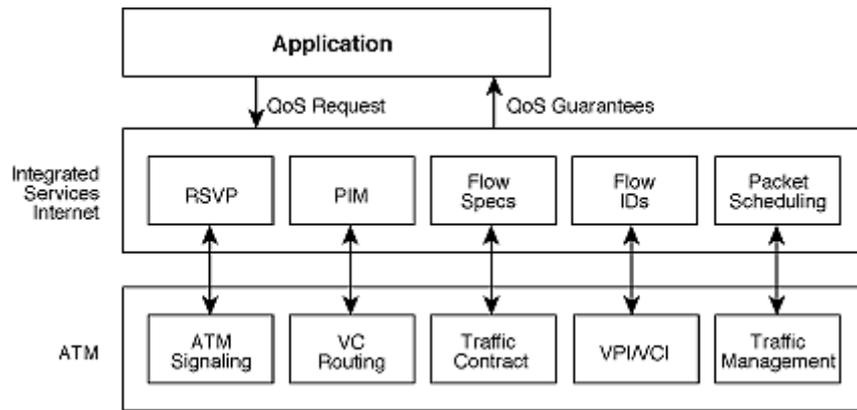


Figure 22: Mapping of the Integrated Services Internet into ATM

Το RSVP δεν είναι ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης. Μπορεί να λειτουργήσει μαζί με οποιαδήποτε πρωτόκολλα δρομολόγησης διαθέσιμα στο διαδίκτυο. Στόχος του είναι να δεχτεί μια πορεία και να διατηρήσει τους πόρους πέρα από εκείνη την πορεία για τη χρήση της οντότητας που ζήτησε εκείνη την κράτηση. Εισάγει επίσης την έννοια των *φιλτραρισμένων επιφυλάξεων*. Είναι δυνατό να κάνει κρατήσεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο από τα πακέτα από συγκεκριμένες διευκρινισμένες πηγές, και ο κατάλογος επιτρεπόμενων πηγών, μπορεί είτε να καθοριστεί είτε να είναι δυναμικά μεταβλητός με το χρόνο. Τέτοια ευελιξία είναι ιδιαίτερα σημαντική για τις πολλαπλής διανομής ομάδες. Ένα σταθερό φίλτρο επιτρέπει στους δρομολογητές να συγχωνεύσουν μεμονωμένα αιτήματα επιφύλαξης, ξέροντας ότι τα χαρακτηριστικά της κράτησης δεν θα αλλάξουν. Αντιθέτως, μια δυναμική δέσμευση φίλτρων δίνει στο δέκτη τη δυνατότητα να αλλάξει τις πηγές κατά διαστήματα, ή να αλλάξει κανάλια.

Το RSVP χαρακτηρίζει το δέκτη, που σημαίνει ότι ο δέκτης είναι αρμόδιος για την ένωση του δέντρου διανομής και την οργάνωση των δεσμεύσεων για όλους τους ενδιαμέσους κόμβους. Η παρούσα απόφαση είναι σύμφωνη με τη καθιέρωση από το δέκτη πολλαπλής διανομής δέντρων διανομής (multicast distribution trees). Η απόφαση ενεργοποιεί επίσης το RSVP για να προσαρμόσει τους ετερογενείς δέκτες στο ίδιο δέντρο διανομής, το οποίο οδηγεί σε ένα εξαιρετικά εύκαμπτο και εξελικτικό σχέδιο.

Στην πρώτη ματιά, εφαρμόζοντας τις ενοποιημένες IP υπηρεσίες πάνω από το ATM φαίνεται σαν μια φυσική αντιστοιχία, δεδομένου ότι η υποστήριξη για QoS, και η connection orientated του ATM, σχεδιάστηκαν με τις εγγυήσεις υπηρεσιών στην πρώτη γραμμή. Εν τούτοις, αυτό φαίνεται να παρουσιάζει δυσεπίλυτα προβλήματα, λαμβάνοντας υπόψη τις διαφορετικές διοικητικές μέριμνες των δύο τεχνολογιών. Και το ελλοχεύον (Underlying) δίκτυο ATM και το Overlay δίκτυο IP, έχουν μηχανισμούς

για τις εγγυήσεις υπηρεσιών. Δεδομένου ότι αυτοί οι μηχανισμοί διαφέρουν, δεν υφίσταται καμία συμφωνία ότι οι Layer 3 οντότητες πρέπει να είναι σε θέση να διαβιβάσουν τις παραμέτρους QoS σε ένα ειδικού τύπου δίκτυο σύνδεσης δεδομένων (Layer 2), υπάρχουν σαφώς πολλά εμπόδια για να υπερνικήσουν.

Σε ένα περιβάλλον IP over ATM, τα ATM SVCs χρησιμοποιούνται συνήθως για να υποστηρίξουν τις εγγυήσεις QoS και το RSVP χρησιμοποιείται ως πρωτόκολλο σηματοδότησης επιπέδων Διαδικτύου για να μεταβιβάσει τις απαιτήσεις του QoS. Διάφορα ζητήματα πρέπει να αντιμετωπιστούν σε ένα τέτοιο περιβάλλον. Το πρώτο ζήτημα είναι πότε και πού να χρησιμοποιηθούν SVCs.

Στο LIS πρότυπο, αυτό δεν είναι πρόβλημα αφού το full-mesh VC σύνδεσης μέσα στο LIS υποτίθεται, και οι χρήστες δεν μιλούν ποτέ έξω από το LIS εκτός, μέσω των δρομολογητών IP. Το RSVP πάνω απ' το ATM θα λειτουργήσει με τον ίδιο τρόπο όπως πάνω από τα δίκτυα κληρονομιών. Στο πρότυπο NHRP, χρησιμοποιούνται SVCs για να εγκαταστήσουν άμεσες short-cut συνδέσεις μεταξύ του αποστολέα και του δέκτη όταν η αποθηκευτική ενότητα δεδομένων είναι υψηλή ή η απαίτηση για QoS είναι αναγκαία. Εντούτοις μόνο unicast short-cuts VCs μπορούν να χρησιμοποιηθούν αφού το RSVP χρειάζεται τις bi-directional συνδέσεις για να διαβιβάσει τα μηνύματα RESV και PATH, ενώ τα ATM point-to-multipoint VCs είναι μονοκατευθυνόμενα. Το RSVP επιτρέπει στους διαφορετικούς δέκτες της ίδιας συνόδου να έχουν διαφορετικές απαιτήσεις QoS, ή ακόμα και να έχουν διαφορετικές κατηγορίες QoS. Το ATM UNI 3.x και 4.0 υποστηρίζει μόνο ομοιογενείς QoS για όλους τους δέκτες. Για να λύσει αυτό το πρόβλημα, ένα VC που έχει τη μέγιστη απαίτηση QoS όλων των δεκτών πρέπει να εγκαθιδρυθεί. Φυσικά, μερικοί πόροι σπαταλούνται, και κάποιοι δέκτες μπορούν να πάρουν πραγματικού χρόνου συνδέσεις, με συνέπεια μια υποβάθμιση του επιθυμητού QoS. Έτσι παρουσία των best effort δεκτών σε μια σύνοδο, μπορεί να είναι επιθυμητό να οργανωθεί το best effort VCs στον κάθε ένα τους.

Το RSVP διευθυνσιοδοτεί επίσης τις QoS επαναδιαπραγματεύσεις και τη δυναμική συμμετοχή, που δεν υποστηρίζονται τώρα από τα δίκτυα ATM. Η QoS επαναδιαπραγμάτευση και οι αλλαγές συμμετοχής, πρέπει να εφαρμοστούν με την οργάνωση μιας νέας σύνδεσης και λύοντας την παλιά.

5.10.1. Πρωτόκολλο πραγματικού χρόνου (RTP)

Η κυκλοφορία Real Time θεωρείται συχνά ως πρωταρχικό παράδειγμα του τύπου υπηρεσίας που απαιτεί την ποιότητα των εγγυήσεων υπηρεσιών να λειτουργήσουν καλά. Το RTP είναι ένα IP βασισμένο πρωτόκολλο μεταφορών κατάλληλο για τη διαβίβαση δεδομένων πραγματικού χρόνου όπως τα τηλεοπτικά ρεύματα. Έχει ως σκοπό πρώτιστα να ικανοποιήσει τις ανάγκες των πολυδιασκέψεων πολυμέσων. Το RTP δεν μπορεί να εγγυηθεί την έγκαιρη παράδοση των πακέτων δεδομένων. Αντίθετα, εξαρτάται από τα χαμηλότερου επιπέδου πρωτόκολλα όπως το RSVP για να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις QoS και παρέχει πραγματικά έναν μηχανισμό για να παραδώσει τις απαιτήσεις QoS, από την εφαρμογή στις θεμελιώδεις(βασικές) υπηρεσίες δικτύων. Ένα βοηθητικό πρωτόκολλο ελέγχου (RTCP) καθορίζεται επίσης για να ελέγξει την παράδοση δεδομένων. Τα πακέτα RTP και RTCP διαβιβάζονται συνήθως χρησιμοποιώντας την υπηρεσία UDP.

Το RTP περιλαμβάνει διάφορα πεδία στις κεφαλίδες των πακέτων του για να διευκρινίσει τις ιδιότητες χρόνου και συγχρονισμού των δεδομένων. Αυτά περιλαμβάνουν: ένα πεδίο τύπου ωφέλιμων φορτίων που δείχνει τη μορφή του ωφέλιμου φορτίου, ένα πεδίο αριθμού ακολουθίας που χρησιμοποιείται για να δείξει τη θέση του πακέτου στο ρεύμα, ένα πεδίο που απεικονίζει τη στιγμή δειγματοληψίας του πρώτου octet στο πακέτο δεδομένων και ένα πεδίο συγχρονισμού πηγής για να προσδιορίσει τις πηγές που πρέπει να συγχρονιστούν κατά τη διάρκεια του Playback. Οι προδιαγραφές έχουν αναπτυχθεί για συμπίεση στο βίντεο MPEG1/MPEG2, JPEG, το βίντεο CellB, τα τηλεοπτικά ρεύματα H.261, και γενικότερα, τα πολυμέσα με διαδοχικά επίπεδα(Layered Multimedia). Δύο διαφορετικά επίπεδα συμπίεσης MPEG έχουν αναπτυχθεί. Το χαμηλότερο επίπεδο είναι κατάλληλο για την εφαρμογή στους υπάρχοντες συνδεδεμένους IP σταθμούς εργασίας, και καθορίζει τη συμπίεση των δεδομένων υπό μορφή MPEG 'Elementary Streams'. Η πληρέστερη προδιαγραφή συμπυκνώνει και τα ρεύματα μεταφορών και προγράμματος MPEG, και παρέχει την πλήρη εννοιολογία του συστήματος MPEG.

Παραδείγματα των μορφών συμπίεσης RTP: Ο τύπος Payload¹⁴ χρησιμοποιείται για τον ήχο MPEG 1/2, ο τύπος Payload 32 χρησιμοποιείται για τα MPEG 1/2 video στοιχειώδη ρεύματα και ο τύπος Payload 33 χρησιμοποιείται για τα MPEG 1/2 ρεύματα μεταφορών. Όταν χρησιμοποιείται RTP για να μεταφέρει MPEG κωδικοποιημένα δεδομένα, μια συγκεκριμένη κεφαλίδα MPEG προστίθεται μετά από την κεφαλίδα RTP.

Το RTCP χρησιμοποιείται για να παρέχει ανατροφοδότηση στην ποιότητα της μετάδοσης δεδομένων, και προαιρετικά για να μεταβιβάσει τις ελάχιστες πληροφορίες ελέγχου. Είναι βασισμένο στην περιοδική μετάδοση των πακέτων ελέγχου. Οι αναφορές αποστολών και δεκτών στέλνονται περιοδικά σε όλους τους συμμετέχοντες περιέχοντας πληροφορίες σχετικές με τον υπολογισμό του ποσοστού απώλειας πακέτων, της καθυστέρησης μετάδοσης πακέτων και της καθυστέρησης jitter. Αυτά παρέχουν σημαντικές πληροφορίες για την τρέχουσα κατάσταση του δικτύου. Μερικές εφαρμογές μπορούν να χρησιμοποιήσουν αυτές τις πληροφορίες για να ρυθμίσουν τους ρυθμούς μετάδοσής τους και για να βοηθήσουν στην αποσυμφόρηση. Το RTP χρησιμοποιείται σε όλα τα εργαλεία σύσκεψης πολυμέσων MBone.

5.10.2.Εξέλιξη σε IPv6

Η έκδοση 6 του πρωτοκόλλου Διαδικτύου (IPv6) είναι το πρωτόκολλο Διαδικτύου επόμενης γενιάς. Το IPv6 σχεδιάστηκε, κατά ένα μεγάλο μέρος, για να λύσει την κρίση χώρου διευθύνσεων στο διαδίκτυο. Είναι ένα εκσυγχρονισμένο πρωτόκολλο που 'καθαρίζει' πολλά απομεινάρια του IPv4 και παρέχει πολλά νέα χαρακτηριστικά γνωρίσματα όπως το autoconfiguration διευθύνσεων (κατωτέρω), η ασφάλεια, η ιεραρχική δρομολόγηση, το μαρκάρισμα ροής, το πεδίο ετικετών ροής [Flow Label Field]. Δεν προορίζεται να χρησιμοποιηθεί στη δρομολόγηση, αν και θεωρείται ως ετικέτα αποστολής στη μετατροπή ετικετών. Μαζί με τις διευθύνσεις πηγής και προορισμού προσδιορίζει τη ροή στην οποία ένα πακέτο ανήκει. Η ετικέτα είναι απαραίτητη δεδομένου ότι ένα πακέτο μπορεί να κρυπτογραφηθεί έτσι ώστε οι πληροφορίες port και πρωτοκόλλου, δεν είναι πλέον διαθέσιμες στους δρομολογητές. Η επέκταση του IPv6 στα δίκτυα ATM παρουσιάζει διάφορες νέες προκλήσεις. Μεταξύ άλλων είναι η χρήση του autoconfiguration διευθύνσεων. Το autoconfiguration διευθύνσεων επιτρέπει σε έναν χρήστη(host) να διαμορφώσει μια ή περισσότερες διευθύνσεις ανά διασύνδεση αυτόματα και χωρίς ρητή διαχείριση συστημάτων. Εντούτοις, το IPv6 άλλαξε πλήρως το πρωτόκολλο ανάλυσης διευθύνσεων(ARP). Στο IPv4, ένα διαφορετικό arp πρωτόκολλο καθορίζεται για κάθε φορέα. Το IPv6, καθορίζει ένα κοινό πρωτόκολλο ανακάλυψης γειτόνων (ND) για όλους τους τύπους μέσων. Αυτό το πρωτόκολλο ND υποθέτει ότι εάν η διεύθυνση σύνδεσης δεδομένων ενός ορισμένου κόμβου δεν είναι διαθέσιμη, μπορεί ακόμα να

επιτευχθεί με την αποστολή ενός μηνύματος πολλαπλής διανομής (Multicast message). Αυτό απαιτεί ότι το πρωτόκολλο συνδέσεων δεδομένων υποστηρίζει εγγενώς το Multicast, το οποίο σημαίνει ότι υπάρχει μια απευθείας χαρτογράφηση μεταξύ της IPv6 multicast διεύθυνσης και της multicast διεύθυνσης συνδέσεων δεδομένων. Δυστυχώς, όπως ξέρουμε, η φυσική multicast υποστήριξη του ATM είναι αδύναμη. Αρχικά προτάθηκε να χρησιμοποιηθεί το πρότυπο του MARS. Οι δρομολογητές θα εκτελούσαν το φραγμό MARS_JOINs για μια κατάλληλη έκταση των πολλαπλής διανομής διευθύνσεων IPv6. Εντούτοις, από την ανάπτυξη του NHRP, το ION έχει τροποποιήσει αυτή τη στρατηγική ενώ το MARS χρησιμοποιείται για το ND. Για τους προορισμούς που δεν θεωρούνται ως γείτονες οι οικοδεσπότες στέλνουν τα πακέτα στο δρομολογητή προεπιλογής τους. Ο δρομολογητής εκδίδει στη συνέχεια μια ερώτηση NHRP για να καθορίσει τη διεύθυνση του ATM προορισμού, και στην εκμάθηση διανέμει μια ανακατεύθυνση στην πηγή IPv6, που προσδιορίζει τον προορισμό ροής σαν ένα παροδικό γείτονα (Transient Neighbor). Αυτό είναι ένα από τα πιο κολλώδη ζητήματα για να φέρει IPv6 στα δίκτυα του ATM. Τα πρότυπα δρομολόγησης είναι πολύ πιο κοντά μεταξύ του IPv6 (nimrod) και του ATM (I-PNNI). Η επέκταση είναι στα δοκιμαστικά συστήματα μόνο, που τρέχουν πάνω από δίοδος IPv4. Οι εναλλακτικές λύσεις στο πρόβλημα 'έκρηξης διευθύνσεων' που είναι το μέγιστο *'raison IPv6's d'etre'* έχουν μειώσει την ανάγκη με την οποία η ανάπτυξη IPv6's θεωρήθηκε έπειτα. Πρώτιστος μεταξύ αυτών είναι η δρομολόγηση περιοχών (CIDR, Classes Inter-Domain Routing). Άλλοι περιορισμοί του IPv4 προωθούν την ανάπτυξη και την ενδεχόμενη επέκταση του IPv6.

5.10.3. Ανταγωνιστικές τεχνολογίες

Το φυσικό ATM σαν ένα μέσο μεταφοράς δεδομένων, χωρίς IP, είναι βεβαίως μια 'ανταγωνιστική τεχνολογία' στο IP πάνω απ' το ATM. Διάφορες εγγενείς στοίβες πρωτοκόλλων έχουν παραχθεί, ειδικότερα η εγγενής υποστήριξη του ATM στο Winsock της Microsoft και στο Low Level ATM Interface της IBM (LLATMI). Εντούτοις, θα περιορίσουμε την επισκόπησή μας στα ανταγωνιστικά μέσα μετάδοσης του IP, δεδομένου ότι αυτός είναι ο τομέας της εμπειρίας μας. Η αρχική εναλλακτική λύση του IP πάνω απ' το ATM είναι βεβαίως οι IP δρομολογητές επόμενης γενιάς. Η εναλλακτική λύση για τη διασύνδεση αυτών των δρομολογητών είναι με SONET, με κάποια μορφή point to point framing όπως το PPP.

6. Διαμόρφωση απόδοσης του IP πάνω από το ATM

Η end-to-end μεταφορά ενός πακέτου IP μπορεί να περιλάβει τη χρήση των ετερογενών τεχνολογιών δικτύωσης. Για παράδειγμα, το πακέτο μπορεί πρώτα να διαβιβαστεί σε ένα Ethernet, και έπειτα σε μια σπονδυλική στήλη του ATM, και τελικά σε ένα άλλο Ethernet πριν φθάσει στον προορισμό του. Οι διαθέσιμες τεχνολογίες δικτύωσης μπορούν να έχουν ποικίλους βαθμούς υποστήριξης QoS, π.χ., υπηρεσίας CBR από το ATM και την υπηρεσία best effort από ένα Ethernet. Ενδιαφέρουσα και μια λεπτομερής κατανόηση της αλληλεπίδρασης της ενδεχομένως διαφορετικής υποστήριξης QoS, και ο χαρακτηρισμός του προκύπτοντος end-to-end QoS που φαίνεται στο στρώμα IP.

Προτείνεται να αναπτυχθεί ένα πρότυπο προσομοίωσης για ένα δίκτυο IP με τις ενδεχομένως πολλαπλάσιες ελλοχεύουσες τεχνολογίες. Ειδικότερα, τα ακόλουθα σενάρια θα εξεταστούν:

1. Η ελλοχεύουσα τεχνολογία είναι το ATM, με επιλεγμένα IP over ATM σχέδια.
2. Η ελλοχεύουσα τεχνολογία είναι μίγμα του ATM και Ethernet (κοινών ή αφιερωμένων), ίδια IP πάνω από ATM σχέδια όπως ανωτέρω.

Για κάθε IP over ATM σχέδιο, το πρότυπό μας λαμβάνει υπόψη τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα της δρομολόγησης και τα ζητήματα καθιέρωσης και λήξης των συνδέσεων περιλαμβάνουν:

1. Πώς να χαρτογραφήσει τις απαιτήσεις QoS στο στρώμα IP σε QoS που παρέχεται από τις ελλοχεύουσες τεχνολογίες δικτύωσης.
2. Ο αντίκτυπος της δυναμικής παραλλαγής των παραμέτρων QoS στα ελλοχεύοντα δίκτυα στο QoS που παρουσιάζεται στο στρώμα IP.

Οι προσπάθειες θα γίνουν για να επικυρώσουν τα πρότυπα εξομοίωσης χρησιμοποιώντας στοιχεία που λαμβάνονται από τον έλεγχο απόδοσης. Οι συστάσεις σχετικά με το πόσο καλύτερα θα χρησιμοποιήσουν τις διάφορες τεχνολογίες δικτύωσης για να υποστηρίξουν τις end to end QoS στο στρώμα IP, καθώς επίσης και το IP πάνω από ATM σχέδιο, θα αναπτυχθούν επίσης.

7. Συμπεράσματα

Ήταν μια δύσκολη έκθεση, επειδή η τεχνολογία και οι επιλογές αλλάζουν γρήγορα, και επειδή μερικά ζητήματα έχουν έναν οριστικά πιστό τόνο. Αυτό που ακολουθεί είναι η προοπτική μας στο αρχικό ζήτημα του IP πάνω από το ATM, και το παράγωγο ζήτημα των τηλεοπτικών και ήχου ρευμάτων (Video and audio streams) πάνω απ' το IP over ATM.

Ποιο είναι το μέλλον του ATM στη δικτύωση δεδομένων; Από τις αρχές του ως στρώμα στο B-ISDN, οι σχεδιαστές του ATM το είχαν παρουσιάσει ως καλύτερη ελπίδα για την ευρυζωνική, χαμηλή καθυστέρηση, παγκόσμια μετάδοση δεδομένων. Εντούτοις, δεν έχει το σεβασμό των μηχανικών Διαδικτύου, οι οποίοι βρίσκουν ότι το σχέδιό του παραβιάζει τα περισσότερα από αυτά που έχουν μάθει για την οικοδόμηση των γερών και συντηρήσιμων δικτύων. Κατά συνέπεια, ακόμη και ενώ μερικά μέρη των δύο κοινοτήτων (telecom και datacom) έχουν δουλέψει για να κάνουν το IP και άλλα πρωτόκολλα μεταδόσεων δεδομένων να αλληλεπιδρούν επιτυχώς με το ATM, άλλοι έχουν απορρίψει την ιδέα σθεναρά, και αναπτύσσουν τώρα εναλλακτικές στρατηγικές για την παράδοση real-time-high-speed-data με χρήσιμες ποιοτικές εγγυήσεις.

Έτσι η πιο βασική ερώτησή μας είναι, *θα υπάρξει IP άνω του ATM;* Σε κάποιο επίπεδο, η απάντηση είναι φυσικά ναι, βεβαίως εφ' όσον οι μεταφορείς σπονδυλικών στηλών το βρίσκουν οικονομικό να χρησιμοποιήσουν το ATM πάνω από SONET για τη σύνδεση των δρομολογητών τους. Αυτή τη στιγμή, ουσιαστικά όλοι: η MCI χρησιμοποιεί Nortel Oc-12c και Oc-48c εξοπλισμό του ATM για το δίκτυο δεδομένων, Το UUNet έχει αναβαθμίσει το Backbone του σε Oc-12c ATM, και το NSF του vBNS ερευνητικού δικτύου τρέχει πάνω απ' το MCI Oc-12c ATM. Το ATM είναι μια τεχνολογία μετατροπής κυκλωμάτων. Εντούτοις, οι υπηρεσίες backbone IP για το ATM παραδίδονται χρησιμοποιώντας το ATM για Πολυπλεξία και διαμοιρασμό του εύρους ζώνης μεταξύ των δρομολογητών, ως point to point σύνδεση σημείου παρά μέσω οποιωνδήποτε ολοκληρωμένων τεχνικών που έχουμε συζητήσει. Έχουν υπάρξει πολλές καταγγελίες εντός της κοινότητας Διαδικτύου για την ανεπάρκεια εύρους ζώνης του TCP/IP που τρέχει πάνω απ' το ATM. Το TCP ack, που είναι το πιο κοινό πακέτο (περίπου 40% της κυκλοφορίας IP είναι TCP ACKs), χρησιμοποιεί μόνο 40 byte δεδομένων, με τα 23 byte της LLC/SNAP encapsulation, πρέπει να

τοποθετηθεί σε 2 κύτταρα του ATM, που οδηγούν στην αποδοτικότητα 'κατά προσέγγιση 40% σε ACKs και 78% για ένα βασικό μίγμα κυκλοφορίας'. Ενώ υπάρχουν άλλες εναλλακτικές λύσεις σε αυτό το απαίσιο σενάριο, είναι ένα που αναφέρεται συχνά όταν υποστηρίζεται ότι οι backbone providers χρησιμοποιούν το ATM μόνο έως ότου να είναι κάτι καλύτερα διαθέσιμο σε μια ισοδύναμη τιμή.

Υπάρχουν επίσης ισχυροί επιχειρησιακοί λόγοι για τη συνεχή χρήση του ATM για την παράδοση των υπηρεσιών δεδομένων στο WAN. Το ATM προσφέρει μια πολύ λεπτότερη σπείρωση του εύρους ζώνης από τα διαθέσιμα χαρακτηριστικά των SONET muxes, και τα VCs μεταξύ των περιοχών πελατών προσφέρουν την ευκαιρία για τη διαφοροποίηση υπηρεσιών. Οι μεταφορείς σπονδυλικών στηλών έχουν επενδύσει βαριά στην τεχνολογία διακοπών του ATM, και πρέπει να ανακτήσουν τις επενδύσεις τους.

Εντούτοις, οι εναλλακτικές λύσεις (γενικά, δρομολογητές Gigabit IP ή κάποια μορφή μετατροπής ετικετών) έχουν πολύ ενδιαφέρον, και διάφοροι προμηθευτές θα προσφέρουν βεβαίως τέτοιες συσκευές που διασυνδέονται άμεσα σε SONET, frame relay, ή άλλα χωρίς σύνδεση 'χαμηλότερα στρώματα'. Υποθέτοντας ότι αυτές οι συσκευές βγαίνουν για να εκθέσουν την ταχύτητα, τη ρυθμοαπόδοση, και τις ιδιότητες κλιμάκωσης που προορίζονται, η ερώτηση είναι πότε, και εάν, οι προμηθευτές σπονδυλικών στηλών θα είναι πρόθυμοι να καταργήσουν σταδιακά την τρέχουσα επένδυσή τους στον εξοπλισμό του ATM. Υπάρχει επίσης το ανοικτό θέμα της ποιότητας της υπηρεσίας: Είναι οι εγγυήσεις QoS απαραίτητες, και αν ναι, μπορεί το RSVP στους δρομολογητές IP να τις παραδώσει;

Στα περισσότερα τοπικά δίκτυα (MANs, επιχειρηματικά δίκτυα, δίκτυα πανεπιστημιούπολεων) είναι πιθανό να δούμε μια γρήγορη εισαγωγή υψηλής ταχύτητας μη ATM, τεχνολογίας δρομολογητές IP. Βεβαίως εντός των παραδοσιακών κοινοτήτων μεταδόσεων δεδομένων, οι γρήγοροι δρομολογητές IP θα κερδίσουν τη γρήγορη αποδοχή. Η επένδυση στον εξοπλισμό του ATM είναι πολύ χαμηλότερη, και η νοοτροπία είναι αυτή του Διαδικτύου και των μεταδόσεων δεδομένων. Εάν το εύρος ζώνης γίνει αρκετά φτηνό, αρκετά γρήγορο, οι τρεις αρχές του προτύπου best effort (παραγράφος 2) θα πραγματοποιηθούν και οι δρομολογητές Gigabit (Terabit, κλπ) θα εξωθήσουν το ATM από το ενδοδίκτυο.

Ο τρίτος τομέας σημαντικής επένδυσης στο νέο εξοπλισμό μεταφορέων Διαδικτύου είναι στα δίκτυα δεδομένων καλωδίων, το ιδιαίτερο υβριδικής ίνας καλώδιο (HFC). Πολλοί ή οι περισσότεροι από αυτούς (παραδείγματος χάριν, το δίκτυο φορέων

παροχής υπηρεσιών @Home) χρησιμοποιούν ένα ιδιωτικό δίκτυο ATM με NAPs για πρόσβαση στο Διαδίκτυο, και ATM Switches στα head-ends του καλωδίου για την υπηρεσία δεδομένων στους πελάτες. Εντούτοις, είναι πολύ δύσκολο να μάθουμε πώς αυτά τα δίκτυα χρησιμοποιούν το ATM, είτε ακριβώς ως κατάλληλο φυσικό μέσο για να μεταφέρει το IP μεταξύ των δρομολογητών και των πελατών, είτε σαν αναπόσπαστο τμήμα του δικτύου επικοινωνιών δεδομένων τους. Ως εκ τούτου το βρίσκουμε αδύνατο να πούμε πώς η διαθεσιμότητα μιας νέας γενεάς των δρομολογητών IP έχει επιπτώσεις στα αρχιτεκτονικά σχέδιά τους.

Επίλογος

Όσο το ATM παραμένει μια ισχυρή παρουσία στο Διαδίκτυο, σε Intranets, και στην τοπική παράδοση δεδομένων, υπάρχει μια βεβαιότητα πολλών ενδιαφερόντων αλληλεπιδράσεων πρωτοκόλλων μεταξύ των εφαρμογών πολυμέσων, του δικτύου, και των επιπέδων datalink. Η συμπίεση MPEG TS ή PS στα διαγράμματα δεδομένων IP, έπειτα στα κελιά του ATM, θα απαιτήσει προσεκτική ανάλυση εάν οποιοδήποτε είδος αποδοτικότητας πρόκειται να επιτευχθεί. Εάν το κυρίαρχο πρότυπο γίνει το best effort , τότε οι προσαρμοστικές εφαρμογές θα είναι υποχρεωτικές.

Αναμένουμε ότι η Multicast μετάδοση θα αναπτυχθεί γρήγορα, και για την επικοινωνία και για την ψυχαγωγία στο Διαδίκτυο, και για εφαρμογές όπως η διανομή δεδομένων και οι ενημερώσεις λογισμικού σε Intranets. Εντούτοις, ενώ η Multicast διανομή είναι ένα σχεδόν αναπόφευκτο εργαλείο σε LANs, μόνο τα εργαλεία για να το χρησιμοποιήσουν αποτελεσματικά σε μια ευρύτερη περιοχή αναπτύσσονται, και υπάρχει ένα στοιχείο αβεβαιότητας σε αυτήν την προσδοκία. Υποθέτοντας ότι το ATM συνεχίζει να αυξάνεται στην εγκατεστημένη βάση του, κατόπιν μια απαίτηση multicast διανομής θα οδηγήσει πιθανώς την επιλογή των IP-ATM προτύπων προς το MPOA. Τα IPv6, I- PNNI, είναι τεχνολογίες για το μέλλον.

Βιβλιογραφία

- [1] ATM Forum specifications from the Public FTP site. Location:
<ftp://ftp.atmforum.com> και http://www.atmforum.com/library/white_papers
- [2] Trillium, "Trillium ATM LAN Emulation White Paper," <http://www.trillium.com/>
- [3] LAN Emulation, <http://www.cisco.com/>
- [4] ATM Protocol Specifications - UNI 3.1 Version. M. Suzuki. August 1998.
<ftp://ftp.isi.edu/>
- [5] Oliver C. Ibe, "Converged Network Architectures: Delivering Voice and Data Over IP, ATM, and Frame Relay," Wiley, November 2001.
- [6] Mahbub Hassan, Mohammed Atiquzzaman, "Performance of TCP/IP Over ATM Networks," Artech House, August 2000.
- [7] George C. Sackett, Christopher Metz, "ATM and Multiprotocol Networking," McGraw-Hill, January 1997, 341 pages.
- [8] Steve McQuerry, Kelly McGrew, Stephen Foy, "Cisco Voice Over Frame Relay, ATM and IP," Cisco Press, April 2001.
- [9] Berry Kercheval, "TCP/IP over ATM : A No-Nonsense Internetworking Guide," Prentice Hall, December 1997.
- [10] Khalid Ahmad, "Sourcebook of ATM and IP Internetworking," Wiley, November 2001.
- [11] H. Jonathan Chao, Cheuk H. Lam, Eiji Oki, "Broadband Packet Switching Technologies: A Practical Guide to ATM Switches and IP Routers," Wiley, September 2001.
- [12] J. A. Schormans, J. M. Introduction to ATM desi Pitts, "Introduction to ATM/IP Design and Performance with Applications Analysis Software," Wiley, January 2001.
- [13] John J. Amoss, Daniel Minoli, "IP Applications With ATM," McGraw-Hill, May 1998.
- [14] www.metacrawler.com
- [15] www.dznet.com/downloads
- [16] www.ietf.com/rfc's