



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΩΝ

Διπλωματική Εργασία

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ
ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ IP ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΣΕ
ΑΣΥΡΜΑΤΟ ΑΤΜ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Σαράντης Πασκαλής

Επιβλέπων Καθηγητής: Λ. Μεράκος

Αθήνα, Απρίλιος 1998

Πρόλογος

Η εργασία αυτή πραγματοποιήθηκε στο Πανεπιστήμιο Αθηνών, ως διπλωματική εργασία στα πλαίσια των απαιτήσεων του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών του Τμήματος Πληροφορικής του Πανεπιστημίου Αθηνών.

Οι επικοινωνίες ευρείας ζώνης και οι επικοινωνίες κινητών είναι οι κινητήριοι μοχλοί της έρευνας και της ανάπτυξης τόσο στη βιομηχανία όσο και στον ακαδημαϊκό χώρο. Επίσης το Internet γνωρίζει στις μέρες μας μια πρωτοφανή ανάπτυξη και μαζί με αυτό και το IP (Internet Protocol) στο οποίο είναι βασισμένο. Σκοπός της μεταπτυχιακής εργασίας είναι να αναπτυχθεί ένα πλαίσιο υποστήριξης IP υπηρεσιών σε ασύρματο ATM περιβάλλον. Στο περιβάλλον αυτό οι χρήστες θα μπορούν να χρησιμοποιούν τις ήδη ανεπτυγμένες IP εφαρμογές μέσα σ' ένα δίκτυο υψηλών ταχυτήτων. Ένα από τα θετικά χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος είναι η διατήρηση της ποιότητας των εφαρμογών, ακόμα και όταν οι χρήστες κινούνται μέσα στο δίκτυο.

Για το σχεδιασμό του ολοκληρωμένου περιβάλλοντος, χρησιμοποιήθηκαν ανερχόμενα πρότυπα όπως Ipv6, Mobile IP, RSVP. Το ATM σύστημα πάνω στο οποίο βασίστηκε η ο σχεδιασμός του περιβάλλοντος, έχει πραγματοποιηθεί στα πλαίσια του ευρωπαϊκού ερευνητικού προγράμματος *The Magic WAND*.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω τον υπεύθυνο καθηγητή Λάζαρο Μεράκο για τις πολύτιμες συμβουλές του και την υποστήριξη του καθόλη τη διάρκεια της εκπόνησης της μεταπτυχιακής μου εργασίας.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον υποψήφιο διδάκτορα Στάθη Χατζηευθυμιάδη, ο οποίος με βοήθησε πάντα πρόθυμα με τις πολύτιμες συμβουλές και παρεμβάσεις του. Χωρίς την αμέριστη συμπαράσταση του, δεν θα ήταν δυνατή η ολοκλήρωση αυτής της εργασίας.

Η ιδιότητα μου ως μέλους του προσωπικού στο Εργαστήριο Επικοινωνιών Δικτύων του Τμήματος Πληροφορικής του Πανεπιστημίου Αθηνών μου επέτρεψε την επαφή και συνεργασία με ερευνητές που πολλές φορές με βοήθησαν με τις παρεμβάσεις τους. Το υψηλό επίπεδο των παρατηρήσεων τους ήταν σημαντικός παράγοντας βοήθειας και τους ευχαριστώ γι' αυτό.

Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	i
Περιεχόμενα	iii
Πίνακας Σχημάτων.....	vi
Πίνακας Πινάκων	vii
Εισαγωγή.....	1
1.1 Εισαγωγικές έννοιες.....	1
1.2 Διάρθρωση της εργασίας.....	2
Internet Protocol (IP)	3
2.1 Εισαγωγή	3
2.2 IPv4.....	3
2.2.1 Λειτουργία.....	4
2.2.2 Σχέση με άλλα πρωτόκολλα.....	5
2.2.3 Επικεφαλίδα IPv4.....	5
2.2.4 Διευθυνσιοδότηση.....	6
2.3 Mobile IPv4.....	7
2.3.1 Απαιτήσεις	7
2.3.2 Ορολογία	8
2.4 IPv6.....	12
2.4.1 Επικεφαλίδα IPv6.....	13
2.5 Mobile IPv6.....	14
2.5.1 Αναλυτική περιγραφή	15
2.6 Διαφορές Mobile IPv4 - Mobile IPv6	16
2.7 Αναφορές.....	17
RSVP	19
3.1 Εισαγωγή	19
3.2 Λειτουργική περιγραφή.....	20
3.3 Ροές δεδομένων.....	23
3.4 Μοντέλο Δέσμευσης	23
3.5 Μηχανισμοί του πρωτοκόλλου RSVP	24
3.5.1 Συγχώνευση Flowspecs.....	26
3.5.2 Μαλακή κατάσταση (Soft state).....	26
3.6 Αναφορές.....	26
Asynchronous Transfer Mode (ATM)	27
4.1 Γενική Επισκόπηση του Κεφαλαίου.....	27
4.2 Εισαγωγή	27
4.3 ATM	27
4.4 Το ATM Δίκτυο	28
4.5 Στοιβά Πρωτοκόλλων του ATM	30
4.5.1 Φυσικό Επίπεδο	31

4.5.2	ATM Επίπεδο.....	32
4.5.3	Επίπεδο Προσαρμογής ATM.....	33
4.6	Η κυκλοφορία σε ένα ATM Δίκτυο	34
4.6.1	Κυκλοφορία Μεταβλητού Ρυθμού Μετάδοσης.....	34
4.6.2	Κυκλοφορία Σταθερού Ρυθμού Μετάδοσης.....	35
4.6.3	Κυκλοφορία Μη-Πραγματικού Χρόνου	35
4.6.4	Οι Κλάσεις Κυκλοφορίας στο ATM και οι Παράμετροί τους.....	36
4.6.5	Έλεγχος Κυκλοφορίας και Συμφόρησης	38
4.7	Αναφορές.....	38
IP πάνω από ATM		39
5.1	Εισαγωγή	39
5.2	LAN Emulation (LANE)	39
5.3	CLIP	41
5.4	NHRP	41
5.5	MPOA	42
5.6	IP Switching.....	43
5.6.1	Ταξινόμηση ροών	44
5.6.2	GSMP.....	44
5.6.3	IFMP	46
5.7	MPLS.....	49
5.8	Multicast	50
5.9	RSVP-ATM.....	51
5.10	Αναφορές.....	52
Ασύρματο ATM.....		57
6.1	Magic WAND	57
6.2	Μοντέλο αναφοράς WATM	57
6.3	Μοντέλο Λειτουργίας WATM	58
6.4	Εισαγωγή IP στο WAND.....	60
6.4.1	Εναλλακτικές αρχιτεκτονικές	61
6.4.2	Μηχανισμός Μεταφοράς Δεδομένων	62
6.5	Αναφορές.....	62
Κινητικότητα για IP υπηρεσίες πάνω από ασύρματο ATM		63
7.1	Αρχιτεκτονική ασύρματου ATM συστήματος	63
7.1.1	Επιλογή κατεύθυνσης	63
7.2	Στοιβα πρωτοκόλλων.....	64
7.3	Ανάλυση λειτουργίας	65
7.4	Handovers.....	66
7.4.1	Intra-switch handovers	66
7.4.1.1	Προτεινόμενη υλοποίηση.....	67
7.4.1.2	Πιθανές βελτιώσεις	68
7.4.1.2.1	Βελτίωση handover για εγγενή IP ασύρματα συστήματα.....	69
7.4.1.2.2	Προσαρμογή της multicast μεθόδου σε ασύρματα ATM δίκτυα ..	70
7.4.2	Inter-switch handovers	72
7.4.2.1	Προτεινόμενη υλοποίηση.....	73
7.4.2.2	Πιθανές βελτιώσεις	75
7.4.2.2.1	MRSVP	76
7.4.2.2.2	Προσαρμογή της τεχνικής MRSVP	78

7.5	Δομή της μονάδας Mobility Management.....	79
7.6	Αναφορές.....	80
	Σύνοψη-Συμπεράσματα.....	83

Πίνακας Σχημάτων

Σχήμα 2-1: Θέση του πρωτοκόλλου Internet (IP).....	4
Σχήμα 2-2: Περιεχόμενα επικεφαλίδας IPv4.....	5
Σχήμα 2-3: Κλάσεις IP διευθύνσεων.	6
Σχήμα 2-4: Εγκλεισμός IP σε IP (IP in IP encapsulation)	9
Σχήμα 2-5: Τριγωνική δρομολόγηση.....	11
Σχήμα 2-6: Βασικά πεδία επικεφαλίδας IPv6.....	13
Σχήμα 2-7: Επικεφαλίδες επέκτασης IPv6.....	14
Σχήμα 3-1: Το RSVP σε κόμβους και δρομολογητές.....	21
Σχήμα 3-2: Δρομολογητής που χρησιμοποιεί RSVP.....	25
Σχήμα 4-1: Σύνδεση μεταξύ δύο τερματικών σε ένα ATM δίκτυο	28
Σχήμα 4-2: Λειτουργία ενός ATM μεταγωγέα.....	29
Σχήμα 4-3: Στοιβά πρωτοκόλλων του ATM.....	31
Σχήμα 4-4: Τα πεδία του ATM cell στο User Network Interface (UNI)	33
Σχήμα 5-1: Παράδειγμα λειτουργίας LANE.....	40
Σχήμα 5-2: Παράδειγμα λειτουργίας CLIP.....	41
Σχήμα 5-3: Παράδειγμα λειτουργίας NHRP.....	42
Σχήμα 5-4: Δομή ενός IP μεταγωγέα.....	43
Σχήμα 5-5: Εγκαθίδρυση μιας μεταγόμενης ροής.....	46
Σχήμα 5-6: (1) Προώθηση πακέτων πάνω από προκαθορισμένα ATM VCs. Ο ελεγκτής του IP μεταγωγέα πραγματοποιεί αξιολόγηση πακέτων σε κάθε πακέτο.....	47
Σχήμα 5-7: (2) Ο ελεγκτής του IP μεταγωγέα στέλνει το μήνυμα Redirect στον προηγούμενο κόμβο να χρησιμοποιήσει ένα νέο VC για την επιλεγμένη ροή. (3) Η κυκλοφορία για την επιλεγμένη ροή αρχίζει να ρέει στο νέο VC. Η εισερχόμενη ροή παίρνει ετικέτα.....	47
Σχήμα 5-8: (4) Ο επόμενος κόμβος ζητάει επίσης ένα νέο VC για τη ροή. (5) Ο IP μεταγωγέας αρχίζει να στέλνει την κυκλοφορία αυτής της ροής στο νέο VC. Η εξερχόμενη ροή παίρνει ετικέτα.....	48
Σχήμα 5-9: (6) Η εισερχόμενη ροή με ετικέτα μεταγεται μέσω της εξερχόμενης ροής με ετικέτα. Η επιλεγμένη ροή τώρα μεταγεται απευθείας (cut-through).....	48
Σχήμα 5-10: Παράδειγμα λειτουργίας IP switching	49
Σχήμα 5-11: Σύγκριση των τεχνικών παροχής multicast VC-mesh και MCS.....	50
Σχήμα 5-12: Λειτουργία του RSVP πάνω από ATM.	52

Σχήμα 6-1: Ένα γενικό μοντέλο αναφοράς δικτύου πρόσβασης στη ραδιοεπικοινωνία ευρείας ζώνης.....	58
Σχήμα 6-2: από WAND Functional Overview	59
Σχήμα 6-3: Ασύρματο ATM σύστημα με υπηρεσίες IP	61
Σχήμα 6-4: Στοιβα πρωτοκόλλων στην παρούσα κατάσταση	61
Σχήμα 7-1: Δίκτυο πρόσβασης με περισσότερους μεταγωγείς	63
Σχήμα 7-2: Στοιβα πρωτοκόλλων της νέας αρχιτεκτονικής	64
Σχήμα 7-3: Intra-switch handover.....	67
Σχήμα 7-4: Σηματοδότηση υλοποιημένη στο Daedalus.....	69
Σχήμα 7-5: Handover με τον multicast μηχανισμό.....	71
Σχήμα 7-6: Inter-switch handover.....	72
Σχήμα 7-7: Απαραίτητη ανταλλαγή μηνυμάτων για υποστήριξη IP και RSVP μετά από inter-switch handover.	74
Σχήμα 7-8: Δεσμεύσεις για Κλάσεις Υπηρεσιών.	76
Σχήμα 7-9: Βελτιωμένο inter-switch handover.....	77
Σχήμα 7-10: Ο ανταποκριτής κόμβος γνωρίζει για τις πιθανές τοποθεσίες του κινητού.....	78
Σχήμα 7-11: Ο proxy agent γνωρίζει για τις πιθανές τοποθεσίες του κινητού.	79
Σχήμα 7-12: Διεπαφές της Μονάδας Mobility Management.	80

Πίνακας Πινάκων

Πίνακας 4-1: Οι κλάσεις κυκλοφορίας του ATM και οι παράμετροί τους.....	37
Πίνακας 6-1: Πρωτόκολλα και διεπαφές επιπέδων	60

Εισαγωγή

1. Γενική επισκόπηση του κεφαλαίου

Δίνεται μια εισαγωγή στις έννοιες που θα χρησιμοποιηθούν στην εργασία καθώς και η διάρθρωση του κειμένου.

1.1 Εισαγωγικές έννοιες

Οι επικοινωνίες ευρείας ζώνης και οι επικοινωνίες κινητών είναι οι κινητήριοι μοχλοί της έρευνας και της ανάπτυξης τόσο στη βιομηχανία όσο και στον ακαδημαϊκό χώρο. Η τεχνολογία ATM (Asynchronous Transfer Mode) θεωρείται η ιδανικότερη για την παροχή ολοκληρωμένων υπηρεσιών ευρείας ζώνης. Τα τοπικά ασύρματα δίκτυα προβλέπεται να επεκτείνουν τη δημοτικότητα τους για μετάδοση δεδομένων σε εσωτερικό χώρο. Η συνύφανση τους με την τεχνολογία ATM παρουσιάζει την πρόκληση του συνδυασμού του αναξιόπιστου μέσου μετάδοσης (ραδιοζεύξη) με τις υψηλές απαιτήσεις ποιότητας που θέτει το ATM.

Το Internet γνωρίζει στις μέρες μας μια πρωτοφανή ανάπτυξη και μαζί με αυτό και το IP (Internet Protocol) στο οποίο είναι βασισμένο. Είναι επομένως επιθυμητή η υποστήριξη του από όλα τα δίκτυα τα οποία σχεδιάζονται ή χρησιμοποιούνται κιόλας. Η υποστήριξη IP σε ATM δίκτυα παρουσιάζει αρκετό ενδιαφέρον από μόνη της, αφού αντιπροσωπεύουν δύο εντελώς διαφορετικές όψεις της τεχνολογίας μεταφοράς δεδομένων. Το IP είναι πρωτόκολλο χωρίς σύνδεση (connectionless) που δεν παρέχει εγγυημένη ποιότητα υπηρεσίας (Quality of Service, QoS), ενώ το ATM είναι προσανατολισμένο στη σύνδεση (connection oriented) και μπορεί να προσφέρει εγγυημένη ποιότητα υπηρεσίας στις συνδέσεις.

Για να καλύψει το κενό της έλλειψης υποστήριξης εγγυήσεων ποιότητας υπηρεσίας στο IP αναπτύχθηκε το RSVP (Resource ReSerVation Protocol). Το πρωτόκολλο αυτό λειτουργεί επάνω από το IP (επάνω από το επίπεδο δικτύου) και κάνει δυνατή τη δέσμευση των πόρων στο Internet χωρίς μεγάλες αλλαγές στην υπάρχουσα υποδομή. Στην περίπτωση υποστήριξης IP υπηρεσιών από ATM δίκτυα, πρέπει να εξεταστεί και το στοιχείο της συνεργασίας ανάμεσα στις υπηρεσίες δέσμευσης πόρων του RSVP και των αντιστοίχων του ATM.

Η επιβολή της κινητικότητας (mobility) είναι ένας επιπλέον παράγοντας αύξησης των βαθμών ελευθερίας στις επιλογές για σχεδιασμό ενός συστήματος αποτελεσματικής υποστήριξης των IP υπηρεσιών.

Ο κατάλληλος και αποτελεσματικός συνδυασμός όλων αυτών των συχνά αντικρουόμενων τεχνολογικών θεμάτων είναι μια ερευνητική διαδικασία που έχει μόλις αρχίσει. Στο υπόλοιπο τμήμα της εργασίας επιχειρείται η καταγραφή των πιθανών

τεχνολογικών συζεύξεων και προτείνεται ένας μηχανισμός ο οποίος υποστηρίζει αποτελεσματικά IP υπηρεσίες σε ασύρματα ATM δίκτυα.

1.2 Διάρθρωση της εργασίας

Στο Κεφάλαιο 2 παρουσιάζεται συνοπτικά το IP πρωτόκολλο και γίνεται αναφορά στην επέκταση του για υποστήριξη κινητών Mobile IP. Ακόμη αναφέρεται η νέα βελτιωμένη έκδοση του (IPv6) και η υποστήριξη κινητών για τη νέα αυτή έκδοση.

Το πρωτόκολλο δέσμευσης πόρων RSVP καλύπτεται στο Κεφάλαιο 3, όπου και αναφέρονται οι λειτουργικές του μονάδες και επιχειρείται να περιγραφεί ο μηχανισμός λειτουργίας του.

Κρίνεται σκόπιμο να γίνει μια αναφορά στην τεχνολογία ATM και έτσι το Κεφάλαιο 4 είναι αφιερωμένο στις βασικές έννοιες και λειτουργίες του ATM.

Το Κεφάλαιο 5 αποτελεί μια προσπάθεια καταγραφής των σχημάτων που προσπαθούν να συνδυάσουν το IP με το ATM. Επιχειρήθηκε να είναι μια σχετικά πλήρης κάλυψη των προτεινόμενων τεχνικών και αξιολόγησης τους.

Στο Κεφάλαιο 6 παρουσιάζεται το μοντέλο λειτουργίας του ασύρματου ATM δικτύου και οι τροποποιήσεις που θα απαιτηθούν για την αποτελεσματική υποστήριξη του.

Τέλος, στο Κεφάλαιο 7 αναλύεται εκτενέστερα η επιλεγμένη αρχιτεκτονική και παρουσιάζεται αναλυτική ο μηχανισμός που διαχειρίζεται την κινητικότητα (mobility management). Δίνονται αναλυτικές περιγραφές των διαφορετικών περιπτώσεων handover, αλλά και κατευθύνσεις προς τις οποίες μπορεί να κινηθεί μελλοντική ερευνητική δραστηριότητα.

Internet Protocol (IP)

2. Γενική επισκόπηση του κεφαλαίου

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται συνοπτικά το IP πρωτόκολλο. Στην αρχή παρουσιάζεται η έκδοση που χρησιμοποιείται ευρέως σήμερα (IPv4). Στη συνέχεια αναφέρεται η επέκταση του πρωτοκόλλου για υποστήριξη κινητών Mobile IP. Ακόμη αναφέρεται η νέα βελτιωμένη έκδοση του (IPv6) και η υποστήριξη κινητών για τη νέα αυτή έκδοση.

2.1 Εισαγωγή

Το πρωτόκολλο διαδικτύου σχεδιάστηκε για χρήση σε διασυνδεδεμένα συστήματα υπολογιστών που επικοινωνούν με δίκτυα μεταγωγής πακέτων. Το πρωτόκολλο διαδικτύου παρέχει υπηρεσίες μεταφοράς πακέτων δεδομένων (datagrams) από τις πηγές στους προορισμούς, όπου προορισμοί είναι κόμβοι αναγνωρίσιμοι από διευθύνσεις σταθερού μήκους. Το πρωτόκολλο IP, ακόμα παρέχει υπηρεσίες για τον κατακερματισμό (fragmentation) και επανασυναρμολόγηση (reassembly) μεγάλων πακέτων δεδομένων, όπου αυτό είναι απαραίτητο για τη μεταφορά μέσα από δίκτυα «μικρών πακέτων».

Εξαιτίας της επέκτασης του σε κάθε υπολογιστική λειτουργία στις μέρες μας, αρχίζουν να φαίνονται προβλήματα που δεν είχαν προβλεφθεί στην αρχική σχεδίαση στη δεκαετία του '70. Η τωρινή έκδοση του πρωτοκόλλου IPv4 χρησιμοποιείται ουσιαστικά παντού. Η ομάδα σχεδίασης του Internet, IETF (Internet Engineering Task Force) σχεδιάζει και υλοποιεί τη νέα έκδοση του πρωτοκόλλου με αριθμό 6 (IPv6). Η νέα αυτή έκδοση βελτιώνει διάφορες αδυναμίες βασικές στη σχεδίαση της προηγούμενης έκδοσης.

2.2 IPv4

Το πρωτόκολλο IP είναι περιορισμένο στις λειτουργίες που είναι απαραίτητες για την παράδοση ενός πακέτου από bits (ένα Internet datagram) από μία πηγή σε έναν προορισμό μέσω ενός διασυνδεδεμένου συστήματος από δίκτυα. Δεν υπάρχουν μηχανισμοί που να βοηθούν από άκρη σε άκρη (end to end) την αξιοπιστία των δεδομένων, τον έλεγχο ροής (flow control), ή άλλες υπηρεσίες που υπάρχουν σε πρωτόκολλα προσανατολισμένα σε επικοινωνίες άλμα-προς-άλμα (hop-by-hop).

Το Internet πρωτόκολλο καλείται από πρωτόκολλο κόμβου-προς-κόμβο (π.χ. TCP) σε ένα περιβάλλον διαδικτύου. Αυτό με τη σειρά του χρησιμοποιεί τα τοπικά πρωτόκολλα δικτύου να μεταφέρουν το Internet datagram στον επόμενο κόμβο ή στον προορισμό του.

Για παράδειγμα, το πρωτόκολλο TCP θα καλέσει το πρωτόκολλο Internet να πάρει ένα κομμάτι TCP (που περιλαμβάνει την επικεφαλίδα TCP και τα δεδομένα του χρήστη) ως το κομμάτι δεδομένων ενός Internet datagram. Η μονάδα TCP θα παρέχει τις διευθύνσεις και άλλες παραμέτρους στην Internet επικεφαλίδα στην μονάδα Internet ως παραμέτρους της κλήσης. Η μονάδα Internet τότε θα σχηματίσει ένα Internet datagram και θα καλέσει τη διασύνδεση με το τοπικό δίκτυο να μεταδώσει το datagram.

2.2.1 Λειτουργία

Το πρωτόκολλο Internet επιτελεί δύο βασικές λειτουργίες: διευθυνσιοδότηση και κατακερματισμό.

Οι μονάδες Internet χρησιμοποιούν τις διευθύνσεις που περιέχονται στην επικεφαλίδα Internet για να μεταδώσουν πακέτα προς τους προορισμούς τους. Η επιλογή του βέλτιστου μονοπατιού για την μετάδοση καλείται δρομολόγηση (routing). Οι μονάδες Internet χρησιμοποιούν πεδία στην επικεφαλίδα του πακέτου για τον κατακερματισμό και την επανασύνδεση των πακέτων όπου είναι απαραίτητο για την μετάδοση.

Το μοντέλο της λειτουργίας έγκειται στο ότι μια μονάδα Internet βρίσκεται σε κάθε κόμβο που εμπλέκεται σε Internet επικοινωνία και σε κάθε πύλη (gateway) που διασυνδέει δίκτυα. Οι μονάδες αυτές διαμοιράζονται κοινούς κανόνες για τη διερμηνεία των πεδίων της επικεφαλίδας. Ακόμη, οι μονάδες αυτές, (ειδικά οι πύλες-gateways) έχουν διαδικασίες για να λαμβάνουν αποφάσεις δρομολόγησης και άλλες λειτουργίες.

Κάθε πακέτο αντιμετωπίζεται ως ανεξάρτητη οντότητα ασυσχέτιστη με κάθε άλλο πακέτο.

Το πρωτόκολλο δεν παρέχει αξιόπιστη επικοινωνία. Δεν υπάρχουν επιβεβαιώσεις ούτε από άκρη σε άκρη ούτε ενδιάμεσα στους κόμβους. Δεν υπάρχει έλεγχος λαθών για τα δεδομένα, παρά μόνο ένα άθροισμα ελέγχου (checksum) στην επικεφαλίδα. Δεν υπάρχουν επαναμεταδόσεις. Δεν υπάρχει έλεγχος ροής.

Τα λάθη που ανιχνεύονται μπορούν να αναφερθούν μέσω του πρωτοκόλλου ελέγχου του Internet (Internet Control Message Protocol ICMP), το οποίο υλοποιείται στην μονάδα Internet.

telnet	FTP	TFTP	
TCP		UDP	
IP & ICMP			
Local Network Protocol			

Σχήμα 2-1: Θέση του πρωτοκόλλου Internet (IP)

2.2.2 Σχέση με άλλα πρωτόκολλα

Στο Σχήμα 2-1 φαίνεται η θέση του πρωτοκόλλου Internet στην ιεραρχία πρωτοκόλλων. Παρουσιάζεται μια ενδεικτική στοίβα πρωτοκόλλων.

Το πρωτόκολλο IP επικοινωνεί όπως φαίνεται με τα πρωτόκολλα του επιπέδου μεταφοράς (TCP και UDP), καθώς και με το τοπικό πρωτόκολλο δικτύου (Ethernet για παράδειγμα).

2.2.3 Επικεφαλίδα IPv4

Η επικεφαλίδα κάθε πακέτου IPv4 περιέχει κατά κανόνα ορισμένα προκαθορισμένα πεδία, αλλά έχει και χώρο για διάφορες επεκτάσεις. Αναλυτικά, η επικεφαλίδα ενός IPv4 πακέτου παρουσιάζεται στο Σχήμα 2-2.

Version	IHL	Type of Service	Total Length	
Identification			Flags	Fragment Offset
Time to Live		Protocol	Header checksum	
Source Address				
Destination Address				
Options				Padding

Σχήμα 2-2: Περιεχόμενα επικεφαλίδας IPv4

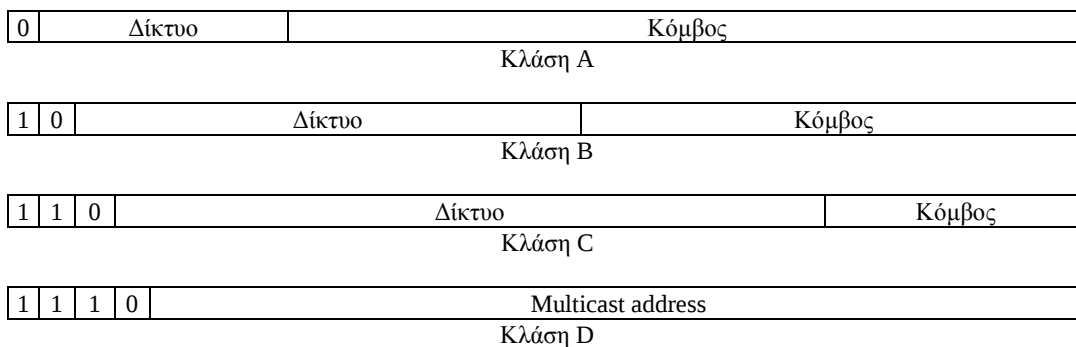
Επεξηγήσεις

- **Version** (Έκδοση): 4 bits. Το πεδίο έκδοσης φανερώνει τη μορφή της επικεφαλίδας. Στην προκειμένη περίπτωση είναι 4.
- **IHL** - Internet Header Length (Μήκος επικεφαλίδας διαδικτύου): 4 bits. Το μήκος της επικεφαλίδας σε 32-bit λέξεις. Δείχνει στην αρχή των δεδομένων. Η ελάχιστη τιμή είναι 5.
- **Type of Service** (Τύπος Υπηρεσίας): 8 bits. Ένδειξη για την ποιότητα υπηρεσίας που ζητείται. Δεν έχει χρησιμοποιηθεί.
- **Total Length** (Συνολικό Μήκος): 16 bits. Συνολικό μήκος του πακέτου, μετρημένο σε οκτάδες, συμπεριλαμβανομένων της επικεφαλίδας και των δεδομένων. Το μέγιστο μήκος του πακέτου μπορεί συνεπώς να είναι 65536 οκτάδες. Το ελάχιστο μήκος που πρέπει να υποστηρίζουν όλες οι υλοποιήσεις είναι 576 οκτάδες.
- **Identification** (Ταυτότητα): 16 bits. Ταυτότητα που προστίθεται από τον αποστολέα σε κάθε πακέτο.
- **Flags** (Σημαίες): 3 bits. Διάφορες σημαίες ελέγχου.
- **Fragment Offset** (Εκτόπισμα τμήματος): 13 bits. Το πεδίο αυτό υποδηλώνει σε ποιο μέρος του datagram ανήκει αυτό το τμήμα.

- **Time to Live** (Χρόνος ζωής): 8 bits. Ένδειξη του μέγιστου χρόνου ζωής ενός πακέτου. Ουσιαστικά δείχνει το μέγιστο αριθμό των αλμάτων (hops) μέχρι τον προορισμό του πακέτου.
- **Protocol** (Πρωτόκολλο): 8bits. Δείχνει το πρωτόκολλο του ανώτερου επιπέδου που περιέχεται στο τμήμα δεδομένων του πακέτου.
- **Header checksum** (Έλεγχος λαθών επικεφαλίδας): 16 bits. Έλεγχος λάθους μόνο για την επικεφαλίδα.
- **Source address** (Διεύθυνση πηγής): 32 bits.
- **Destination address** (Διεύθυνση προορισμού): 32 bits
- **Options** (Επιλογές): κυμαινόμενο
- **Padding** (Γέμισμα): κυμαινόμενο. Το γέμισμα της επικεφαλίδας με μηδενικά είναι απαραίτητο για την εξασφάλιση του ακεραίου μήκους σε 32 bit λέξεις της επικεφαλίδας.

2.2.4 Διευθυνσιοδότηση

Όπως προαναφέρθηκε, οι IP διευθύνσεις έχουν σταθερό μήκος 4 οκτάδων (32 bits). Χρησιμοποιούνται τέσσερις διαφορετικές μορφές όπως φαίνεται στο Σχήμα 2-3. Κάθε μία διεύθυνση διακρίνεται από τον αριθμό του δικτύου και τον αριθμό του κόμβου.



Σχήμα 2-3: Κλάσεις IP διευθύνσεων.

Οι διευθύνσεις της κλάσης A έχουν το πρώτο bit ίσο με το μηδέν. Τα επόμενα 7 bits καθορίζουν τον αριθμό του δικτύου (μέχρι 128 δίκτυα) και τα επόμενα 25 τον αριθμό του κόμβου (περίπου 16 εκατομμύρια κόμβοι).

Οι διευθύνσεις της κλάσης B αρχίζουν με τα bits 10. Τα επόμενα 14 bits σχηματίζουν τον αριθμό του δικτύου (16.384 δίκτυα). Τα τελευταία 16 bits είναι ο αριθμός του κόμβου (65536 κόμβοι).

Οι διευθύνσεις της κλάσης C αρχίζουν με τα bits 110. Τα επόμενα 21 bits είναι ο αριθμός του δικτύου (περίπου 2 εκατομμύρια δίκτυα) και τα τελευταία 8 bits καθορίζουν τον αριθμό του κόμβου (255 κόμβοι).

Τέλος οι διευθύνσεις της κλάσης D προορίζονται για πολλαπλή αποστολή (multicast). Ξεκινούν με τα bits 1110.

2.3 Mobile IPv4

Η έκδοση 4 του πρωτοκόλλου διαδικτύου (IP) υποθέτει ότι η IP διεύθυνση ενός κόμβου αντιστοιχεί μοναδικά το σημείο προσάρτησης του κόμβου στο Internet. Συνεπώς, ένας κόμβος πρέπει να είναι τοποθετημένος στο δίκτυο που ορίζεται από την IP διεύθυνση του προκειμένου να λαμβάνει πακέτα που προορίζονται προς αυτόν, ειδικά τα πακέτα δεν θα μπορούσαν να παραδοθούν. Εάν ένας κόμβος επιθυμεί να αλλάξει το σημείο προσάρτησης του στο δίκτυο, χωρίς να χάσει την ικανότητα επικοινωνίας, πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένας από τους παρακάτω μηχανισμούς:

- α) Ο κόμβος πρέπει να αλλάζει την IP διεύθυνση του κάθε φορά που αλλάζει το σημείο προσάρτησης ή
- β) Οι δρομολογήσεις σχετικές με τον κόμβο πρέπει να διαδοθούν αρκετά στο εσωτερικό του μηχανισμού δρομολόγησης του Internet.

Και οι δύο από αυτές τις εναλλακτικές λύσεις δεν είναι βολικές. Η πρώτη καθιστά αδύνατο για έναν κόμβο να διατηρήσει τις συνδέσεις επιπέδου μεταφοράς (transport) ή ανώτερου, όταν ο κόμβος αλλάζει τοποθεσία. Η δεύτερη έχει προφανώς σοβαρά προβλήματα κλιμάκωσης, ειδικά με την αλματώδη αύξηση των υπολογιστικών συσκευών που υποστηρίζουν κίνηση (mobility).

2.3.1 Απαιτήσεις

Ένας κινητός κόμβος πρέπει να μπορεί να επικοινωνεί με άλλους αφού αλλάξει το σημείο προσάρτησης στο επίπεδο σύνδεσης (link layer), αλλά χωρίς να αλλάξει η IP διεύθυνση του. Πρέπει να μπορεί να επικοινωνεί με άλλους κόμβους οι οποίοι δεν έχουν υλοποιήσει κατ' ανάγκη τις λειτουργίες κινητικότητας. Δεν θα πρέπει να απαιτούνται βελτιώσεις πρωτοκόλλου σε κόμβους ή δρομολογητές που δεν έχουν σχέση με τις λειτουργίες κινητικότητας που προσφέρονται. Επίσης όλα τα μηνύματα που χρησιμοποιούνται για την ενημέρωση κάποιου άλλου κόμβου για την τοποθεσία του κινητού κόμβου πρέπει να πιστοποιούνται (authentication) για λόγους ασφάλειας.

Η σύνδεση ενός κινητού κόμβου με το Internet θα είναι κατά πάσα πιθανότητα ασύρματη, καθιστώντας την έτσι χαμηλής χωρητικότητας και υψηλότερης πιθανότητας λάθους από ότι στα παραδοσιακά καλωδιωμένα δίκτυα. Ακόμη εξαιτίας της πιθανής τροφοδοσίας του κινητού κόμβου από μπαταρία, θα πρέπει να αποφεύγεται η άσκοπη κατανάλωση ενέργειας. Συνεπώς ο αριθμός και το μέγεθος των μηνυμάτων ελέγχου θα πρέπει να κρατηθεί σε πολύ χαμηλά επίπεδα.

2.3.2 Ορολογία

Γενική IP ορολογία

Ξενιστής (host): Υπολογιστής που γενικά δεν χρησιμοποιείται για την επαναπροώθηση των πακέτων που φτάνουν σε αυτόν. Η προέλευση του ονόματος ανάγεται στις αρχικές μέρες σχεδιασμού του Internet (ARPAnet), όταν η υπολογιστική ισχύς ήταν λιγοστή και οι υπολογιστές φιλοξενούσαν και εκτελούσαν προγράμματα από άλλες τοποθεσίες που δεν είχαν αρκετή υπολογιστική ισχύ.

Δρομολογητής (router): Υπολογιστική συσκευή που ασχολείται με την δρομολόγηση, δηλαδή την επαναπροώθηση των πακέτων που φθάνουν σε αυτόν. Τα πακέτα αυτά δεν έχουν συνήθως τον δρομολογητή ως τελικό προορισμό τους.

Κόμβος (node): Ξενιστής (host) ή δρομολογητής (router).

Mobile IP ορολογία

Για την υποστήριξη κίνησης στο IP επίπεδο εισάγονται οι εξής οντότητες:

Κινητός Κόμβος (Mobile node): Κόμβος, ο οποίος αλλάζει το σημείο προσάρτησης του από ένα δίκτυο ή υποδίκτυο σε ένα άλλο χωρίς να αλλάζει η IP διεύθυνση του. Ένας κινητός κόμβος μπορεί να συνεχίσει να επικοινωνεί με άλλους κόμβους στο Internet σε οποιαδήποτε άλλη τοποθεσία χρησιμοποιώντας την (σταθερή) IP διεύθυνση του.

Οικείος πράκτορας (Home agent): Ένας δρομολογητής στο οικείο δίκτυο ενός κινητού κόμβου που φροντίζει για την παράδοση πακέτων στους απομακρυσμένους κινητούς κόμβους. Ακόμη διατηρεί πληροφορίες για την τοποθεσία των κινητών κόμβων.

Ξένος πράκτορας (Foreign agent): Ένας δρομολογητής σε ένα δίκτυο που επισκέπτεται ο κινητός κόμβος, ο οποίος συνεργάζεται με τον οικείο πράκτορα για την παράδοση των πακέτων στον απομακρυσμένο κινητό κόμβο.

Σε έναν κινητό κόμβο δίνεται μια μακροπρόθεσμη IP διεύθυνση (home address) στο οικείο του δίκτυο. Την διεύθυνση αυτή, την διαχειρίζονται με τον ίδιο τρόπο με τον οποίο διαχειρίζονται μια στατική διεύθυνση. Όταν απομακρύνεται από το οικείο του δίκτυο, ο κινητός κόμβος συσχετίζεται με μια προσωρινή διεύθυνση (care of address) που αντανακλά το σημείο προσάρτησης εκείνη τη στιγμή. Ο κινητός κόμβος μπορεί να χρησιμοποιεί ως διεύθυνση πηγής (source address) την οικεία του διεύθυνση ανεξάρτητα με το σημείο προσάρτησης. Αυτό μπορεί να δημιουργήσει που έχουν σχέση με την ασφάλεια του δικτύου και συνήθως τότε χρησιμοποιεί την care-of του διεύθυνση έχοντας την οικεία του διεύθυνση αποθηκευμένη σε ένα πεδίο επιλογής της IP επικεφαλίδας.

Οι ακόλουθοι όροι θα χρησιμοποιηθούν συχνά για το Mobile IP πρωτόκολλο:

Διαφήμιση πράκτορα (Agent advertisement): Οι ξένοι πράκτορες διαφημίζουν την παρουσία τους χρησιμοποιώντας ένα ειδικό μήνυμα, που σχηματίζεται προσκολλώντας μια ειδική επέκταση σε μια διαφήμιση δρομολογητή [RFC1256].

Care-of διεύθυνση (Care of address): Το σημείο τερματισμού ενός τούνελ από τον οικείο πράκτορα προς ένα κινητό κόμβο για πακέτα που προωθούνται προς τον κινητό κόμβο όταν αυτός βρίσκεται σε απομακρυσμένη τοποθεσία.

Ανταποκριτής κόμβος (Correspondent node): Ένας κόμβος στο Internet με τον οποίο επικοινωνεί ένας κινητός κόμβος. Μπορεί να είναι κινητός ή στατικός.

Ξένο δίκτυο (Foreign network): Κάθε δίκτυο εκτός από το οικείο δίκτυο του κινητού κόμβου.

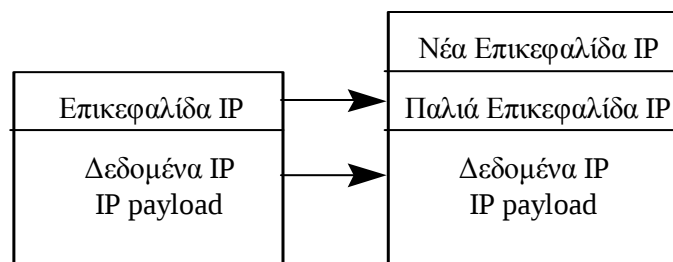
Οικεία διεύθυνση (Home address): Μια IP διεύθυνση που ανατίθεται σε έναν κινητό κόμβο για ένα εκτεταμένο χρονικό διάστημα. Παραμένει αναλλοίωτη ανεξάρτητα από το σημείο προσάρτησης του κόμβου στο Internet.

Οικείο δίκτυο (Home network): Ένα δίκτυο, πιθανώς εικονικό (virtual) με πρόθεμα δικτύου που ταιριάζει στην οικεία διεύθυνση ενός κινητού κόμβου. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι κλασικοί μηχανισμοί IP δρομολόγησης θα παραδώσουν ένα πακέτο προορισμένο προς την οικεία διεύθυνση ενός κινητού κόμβου στο οικείο του δίκτυο.

Πράκτορας κινητικότητας (Mobility agent): Ένας οικείος ή ξένος πράκτορας.

Σύνδεσμος κινητικότητας (Mobility binding): Ο συσχετισμός μιας οικείας διεύθυνσης με μια care-of διεύθυνση και ο εναπομένον χρόνος ζωής αυτού του συσχετισμού.

Τούνελ (Tunnel): Το μονοπάτι που ακολουθείται από ένα Internet datagram ενώ είναι εγκλεισμένο σε ένα άλλο Internet datagram. Το μοντέλο λειτουργίας είναι ότι όταν είναι εγκλεισμένο το πακέτο, προωθείται σε έναν πράκτορα που γνωρίζει ότι πρέπει να το εξάγει και να το προωθήσει τελικά στον πραγματικό του προορισμό (RFC2003).



Σχήμα 2-4: Εγκλεισμός IP σε IP (IP in IP encapsulation)

Επισκεπτόμενο δίκτυο (Visited network): Ένα δίκτυο εκτός του οικείου δικτύου του κινητού κόμβου στο οποίο ο κινητός κόμβος είναι προσαρτημένος.

Λειτουργία

Το Mobile IP πρωτόκολλο είναι ένας τρόπος να πραγματοποιηθούν οι εξής σχετικές λειτουργίες:

Ανακάλυψη πρακτόρων (Agent Discovery): Οι πράκτορες κινητικότητας διαφημίζουν τη διαθεσιμότητα σε κάθε σύνδεση για την οποία παρέχουν υπηρεσίες.

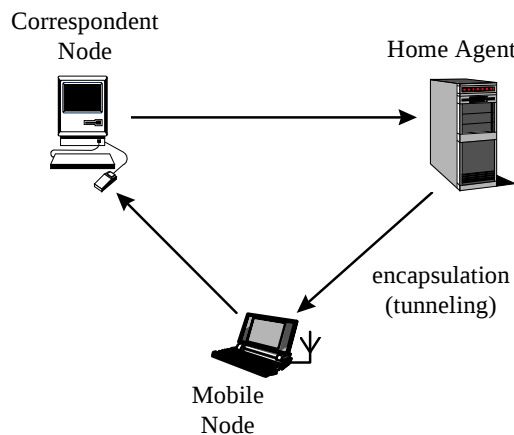
Εγγραφή (Registration): Όταν ο κινητός κόμβος είναι απομακρυσμένος από το οικείο του δίκτυο, γνωστοποιεί την care-of του διεύθυνση στον οικείο του πράκτορα.

Τούνελ (Tunneling): Προκειμένου τα πακέτα να παραδίδονται στον κινητό κόμβο όταν αυτός βρίσκεται σε επισκεπτόμενο δίκτυο, ο οικείος πράκτορας πρέπει να τα περάσει μέσα από «τούνελ» προς την care-of διεύθυνση.

- Οι πράκτορες κινητικότητας (οικείος και ξένος) γνωστοποιούν την ύπαρξη τους στέλνοντας μηνύματα διαφήμισης πρακτόρων (agent advertisements). Εναλλακτικά ένας κινητός κόμβος μπορεί να προκαλέσει ένα μήνυμα διαφήμισης πρακτόρων απαιτώντας το.
- Αφού λάβει τη διαφήμιση ενός πράκτορα, ο κινητός κόμβος αποφασίζει αν βρίσκεται στο οικείο του δίκτυο ή σε κάποιο ξένο. Ο κινητός κόμβος ουσιαστικά συμπεριφέρεται σαν οποιοσδήποτε άλλος κόμβος στο οικείο του δίκτυο όταν δεν έχει απομακρυνθεί από αυτό.
- Όταν απομακρυνθεί ο κινητός κόμβος από το οικείο του δίκτυο, του ανατίθεται μια care-of διεύθυνση (care of address). Αυτό επιτυγχάνεται προκαλώντας ή περιμένοντας τη διαφήμιση του πράκτορα κινητικότητας (mobility agent) και επικοινωνώντας μαζί του. Εναλλακτικά το κινητό τερματικό μπορεί να επικοινωνήσει με αντίστοιχες οντότητες διευθυνσιοδότησης χρησιμοποιώντας άλλα πρωτόκολλα, όπως για παράδειγμα το Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP) ή το Point-to-Point-Protocol (PPP).
- Όταν βρίσκεται έξω από το οικείο του δίκτυο, ο κινητός κόμβος ενημερώνει τον οικείο του πράκτορα για τη νέα του care-of διεύθυνση. Η ενημέρωση αυτή μπορεί να γίνεται και μέσω του ξένου πράκτορα.
- Τα πακέτα (datagrams) που στέλνονται στην οικεία διεύθυνση του κινητού κόμβου αναχαιτίζονται από τον οικείο πράκτορα (home agent). Ο οικείος πράκτορας είναι ο δρομολογητής του οικείου δικτύου που υλοποιεί λειτουργίες Proxy ARP για την αναχαιτίση των πακέτων αυτών. Αυτά, αντί να προωθηθούν προς την hardware διεύθυνση, εγκλείονται σε άλλα Internet datagrams και προωθούνται από τον οικείο πράκτορα προς την care-of διεύθυνση. Στην έξοδο του τούνελ (είτε στον ξένο πράκτορα είτε στον ίδιο τον κινητό κόμβο), εξάγονται τα πρωτότυπα datagrams, και τελικά παραδίδονται στον κινητό κόμβο.
- Στην αντίθετη κατεύθυνση, τα πακέτα που στέλνονται από τον κινητό κόμβο παραδίδονται γενικά στον προορισμό τους χρησιμοποιώντας τους κλασικούς μηχανισμούς δρομολόγησης του Internet πρωτοκόλλου, χωρίς να απαιτείται να περνάνε από τον οικείο πράκτορα.

Όταν ένας οικείος πράκτορας στέλνει ένα πακέτο με τη διαδικασία τούνελ στην care-of διεύθυνση, ο εσωτερικός προορισμός της IP επικεφαλίδας (δηλαδή η οικεία διεύθυνση του κινητού κόμβου δεν λαμβάνεται ουσιαστικά υπόψη από παρεμβαλλόμενους δρομολογητές μεταξύ του οικείου και του επισκεπτόμενου δικτύου. Στην care-of διεύθυνση, το αρχικό πακέτο βγαίνει από το «τούνελ» και παραδίδεται στον κινητό κόμβο.

Είναι καθήκον κάθε οικείου πράκτορα να προσελκύει και να αναχαιτίζει πακέτα που προορίζονται για την οικεία διεύθυνση καθενός από τους εγγεγραμμένους του κινητούς κόμβους. Στο Σχήμα 2-5 φαίνεται η δρομολόγηση των πακέτων προς και από έναν κινητό κόμβο απομακρυσμένο από το οικείο του δίκτυο. Ο κινητός κόμβος χρησιμοποιεί care-of διεύθυνση στο επισκεπτόμενο δίκτυο.



Σχήμα 2-5: Τριγωνική δρομολόγηση

1. Ένα datagram προς τον κινητό κόμβο φθάνει στο οικείο δίκτυο μέσω κλασικής IP δρομολόγησης.
2. Το datagram αναχαιτίζεται από τον οικείο πράκτορα (Proxy ARP) και διοχετεύεται μέσω τούνελ στην care-of διεύθυνση.
3. Το datagram εξάγεται από το τούνελ και παραδίδεται στον κινητό κόμβο.
4. Για datagrams που στέλνονται από τον κινητό κόμβο, η κλασική IP δρομολόγηση τα παραδίδει στον προορισμό τους. Στο Σχήμα 2-5, ο ξένος πράκτορας είναι ο προκαθορισμένος δρομολογητής (default router) του κινητού κόμβου.

Προβλήματα

Όπως έχει δειχθεί, τα πακέτα που στέλνονται στον κινητό κόμβο πρέπει να περάσουν μέσα από τον οικείο πράκτορα όταν ο κινητός κόμβος βρίσκεται απομακρυσμένος από το οικείο δίκτυο. Τα πακέτα όμως από τον κινητό κόμβο σε άλλους στατικούς κόμβους του Internet μπορούν να δρομολογηθούν απ' ευθείας στους προορισμούς τους όπως φαίνεται στο Σχήμα 2-5. Η ασύμμετρη αυτή δρομολόγηση ονομάζεται τριγωνική δρομολόγηση (triangular routing) και απέχει κατά πολύ από τη βέλτιστη, ειδικά στις περιπτώσεις, όπου ο ανταποκριτής κόμβος είναι πολύ κοντά στον κινητό κόμβο.

Προκειμένου να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα της τριγωνικής δρομολόγησης προτείνονται αλγόριθμοι βελτιστοποίησης της διαδικασίας της δρομολόγησης. Τα πλεονεκτήματα της βελτιστοποίησης της δρομολόγησης είναι προφανή, αφού ο ανταποκριτής κόμβος θα επικοινωνεί με τον κινητό χωρίς τη μεσολάβηση του οικείου πράκτορα. Το μεγάλο μειονέκτημα του πρωτοκόλλου που προτείνεται και η ουσιαστική διαφορά με το πρωτόκολλο για Mobile IP [RFC2002] είναι ότι απαιτεί αλλαγές στον ανταποκριτή κόμβο.

Η βασική ιδέα που κρύβεται πίσω από τη βελτιστοποίηση δρομολόγησης είναι ότι τα μονοπάτια (routes) από τους ανταποκριτές κόμβους προς τους κινητούς κόμβους μπορούν να βελτιωθούν αν ο ανταποκριτής κόμβος έχει έναν ενημερωμένο σύνδεσμο κινητικότητας (mobility binding) για τον κινητό κόμβο στον πίνακα δρομολόγησης του. Συνεπώς προτείνεται η ανταλλαγή μηνυμάτων μεταξύ του κινητού και του ανταποκριτή κόμβου για να επιτευχθεί η ενημέρωση αυτού του συνδέσμου. Χρησιμοποιώντας αυτή την πληροφορία, ο ανταποκριτής κόμβος θα μπορεί να στέλνει (μέσω της διαδικασίας τούνελ) εγκλεισμένα πακέτα κατευθείαν στην care-of διεύθυνση του κινητού κόμβου χωρίς να μεσολαβεί ο οικείος πράκτορας.

2.4 IPv6

Η έκδοση 6 του πρωτοκόλλου διαδικτύου (IP protocol) σχεδιάζεται να αντικαταστήσει την έκδοση που χρησιμοποιείται αυτή τη στιγμή στο Internet (IPv4). Οι κυριότερες αλλαγές που περιλαμβάνονται στη νέα έκδοση του πρωτοκόλλου είναι οι εξής:

- **Εκτεταμένες δυνατότητες διευθυνσιοδότησης.** Η έκδοση 6 αυξάνει το μέγεθος της IP διεύθυνσης από 32 bits σε 128 bits, για να υποστηρίξει περισσότερα επίπεδα ιεραρχίας διευθυνσιοδότησης, ένα πολύ μεγαλύτερο αριθμό κόμβων (2^{128} αντί για 2^{32}) και απλούστερη αυτόματη ρύθμιση των διευθύνσεων. Η επεκτασιμότητα της δρομολόγησης multicast (προς περισσότερους κόμβους) βελτιώνεται με την πρόσθεση ενός πεδίο «σκοπού» (scope) στις multicast διευθύνσεις. Καθορίζεται ακόμη ένας νέος τύπος διεύθυνσης ο anycast, που χρησιμοποιείται για την αποστολή πακέτων σε οποιονδήποτε από μία ομάδα κόμβων.
- **Απλούστευση της μορφής της επικεφαλίδας.** Μερικά πεδία της IPv4 επικεφαλίδας καταργήθηκαν ή έγιναν επιλέξιμα για να μειωθεί στις περισσότερες περιπτώσεις το κόστος επεξεργασίας της διαχείρισης των πακέτων και να μειωθεί το κόστος εύρους ζώνης για την IPv6 επικεφαλίδα.
- **Βελτιωμένη υποστήριξη για επεκτάσεις και επιλογές.** Οι αλλαγές στην επικεφαλίδα επιτρέπουν πιο αποτελεσματική προώθηση, λιγότερο αυστηρά όρια στο μέγεθος των πεδίων και μεγαλύτερη ευελιξία για την εισαγωγή νέων επιλογών στο μέλλον.
- **Δυνατότητα σημείωσης ροής (Flow Labeling).** Προστίθεται μια νέα δυνατότητα για την υποστήριξη του μαρκαρίσματος των πακέτων που ανήκουν σε συγκεκριμένες ροές κυκλοφορίας, για τις οποίες ο αποστολέας ζητά ειδική μεταχείριση, όπως μη-προκαθορισμένη ποιότητα υπηρεσίας ή υπηρεσία πραγματικού χρόνου (real-time).

- **Δυνατότητες πιστοποίησης (authentication) και προστασίας.** Καθορίζονται επεκτάσεις για την υποστήριξη πιστοποίησης, ακεραιότητα των δεδομένων και (επιλεκτικά) το απόρρητο των δεδομένων για το IPv6.
- **Υποστήριξη κινητών κόμβων.** Υποστηρίζεται η κινητικότητα των κόμβων με τη χρήση του Mobile IPv6 πρωτοκόλλου, στο οποίο κάθε IPv6 κόμβος μαθαίνει και συγκρατεί την care-of διεύθυνση ενός κινητού κόμβου και στη συνέχεια στέλνει πακέτα κατευθείαν στον κινητό κόμβο χρησιμοποιώντας αυτήν την care-of διεύθυνση.

2.4.1 Επικεφαλίδα IPv6

Η επικεφαλίδα των πακέτων IPv6 είναι σαφώς απλούστερη από την αντίστοιχη των πακέτων IPv4. Έχει πολύ λιγότερα υποχρεωτικά πεδία, γεγονός που κάνει την επεξεργασία στους δρομολογητές ευκολότερη. Η αξιοσημείωτη αλλαγή όμως είναι ο τετραπλασιασμός των πεδίων διευθύνσεων, που όμως έχει την παρενέργεια ότι το ελάχιστο μήκος ενός IP πακέτου αυξάνεται, λόγω των μεγάλων πεδίων διευθύνσεων. Αξίζει να σημειωθεί ότι κύρια δύναμη πίσω από τη ραγδαία ανάπτυξη της IPv6 τεχνολογίας είναι η έλλειψη διαθέσιμων IPv4 διευθύνσεων. Όταν θα τεθεί σε ευρεία χρήση το IPv6 πρωτόκολλο, θα εκλείψει αυτό το πρόβλημα και κάποια άλλα τα οποία δεν είχαν προβλεφθεί στον αρχικό σχεδιασμό του Internet πρωτοκόλλου πριν από 40 χρόνια.

Version	Priority	Flow Label	
Payload Length		Next Header	Hop Limit
Source Address			
Destination Address			

Σχήμα 2-6: Βασικά πεδία επικεφαλίδας IPv6

Επεξηγήσεις:

- **Version** (Έκδοση): 4 bits. Η έκδοση του πρωτοκόλλου Internet. Έχει την τιμή 6.
- **Priority** (Προτεραιότητα): 4 bits. Τιμή προτεραιότητας που ανατίθεται από την πηγή για να υποδείξει την επιθυμητή προτεραιότητα παράδοσης για τα πακέτα.
- **Flow Label** (Ετικέτα ροής): 24 bits. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να μαρκάρει τα πακέτα εκείνα για τα οποία ζητείται ειδική μεταχείριση από τους δρομολογητές.
- **Payload Length** (Μήκος δεδομένων): 16 bits. Μήκος του υπολοίπου του πακέτου που ακολουθεί την επικεφαλίδα.

- **Next Header** (Επόμενη επικεφαλίδα): 8 bits. Αναγνωρίζει τον τύπο της επικεφαλίδας που ακολουθεί αμέσως μετά τη βασική IPv6 επικεφαλίδα.
- **Hop Limit** (Όριο αλμάτων): 8 bits. Μειώνεται κατά ένα σε κάθε κόμβο που διασχίζει. Το πακέτο απορρίπτεται όταν η τιμή αυτή γίνει μηδέν. Παρεμφερές πεδίο με το Χρόνο Ζωής του IPv4.
- **Source address** (Διεύθυνση πηγής): 128 bits
- **Destination address** (Διεύθυνση προορισμού): 128 bits

Στο IPv6, μπορεί να ενσωματωθεί επιλεκτικά και άλλη πληροφορία σε ξεχωριστές επικεφαλίδες επέκτασης, που τοποθετούνται μεταξύ της IPv6 επικεφαλίδας και της επικεφαλίδας του ανώτερου στρώματος σε ένα πακέτο. Όπως φαίνεται από τα παρακάτω παραδείγματα, ένα IPv6 datagram μπορεί να περιέχει καμία ή περισσότερες επικεφαλίδες επέκτασης, όπου η κάθε μία αναγνωρίζεται από το πεδίο Επόμενης Επικεφαλίδας στην προηγούμενη επικεφαλίδα.

IPv6 Επικεφαλίδα Επόμενη Επικεφαλίδα = TCP	Επικεφαλίδα TCP + δεδομένα		
IPv6 Επικεφαλίδα Επόμενη Επικεφαλίδα = Δρομολόγηση	Επικεφαλίδα Δρομολόγησης Επόμενη Επικεφαλίδα = TCP	Επικεφαλίδα TCP + δεδομένα	
IPv6 Επικεφαλίδα Επόμενη Επικεφαλίδα = Δρομολόγηση	Επικεφαλίδα Δρομολόγησης Επόμενη Επικεφαλίδα = Κατακερματισμός	Επικεφαλίδα Κατακερματισμού Επόμενη Επικεφαλίδα = TCP	Τμήμα Επικεφαλίδας TCP + δεδομένα

Σχήμα 2-7: Επικεφαλίδες επέκτασης IPv6

Με την εξαίρεση της επικεφαλίδας επέκτασης Hop-by-Hop (άλμα προς άλμα) οι δρομολογητές δεν επεξεργάζονται τις επικεφαλίδες επέκτασης.

2.5 Mobile IPv6

Το IPv4 δεν προσφέρει υποστήριξη για κινητούς χρήστες, αφού το σημείο προσάρτησης ενός κόμβου θεωρείται σταθερό. Γι' αυτό, αναπτύχθηκε ένα επιπρόσθετο σύστημα, το Mobile IPv4. Μέσω αυτού του συστήματος, ένα κινητό τερματικό μπορεί να συνδέεται με το Internet χωρίς να πρέπει να αλλάζει τα υπάρχοντα χαρακτηριστικά του δικτύου.

Η επόμενη γενιά του Internet πρωτοκόλλου IPv6 θα έχει υποστήριξη για κινητικότητα ενσωματωμένη. Δεν έχει ακόμη αποκρυσταλλωθεί το τελικό κείμενο και οι τελικές

προδιαγραφές (specifications), όμως η βασική φιλοσοφία και οι μέθοδοι που θα χρησιμοποιούνται έχουν ήδη εδραιωθεί [ID-Johnson98].

Οι βασικές έννοιες και απαιτήσεις για το σχεδιασμό του Mobile IPv6 είναι οι ίδιες με αυτές για το Mobile IPv4. Υπάρχουν δηλαδή οι έννοιες της οικείας και της care-of διεύθυνσης, του οικείου πράκτορα, και του συνδέσμου κινητικότητας που αντιστοιχεί την οικεία διεύθυνση σε μία care-of διεύθυνση. Το πλεονέκτημα όμως του σχεδιασμού στο Mobile IPv6 είναι ότι δεν έχει υλοποιηθεί ακόμη ευρέως η νέα γενιά του Internet πρωτοκόλλου, επομένως κάθε IPv6 κόμβος θα μπορεί να καταλαβαίνει και να εκτελεί τις λειτουργίες που σχετίζονται με την κινητικότητα. Το γεγονός αυτό του δίνει ένα σημαντικό πλεονέκτημα, αφού κάθε IPv6 κόμβος θα μπορεί να επικοινωνήσει απρόσκοπτα με κάθε κινητό IPv6 κόμβο.

Η ορολογία δεν διαφέρει από την ορολογία του IPv4.

2.5.1 Αναλυτική περιγραφή

Ένας κινητός κόμβος είναι πάντα προσβάσιμος μέσω της οικείας του διεύθυνσης. Όταν ο κινητός κόμβος βρίσκεται στο οικείο του δίκτυο, τα πακέτα που προορίζονται γι' αυτόν δρομολογούνται με τους κλασικούς μηχανισμούς δρομολόγησης.

Όταν ένας κινητός κόμβος προσαρτείται σε κάποιο ξένο δίκτυο, είναι επίσης προσβάσιμος μέσω μίας ή περισσότερων care-of διευθύνσεων εκτός από την οικεία του διεύθυνση. Ο κινητός κόμβος συνήθως αποκτά την care-of διεύθυνση του μέσω αυτόματης ανάθεσης διευθύνσεων, η οποία μπορεί να χρησιμοποιεί κατάσταση (stateful) όπως το DHCPv6 [ID-Bound98] ή όχι (stateless) [Thomson98] σύμφωνα με τις μεθόδους της Ανακάλυψης Γειτόνων (Neighbor Discovery) του IPv6 [ID-Narten98].

Τότε δηλώνει μία από τις care-of διευθύνσεις του με έναν δρομολογητή στο οικείο του δίκτυο, τον οικείο του πράκτορα. Αυτή η εγγραφή του συνδέσμου (binding registration) πραγματοποιείται με τον κινητό κόμβο να στέλνει ένα πακέτο με μια επιλογή προορισμού (Destination Option) 'Binding Update' (Ενημέρωση Συνδέσμου) στον οικείο πράκτορα. Αυτός απαντά επιστρέφοντας ένα πακέτο με επιλογή προορισμού 'Binding Acknowledgement' (Επιβεβαίωση Συνδέσμου) στον κινητό κόμβο. Η care-of διεύθυνση αυτού του συνδέσμου στον οικείο πράκτορα λέγεται πρωτεύουσα care-of διεύθυνση (primary care-of address). Στη συνέχεια ο οικείος πράκτορας αναχαιτίζει όποια πακέτα προορίζονται για την οικεία διεύθυνση του κινητού κόμβου και τα προωθεί μέσω «τούνελ» στην πρωταρχική care-of διεύθυνση του κινητού κόμβου. Για να επαναπροωθήσει τα πακέτα, ο οικείος πράκτορας χρησιμοποιεί εγκλεισμό IPv6 (IPv6 encapsulation) [ID-Conta98] για να εγκλείσει τα πακέτα μέσα σε άλλα προορισμένα για την care-of διεύθυνση του κινητού κόμβου.

Οι επιλογές προορισμού Binding Update και Binding Acknowledgement καθώς και η επιλογή Binding Request (Αίτηση Σύνδεσης) χρησιμοποιούνται επίσης προκειμένου οι IPv6 κόμβοι που επικοινωνούν με έναν κινητό κόμβο να μαθαίνουν και να κατακρατούν (cache) τον σύνδεσμο (binding) του κινητού κόμβου. Όταν στέλνει ένα πακέτο σε οποιονδήποτε IPv6 προορισμό, ο IPv6 κόμβος ελέγχει τους κατακρατούμενους συνδέσμους για την ύπαρξη καταχώρισης για τη διεύθυνση προορισμού. Αν υπάρχει κατακρατημένος σύνδεσμος για αυτή τη διεύθυνση, ο κόμβος χρησιμοποιεί μια IPv6 Επικεφαλίδα Δρομολόγησης [ID-Deering97] (αντί για IPv6 εγκλεισμό) για να

δρομολογηθεί το πακέτο στον κινητό κόμβο μέσω της care-of διεύθυνσης που υποδεικνύεται στον σύνδεσμο. Αν ο αποστολέας κόμβος δεν έχει κατακρατημένο σύνδεσμο για τη διεύθυνση προορισμού, στέλνει το πακέτο κανονικά, χωρίς Επικεφαλίδα Δρομολόγησης, και το πακέτο αναχαιτίζεται και επαναπροωθείται από τον οικείο πράκτορα του κινητού κόμβου, όπως προαναφέρθηκε. Στη συνέχεια ο κόμβος που επικοινωνεί με έναν κινητό κόμβο θα αναφέρεται ως ανταποκριτής κόμβος.

Αφού σε ένα πακέτο μπορούν να αναπαρασταθούν ως Επιλογές Προορισμού, οι Binding Update, Binding Acknowledgement, Binding Request μπορούν να ενσωματωθούν σε οποιοδήποτε IPv6 πακέτο. Κάθε επιλογή μπορεί να αποσταλεί με ένα από τους παρακάτω δύο τρόπους

- Ενσωματωμένη σε κάποιο IPv6 πακέτο που μεταφέρει δεδομένα όπως για παράδειγμα TCP ή UDP.
- Σε ένα ξεχωριστό IPv6 πακέτο που δεν περιέχει δεδομένα.

Το Mobile IPv6 ορίζει επίσης μια επιπλέον IPv6 Επιλογή Προορισμού. Όταν ένας κινητός κόμβος βρίσκεται έξω από το οικείο του δίκτυο και στέλνει ένα πακέτο, θέτει ως Διεύθυνση Πηγής μία από τις παρούσες care-of διευθύνσεις του και συμπεριλαμβάνει μία 'Home Address' (Οικεία Διεύθυνση) Επιλογή Προορισμού στο πακέτο, θέτοντας της προφανώς την τιμή της οικείας του διεύθυνσης. Πολλοί δρομολογητές υλοποιούν πολιτική ασφάλειας όπως 'ingress filtering' που δεν επιτρέπουν προώθηση των πακέτων που φαίνονται να έχουν Διεύθυνση Πηγής η οποία δεν είναι τοπολογικά σωστή. Χρησιμοποιώντας την care-of διεύθυνση ως τη Διεύθυνση Πηγής, το πακέτο θα μπορέσει να περάσει κανονικά από τέτοιους δρομολογητές, και οι κανόνες φιλτραρίσματος των δρομολογητών θα μπορούν να εντοπίζουν την πραγματική φυσική πηγή του πακέτου με τον ίδιο τρόπο με τον οποίο εντοπίζουν πακέτα από στατικούς κόμβους. Συμπεριλαμβάνοντας ακόμη την Επιλογή Προορισμού Οικείας Διεύθυνσης, ο αποστολέας κινητός κόμβος μπορεί να ενημερώσει για την οικεία του διεύθυνση τον ανταποκριτή κόμβο που θα λάβει αυτό το πακέτο. Συνεπώς η χρήση της care-of διεύθυνσης είναι διαφανής για τα επίπεδα πάνω από το επίπεδο υποστήριξης Mobile IPv6 (δηλαδή επίπεδο μεταφοράς και πάνω). Η εισαγωγή της επιλογής Οικείας Διεύθυνσης επηρεάζει μόνο την παραλαβή από τον ανταποκριτή κόμβο του πακέτου. Δεν δημιουργείται ούτε αλλάζει καμία κατάσταση στον ανταποκριτή κόμβο ως αποτέλεσμα της παραλαβής πακέτου με Επιλογή Προορισμού 'Οικεία Διεύθυνση'

2.6 Διαφορές Mobile IPv4 - Mobile IPv6

Από τις προηγούμενες περιγραφές των πρωτοκόλλων Mobile IPv4 και Mobile IPv6 οι διαφορές μεταξύ τους μπορούν να εστιαστούν στα εξής σημεία:

Κατάργηση του Ξένου Πράκτορα (Foreign Agent)

Ο Foreign Agent είναι στοιχείο απαραίτητο για το Mobile IPv4, ενώ δεν απαιτείται για το Mobile IPv6. Ο κύριος λόγος κατάργησης του είναι ο αυτόματος τρόπος ανάθεσης care-of διευθύνσεων μέσω πρωτοκόλλων που αναπτύχθηκαν.

Βελτιστοποίηση της Δρομολόγησης

Κάθε IPv6 κόμβος που είναι ανταποκριτής κόμβος ενός κινητού IPv6 κόμβου κατακρατεί (cache) τον σύνδεσμο κινητικότητας (mobility binding) των κινητών κόμβων με τους οποίους επικοινωνεί. Με τον τρόπο αυτό δεν είναι απαραίτητη η δρομολόγηση των πακέτων μέσω του Οικείου Πράκτορα για να φθάσουν στον κινητό κόμβο. Επίσης δεν είναι απαραίτητος ο εγκλεισμός (encapsulation), αφού μπορεί να χρησιμοποιήσει την Επικεφαλίδα Δρομολόγησης.

Η ουσιαστική βέβαια διαφορά είναι η ενσωματωμένη υποστήριξη που θα παρέχει σε κινητούς κόμβους το IPv6 και η οποία αντικατοπτρίζεται στις υποχρεωτικές συνθήκες που πρέπει να υπακούουν όλοι οι IPv6 κόμβοι (κινητοί και στατικοί) για την υποστήριξη της κινητικότητας.

2.7 Αναφορές

- [RFC791] J. B. Postel, editor. *Internet Protocol*, RFC 791, September 1981.
- [RFC1256] S. Deering, *ICMP router discovery messages*, RFC 1256, September 1991.
- [RFC1688] W. Simpson, *IPng Mobility Considerations*, RFC 1688, August 1994.
- [RFC1883] S. Deering, R. Hinden, *Internet Protocol, Version6 (IPv6) Specification*, Network Working Group, RFC 1883, December 1995.
- [RFC1885] A. Conta, S. Deering, *Internet Control Message Protocol (ICMPv6) for the Internet Protocol Version 6 (IPv6) Specification*, Standards Track, RFC 1885, December 1995.
- [RFC2002] C. Perkins, *IP Mobility Support*, IETF Standards Track, RFC 2002, October 1996.
- [RFC2003] C. Perkins, *IP encapsulation within IP*, RFC 2003, October 1996.
- [ID-Johnson98] D. Johnson, C. Perkins, *Mobility Support in IPv6*, Mobile IP Working Group, Internet-draft, Work in Progress, <draft-ietf-mobileip-ipv6-05.txt>, March '98.
- [ID-Johnson97] D. Johnson, C. Perkins *Route Optimization in Mobile IP*, Internet Draft, <draft-ietf-mobileip-optim-07.txt>, December 1997.
- [ID-Bound98] J. Bound, C. Perkins *Dynamic Host Configuration Protocol for IPv6 (DHCPv6)*, Internet Draft, <draft-ietf-dhc-dhcpv6-12.txt>, March 1998.

- [ID-Thomson98] S. Thomson, T. Narten, *IPv6 Stateless Address Autoconfiguration*, Internet Draft, <draft-ietf-ipngwg-addrconf-v2-02.txt>, February 1998.
- [ID-Narten98] T. Narten, W. Simpson, E. Nordmark, *Neighbor Discovery for IP Version 6 (IPv6)*, Internet Draft, <draft-ietf-ipngwg-discovery-v2-02.txt>, February 1998.
- [ID-Conta98] A. Conta, S. Deering, *Generic Packet Tunneling in IPv6 Specification*, Internet Draft, <draft-ietf-ipngwg-ipv6-tunnel-08.txt>, February 1998.
- [ID-Deering97] S. Deering, R. Hinden, *Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification*, Internet Draft, <draft-ietf-ipngwg-ipv6-spec-v2-01.txt>, December 1997.
- [Perkins96] C. Perkins, D. Johnson, *Mobility Support in IPv6*, Proceedings of MobiCom '96, November 10-12, 1996, Rye, New York, USA.
- [Perkins97] C. Perkins, *Mobile IP*, IEEE Communications Magazine, May 1997.
- [Tannenbaum89] A. Tannenbaum, *Computer Networks*, Second Edition, Prentice Hall, 1989.

RSVP

3. Γενική επισκόπηση του κεφαλαίου

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται το πρωτόκολλο δέσμευσης πόρων RSVP. Αναλύονται οι λειτουργικές του οντότητες, τα μοντέλα δέσμευσης πόρων που χρησιμοποιεί και οι μηχανισμοί με τους οποίους λειτουργεί και επικοινωνεί με άλλα πρωτόκολλα.

3.1 Εισαγωγή

Η παρούσα αρχιτεκτονική του Internet, όπως αυτή καθορίζεται από το Internet πρωτόκολλο παρέχει ένα πολύ απλό μοντέλο υπηρεσιών. Το IP δεν προϋποθέτει τίποτε για τα πρωτόκολλα που βρίσκονται σε κατώτερο επίπεδο (επίπεδο σύνδεσης link layer) και προσφέρει μια υπηρεσία στρώματος δικτύου χωρίς σύνδεση (connectionless), μη αξιόπιστη, που δεν αποκλείει την απώλεια πακέτων, αναδιάταξη της σειράς τους και διπλότυπα αντίγραφα τους. Τα προβλήματα αυτά, μαζί με την καθυστέρηση στους δρομολογητές μεγαλώνουν με την αύξηση του φόρτου στο δίκτυο. Εξαιτίας της έλλειψης σαφών εγγυήσεων, το παραδοσιακό IP μοντέλο παράδοσης αναφέρεται ως «καλύτερης προσπάθειας» (best effort). Απαιτούνται επιπρόσθετα πρωτόκολλα ανώτερου επιπέδου που να παρέχουν αξιοπιστία από άκρη σε άκρη όπως το TCP (Transmission Control Protocol). Το TCP παρέχει την απαιτούμενη αξιοπιστία χρησιμοποιώντας μηχανισμούς επαναμετάδοσης πακέτων, οι οποίοι αυξάνουν επιπλέον την ολική καθυστέρηση μεταφοράς της πληροφορίας.

Τα τελευταία χρόνια, αναπτύχθηκαν πολλές νέες κατηγορίες καταναμημένων εφαρμογών, όπως τηλεδιάσκεψη, εικονική πραγματικότητα. Είναι προφανές ότι το πρωτόγονο μοντέλο του Internet είναι ανεπαρκές για αυτές τις νέες εφαρμογές. Η ανεπάρκεια αυτή προκύπτει από την αποτυχία του μοντέλου σημείου-προς-σημείου, καλύτερης προσπάθειας να καλύψει δύο βασικές ανάγκες των εφαρμογών. Κατ' αρχήν, πολλές από αυτές τις εφαρμογές είναι ευαίσθητες στην ποιότητα της υπηρεσίας που προσφέρεται στα πακέτα τους. Προκειμένου ένα δίκτυο να προσφέρει την κατάλληλη ποιότητα υπηρεσίας πρέπει να αναβαθμιστεί από το υπάρχον μοντέλο καλύτερης προσπάθειας και να επιτρέπει ροές. Η ροή (flow) είναι ο γενικός όρος που θα χρησιμοποιείται για διακριτά ρεύματα κυκλοφορίας δεδομένων σε ένα δίκτυο. Στη συνέχεια, οι νέες αυτές εφαρμογές δεν ακολουθούν αυστηρά το μοντέλο σημείου-προς-σημείο με ένα μοναδικό αποστολέα και ένα μοναδικό δέκτη. Αντίθετα, πολλές φορές οι εφαρμογές αυτές έχουν περισσότερους από έναν αποστολείς ή/και δέκτες, όπως στο παράδειγμα της τηλεδιάσκεψης ή της τηλεεκπαίδευσης.

Αυτό δεν είναι ιδιαίτερο πρόβλημα για την παραδοσιακή κυκλοφορία στο Internet, η οποία δεν είναι πραγματικού χρόνου, όπως δεδομένα FTP. Όμως, τα τελευταία χρόνια αναπτύσσονται ραγδαία νέες εφαρμογές πραγματικού χρόνου που απαιτούν επικοινωνίες πολυμέσων, όπως η τηλεδιάσκεψη. Οι εφαρμογές αυτές είναι τόσο ευαίσθητες στις καθυστερήσεις, που το IP πρωτόκολλο είναι ανεπαρκές ακόμη και σε

μέτριο φόρτο. Μερικές φορές το πρόβλημα αυτό απαλύνεται εισάγοντας στην εφαρμογή πληροφορία για το φόρτο του δικτύου. Παρόλα αυτά, υπάρχει ανάγκη υποστήριξης πολλών εφαρμογών με επαυξημένες εγγυήσεις παρεχόμενης υπηρεσίας σχετικά με το εύρος ζώνης, καθυστέρηση πακέτων και απωλειών.

Η έρευνα τα τελευταία χρόνια στράφηκε προς την ανάπτυξη νέων αρχιτεκτονικών και μοντέλων υπηρεσιών για την καλύτερη εξυπηρέτηση των απαιτήσεων των νέων εφαρμογών. Μολονότι προέκυψαν προτάσεις με βασικές διαφορές, υπάρχει συναίνεση ότι κάθε νέα αρχιτεκτονική ικανή να εξυπηρετήσει multicast και ποικιλία ποιότητας υπηρεσιών μπορεί να διαιρεθεί σε πέντε διακριτά τμήματα:

1. **Προδιαγραφή ροής (Flow specification).** Το δίκτυο και οι διάφορες ροές δεδομένων χρειάζονται μια κοινή γλώσσα επικοινωνίας, ώστε η πηγή να ενημερώνει το δίκτυο τα χαρακτηριστικά της ροής και το δίκτυο να καθορίζει την ποιότητα υπηρεσίας για αυτή τη ροή.
2. **Δρομολόγηση (Routing).** Το δίκτυο πρέπει να αποφασίζει πώς να μεταφέρει πακέτα από την πηγή στον προορισμό ή σε περίπτωση multicast στους προορισμούς της ροής.
3. **Δέσμευση Πόρων (Resource Reservation).** Προκειμένου το δίκτυο να δώσει σε μια συγκεκριμένη ροή μια ποσοτικά προσδιορισμένη ποιότητα υπηρεσίας, όπως ένα όριο στην καθυστέρηση, είναι συνήθως αναγκαίο για το δίκτυο να φυλάξει ορισμένους πόρους (εύρος ζώνης, buffers).
4. **Έλεγχος Αποδοχής (Admission Control).** Επειδή οι πόροι ενός δικτύου είναι πεπερασμένοι, δεν μπορεί να ικανοποιεί όλες τις αιτήσεις δέσμευσης πόρων. Για να διατηρηθεί ο φόρτος του δικτύου σε ένα επίπεδο, όπου μπορούν να ικανοποιηθούν όλες οι εγγυήσεις ποιότητας υπηρεσίας, η αρχιτεκτονική του δικτύου πρέπει να περιέχει έναν μηχανισμό ελέγχου αποδοχής. Ο μηχανισμός αυτός καθορίζει ποιες αιτήσεις θα ικανοποιήσει και ποιες θα απορρίψει διατηρώντας έτσι το φόρτο του δικτύου σε ανεκτό επίπεδο.
5. **Χρονοδρομολόγηση πακέτων (Packet Scheduling).** Μετά από κάθε μετάδοση πακέτου, ένας διακόπτης στο δίκτυο πρέπει να αποφασίσει ποιο πακέτο θα μεταδώσει στη συνέχεια. Την εργασία αυτή την αναλαμβάνει ο αλγόριθμος χρονοδρομολόγησης πακέτων, που βρίσκεται στο κέντρο κάθε αρχιτεκτονικής δικτύου, αφού καθορίζει ποιες ποιότητες υπηρεσίας θα μπορεί το δίκτυο να παρέχει.

Το RSVP (resource ReSerVation Protocol) είναι η επικρατέστερη πρόταση αυτή τη στιγμή για το τμήμα της αρχιτεκτονικής που διαχειρίζεται την δέσμευση πόρων.

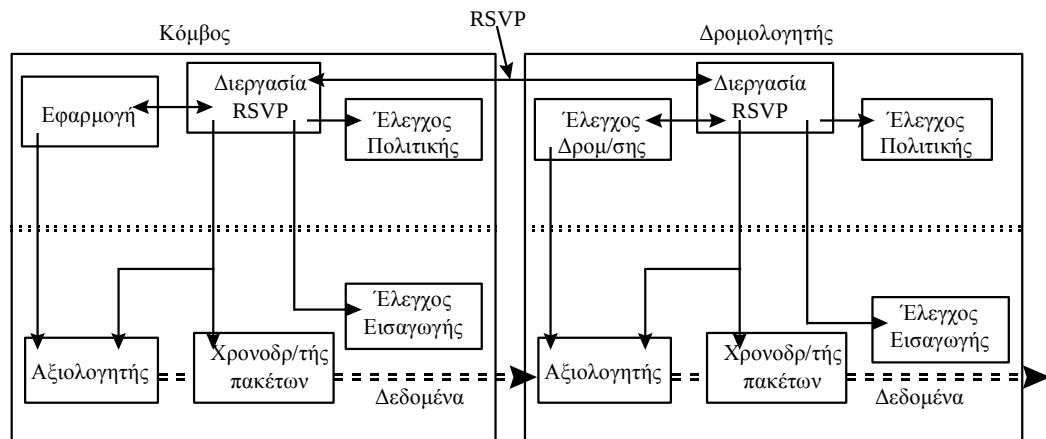
3.2 Λειτουργική περιγραφή

Το RSVP δεσμεύει πόρους για μονοκατευθυντικές (simplex) ροές, δεσμεύει δηλαδή πόρους μόνο προς μία κατεύθυνση. Επομένως, το RSVP μεταχειρίζεται τον αποστολέα ως λογικά διακριτή οντότητα από τον δέκτη, παρόλο που η ίδια εφαρμογή μπορεί να συμπεριφέρεται τόσο σαν αποστολέας όσο και σαν δέκτης. Το RSVP λειτουργεί πάνω από το Internet πρωτόκολλο (IPv4 ή IPv6) καταλαμβάνοντας τη θέση ενός

πρωτοκόλλου μεταφοράς στη στοίβα των πρωτοκόλλων. Παρόλα αυτά, το RSVP δεν μεταφέρει δεδομένα εφαρμογών, αλλά είναι ένα πρωτόκολλο ελέγχου του IP όπως τα ICMP (Internet Control Message Protocol), IGMP (Internet Group Message Protocol) και τα διάφορα πρωτόκολλα δρομολόγησης. Όπως και οι υπόλοιπες υλοποιήσεις των πρωτοκόλλων δρομολόγησης και διαχείρισης, η διεργασία RSVP υλοποιείται στο παρασκήνιο.

Το RSVP δεν είναι πρωτόκολλο δρομολόγησης. Σχεδιάστηκε να λειτουργεί με παρόντα και μελλοντικά unicast και multicast πρωτόκολλα δρομολόγησης (OSPF). Η διεργασία RSVP συμβουλευεται την τοπική βάση δεδομένων δρομολόγησης για να αποκτήσει τις διαδρομές. Στην περίπτωση multicast για παράδειγμα, ένας κόμβος στέλνει μηνύματα IGMP για να εισαχθεί σε μια multicast ομάδα και στη συνέχεια στέλνει RSVP μηνύματα για να δεσμεύσει πόρους κατά μήκος του μονοπατιού αυτής της ομάδας. Τα πρωτόκολλα δρομολόγησης καθορίζουν που προωθούνται τα πακέτα. Το RSVP ασχολείται μόνο με την ποιότητα υπηρεσίας που απολαμβάνουν τα πακέτα αυτά.

Για την αποτελεσματική διαχείριση μεγάλων ομάδων, δυναμική εισαγωγή και διαγραφή μελών των ομάδων ετερογενείς απαιτήσεις δεκτών, το RSVP καθιστά τους δέκτες υπεύθυνους για την αίτηση για μια συγκεκριμένη ποιότητα υπηρεσίας. Μια αίτηση ποιότητας υπηρεσίας από μια εφαρμογή σε ένα δέκτη προωθείται στην τοπική διεργασία RSVP. Το RSVP στη συνέχεια μεταφέρει την αίτηση σε όλους τους κόμβους κατά μήκος του αντιστρόφου μονοπατιού των δεδομένων στην πηγή των δεδομένων. Η αίτηση δεν χρειάζεται να μεταφερθεί μακρύτερα από τον δρομολογητή όπου το μονοπάτι δεδομένων του δέκτη ενώνεται με το δένδρο διανομής multicast. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το κόστος επεξεργασίας της δέσμευσης να είναι γενικά λογαριθμικό αντί για γραμμικό ως προς τον αριθμό των δεκτών.



Σχήμα 3-1: Το RSVP σε κόμβους και δρομολογητές

Η ποιότητα υπηρεσίας υλοποιείται για μια συγκεκριμένη ροή δεδομένων από μηχανισμούς που ονομάζονται από κοινού «έλεγχος κυκλοφορίας». Οι μηχανισμοί αυτοί συμπεριλαμβάνουν (1) έναν αξιολογητή πακέτων (classifier), (2) έλεγχο αποδοχής (admission control), και (3) έναν χρονοδρομολογητή πακέτων (scheduler) ή κάποιον άλλο μηχανισμό που εξαρτάται από το επίπεδο σύνδεσης που να καθορίζει πότε θα προωθούνται συγκεκριμένα πακέτα. Ο αξιολογητής πακέτων καθορίζει την

κλάση της ποιότητας υπηρεσίας και πιθανώς τη δρομολόγηση για κάθε πακέτο. Για κάθε εξερχόμενη διασύνδεση, ο χρονοδρομολογητής πακέτων ή κάποιος παρεμφερής μηχανισμός επιτυγχάνει την επιθυμητή ποιότητα υπηρεσίας. Ο έλεγχος κυκλοφορίας υλοποιεί μοντέλα ποιότητας υπηρεσιών που καθορίζονται από το Integrated Services Working Group, το οποίο είναι ομάδα εργασίας στην IETF που αναπτύσσει πρωτόκολλα για ολοκληρωμένες υπηρεσίες.

Κατά τη διάρκεια της αρχικοποίησης της δέσμευσης, η RSVP αίτηση ποιότητας υπηρεσίας προωθείται σε δύο τοπικές μονάδες απόφασης: στον έλεγχο αποδοχής (admission control) και στον έλεγχο πολιτικής (policy control). Ο έλεγχος αποδοχής ελέγχει αν ο κόμβος έχει επαρκείς διαθέσιμους πόρους να παράσχει τη ζητούμενη ποιότητα υπηρεσίας. Ο έλεγχος πολιτικής καθορίζει αν ο χρήστης έχει δικαιώματα διοίκησης για να κάνει την δέσμευση. Αν πετύχουν και οι δύο έλεγχοι, τίθενται οι παράμετροι στον αξιολογητή πακέτων και στη διασύνδεση με το επίπεδο σύνδεσης (δηλαδή στον χρονοδρομολογητή πακέτων) για να επιτευχθεί η επιθυμητή ποιότητα υπηρεσίας. Αν ένας από τους δύο ελέγχους αποτύχει, η διεργασία RSVP επιστρέφει μια ειδοποίηση σφάλματος στην διεργασία εφαρμογής που υπέβαλε την αίτηση.

Οι μηχανισμοί του πρωτοκόλλου RSVP παρέχουν έναν εύκολο τρόπο δημιουργίας και διατήρησης καταστάσεων δεσμεύσεων πόρων διαμέσου ενός πλέγματος μονοπατιών unicast και multicast. Το ίδιο το RSVP μεταφέρει και μεταχειρίζεται παραμέτρους ποιότητας υπηρεσίας και ελέγχου πολιτικής σαν αδιαφανή δεδομένα, μεταφέροντας τις στις κατάλληλες μονάδες ελέγχου κυκλοφορίας και ελέγχου πολιτικής για διερμηνεία. Η δομή και τα περιεχόμενα των παραμέτρων ποιότητας υπηρεσίας καθορίζονται στο [RFC2210]. Η δομή και τα περιεχόμενα των παραμέτρων ελέγχου πολιτικής αναπτύσσονται ακόμη [ID-Herzog97].

Αφού τα μέλη μιας μεγάλης ομάδας multicast και η προκύπτουσα δενδρική τοπολογία multicast είναι πιθανό να αλλάξουν με το χρόνο, η σχεδίαση του RSVP υποθέτει ότι η κατάσταση για το RSVP και τον έλεγχο κυκλοφορίας πρέπει να δημιουργείται και να καταργείται σταδιακά σε δρομολογητές και κόμβους. Για το λόγο αυτό, το RSVP εγκαθιστά «μαλακή» κατάσταση (soft state). Το RSVP δηλαδή στέλνει περιοδικά μηνύματα «φρεσκαρίσματος» για τη διατήρηση της κατάστασης κατά μήκος των δεσμευμένων μονοπατιών. Αν τα μηνύματα αυτά δεν εμφανιστούν, λήγει ο χρόνος της κατάστασης δέσμευσης και έτσι καταργείται.

Συνοπτικά το RSVP έχει τις παρακάτω ιδιότητες:

- Το RSVP πραγματοποιεί δεσμεύσεις πόρων τόσο για unicast όσο και για multicast εφαρμογές, προσαρμοζόμενο δυναμικά σε μεταβαλλόμενες multicast ομάδες όσο και σε αλλαγές δρομολόγησης.
- Το RSVP είναι μονοκατευθυντικό, πραγματοποιεί δηλαδή δεσμεύσεις για μονοκατευθυντικές ροές δεδομένων.
- Το RSVP είναι κατευθυνόμενο από το δέκτη. Ο δέκτης μιας ροής δεδομένων αρχικοποιεί και διατηρεί την δέσμευση πόρων που χρησιμοποιείται για αυτή τη ροή.

- Το RSVP διατηρεί «μαλακή» κατάσταση σε δρομολογητές και κόμβους παρέχοντας υποστήριξη για δυναμικές αλλαγές σε ομάδες και αυτόματη προσαρμογή σε αλλαγές δρομολόγησης.
- Το RSVP δεν είναι πρωτόκολλο δρομολόγησης, αλλά εξαρτάται από τα υπάρχοντα και τα μελλοντικά πρωτόκολλα δρομολόγησης.
- Το RSVP μεταφέρει και διατηρεί παραμέτρους ελέγχου κυκλοφορίας και ελέγχου πολιτικής που είναι αδιαφανείς στο RSVP.
- Το RSVP παρέχει αρκετά μοντέλα δέσμευσης πόρων ή «στυλ» για να υποστηρίζει ποικιλία εφαρμογών.
- Το RSVP παρέχει διαφανή λειτουργία διαμέσου δρομολογητών που δεν το υποστηρίζουν.
- Το RSVP υποστηρίζει τόσο IPv4 όσο και IPv6.

3.3 Ροές δεδομένων

Το RSVP χρησιμοποιεί τον όρο συνεδρία (session) για να ορίσει μια ροή δεδομένων με ένα συγκεκριμένο προορισμό και πρωτόκολλο επιπέδου μεταφοράς. Το RSVP μεταχειρίζεται κάθε συνεδρία ξεχωριστά.

Μια συνεδρία RSVP ορίζεται από την τριάδα (DestAddress, ProtocolID [, DstPort]). Εδώ DestAddress είναι η IP διεύθυνση προορισμού των πακέτων δεδομένων (unicast ή multicast). ProtocolID είναι η ταυτότητα του πρωτοκόλλου επιπέδου μεταφοράς. DstPort είναι η παράμετρος επιλογής που αντιστοιχεί στο γενικευμένο port προορισμού, δηλαδή κάποιο περαιτέρω σημείο αποπολυπλεξίας στο επίπεδο μεταφοράς ή εφαρμογής. Το DstPort μπορεί να οριστεί από ένα πεδίο port προορισμού UDP/TCP, από ένα ισοδύναμο πεδίο σε ένα άλλο επίπεδο μεταφοράς ή από κάποια πληροφορία από την εφαρμογή.

3.4 Μοντέλο Δέσμευσης

Μια στοιχειώδης αίτηση δέσμευσης στο RSVP αποτελείται από ένα 'flowspec' (προδιαγραφή ροής) μαζί με ένα 'filter spec' (προδιαγραφή φίλτρου). Το flowspec καθορίζει την επιθυμητή ποιότητα υπηρεσίας. Το filter spec μαζί σε με μια προδιαγραφή συνεδρίας καθορίζουν το σύνολο των πακέτων δεδομένων -τη ροή- που θα λάβει την ποιότητα υπηρεσίας που καθορίστηκε με το flowspec. Το flowspec χρησιμοποιείται για να τίθενται οι παράμετροι στο χρονοδρομολογητή πακέτων του κόμβου ή τους άλλους μηχανισμούς του στρώματος σύνδεσης. Το filter spec χρησιμοποιούνται για να τίθενται οι παράμετροι στον αξιολογητή πακέτων. Τα πακέτα δεδομένων που κατευθύνονται προς καμία συγκεκριμένη συνεδρία, αλλά δεν ταιριάζουν σε κανένα από τα filter specs για τη συνεδρία αυτή υφίστανται μεταχείριση καλύτερης προσπάθειας.

Το flowspec σε μια αίτηση δέσμευσης γενικά θα συμπεριλαμβάνει μια κλάση ποιότητας υπηρεσίας και δύο σύνολα αριθμητικών παραμέτρων: (α) ένα 'Rspec' (R για reserve, δηλαδή δέσμευση) που καθορίζει την επιθυμητή ποιότητα υπηρεσίας και (β) ένα 'Tspec' (T για traffic, κυκλοφορία) που περιγράφει τη ροή δεδομένων. Η δομή και τα περιεχόμενα των Tspec και Rspec καθορίζονται στο [RFC 2210] και είναι γενικά αδιαφανή στο RSVP.

Σε κάθε ενδιάμεσο δρομολογητή, μια αίτηση δέσμευσης προκαλεί δύο γενικές ενέργειες ως εξής:

1. Δέσμευση σε ένα σύνδεσμο

Η διεργασία RSVP μεταβιβάζει την αίτηση στον έλεγχο αποδοχής και τον έλεγχο πολιτικής. Αν ένας από τους δύο ελέγχους αποτύχουν, η αίτηση απορρίπτεται και η διεργασία RSVP επιστρέφει ένα μήνυμα λάθους στον κατάλληλο αποδέκτη. Αν επιτύχουν και οι δύο, ο κόμβος θέτει τον αξιολογητή πακέτων να επιλέγει τα πακέτα δεδομένων που ορίζονται από το filter spec και επικοινωνεί με το κατάλληλο επίπεδο σύνδεσης για να επιτευχθεί η επιθυμητή ποιότητα υπηρεσίας που ορίζεται στο flowspec.

Οι λεπτομερειακοί κανόνες για την ικανοποίηση μιας αίτησης δέσμευσης RSVP εξαρτώνται από την συγκεκριμένη τεχνολογία επιπέδου σύνδεσης που χρησιμοποιείται σε κάθε διασύνδεση. Οι προδιαγραφές αναπτύσσονται προς το παρόν για τα διάφορα επίπεδα σύνδεσης. Για παράδειγμα, η επιθυμητή ποιότητα υπηρεσίας επιτυγχάνεται από τον χρονοδρομολογητή πακέτων, ο οποίος είναι υλοποιημένος στον οδηγό του επιπέδου σύνδεσης. Αν η τεχνολογία του επιπέδου σύνδεσης υλοποιεί τις δικές της ικανότητες διαχείρισης ποιότητας υπηρεσίας (ATM για παράδειγμα), το RSVP πρέπει να διαπραγματευθεί με το επίπεδο σύνδεσης για να επιτύχει την επιθυμητή ποιότητα υπηρεσίας.

2. Προώθηση της αίτησης προς τα πάνω (προς τον αποστολέα)

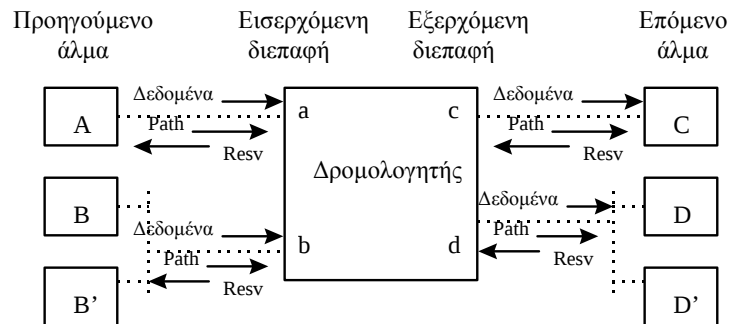
Μια αίτηση δέσμευσης προωθείται προς τα πάνω προς τους κατάλληλους αποστολείς. Το σύνολο των αποστολέων-κόμβων στο οποίο προωθείται μια δεδομένη αίτηση δέσμευσης λέγεται ο «σκοπός» (scope) της αίτησης.

Η αίτηση δέσμευσης που ένας κόμβος προωθεί προς τα πάνω μπορεί να διαφέρει από την αίτηση που δέχεται από κάτω για δύο λόγους. Ο μηχανισμός ελέγχου κυκλοφορίας μπορεί να μεταβάλει την αίτηση κόμβο-προς-κόμβο. Ακόμη, οι δεσμεύσεις από διαφορετικά κλαδιά ενός multicast δένδρου από τον ίδιο αποστολέα πρέπει να συγχωνευθούν καθώς οι αιτήσεις προωθούνται προς τα πάνω.

3.5 Μηχανισμοί του πρωτοκόλλου RSVP

Το Σχήμα 3-2 παρουσιάζει το μοντέλο του RSVP για ένα κόμβο δρομολογητή. Κάθε ροή δεδομένων φθάνει από το «προηγούμενο άλμα», δηλαδή από τον προηγούμενο κόμβο μέσω μιας ή περισσότερων αντίστοιχων εισερχόμενων διεπαφών και απομακρύνεται μέσω μιας ή περισσότερων εξερχόμενων διεπαφών. Η ίδια διεπαφή μπορεί να είναι εισερχόμενη και εξερχόμενη για διαφορετικές ροές δεδομένων. Περισσότερα προηγούμενα άλματα ή/και επόμενα άλματα μπορεί να είναι προσβάσιμα

μέσω μιας δεδομένης φυσικής διεπαφής. Για παράδειγμα στο Σχήμα 3-2 φαίνεται ότι τα (D) και (D') είναι συνδεδεμένα στο (d) χρησιμοποιώντας ένα broadcast LAN.



Σχήμα 3-2: Δρομολογητής που χρησιμοποιεί RSVP

Υπάρχουν δύο θεμελιώδη τύποι μηνυμάτων στο RSVP: Resv και Path:

Κάθε δέκτης στέλνει μηνύματα αιτήσεων δέσμευσης RSVP (Resv) προς την πηγή. Τα μηνύματα αυτά πρέπει να ακολουθήσουν ακριβώς την αντίστροφη πορεία του μονοπατιού που θα χρησιμοποιήσουν τα πακέτα δεδομένων προς τους αποστολείς που περιγράφονται στην επιλογή αποστολών. Δημιουργούν και διατηρούν «κατάσταση δέσμευσης» (reservation state) σε κάθε κόμβο κατά μήκος του μονοπατιού. Τα μηνύματα Resv πρέπει τελικά να παραδοθούν στους αποστολείς κόμβους, ώστε οι κόμβοι να θέσουν τις κατάλληλες παραμέτρους ελέγχου κυκλοφορίας για το πρώτο άλμα.

Κάθε αποστολέας μεταδίδει μηνύματα RSVP Path προς τους δέκτες κατά μήκος των μονοπατιών δρομολόγησης που παρέχονται από τα πρωτόκολλα δρομολόγησης. Τα μηνύματα Path αυτά δημιουργούν «κατάσταση μονοπατιού» (path state) σε κάθε κόμβο κατά μήκος της διαδρομής. Η κατάσταση μονοπατιού αυτή συμπεριλαμβάνει τουλάχιστον την IP διεύθυνση του κόμβου του προηγούμενου άλματος, η οποία χρησιμοποιείται για τη δρομολόγηση των Resv μηνυμάτων κόμβο-προς-κόμβο στην αντίστροφη κατεύθυνση. Στο μέλλον κάποια πρωτόκολλα δρομολόγησης μπορεί να παρέχουν την πληροφορία αντιστρόφου μονοπατιού απ' ευθείας, αντικαθιστώντας έτσι τη λειτουργία αντίστροφης δρομολόγησης της κατάστασης μονοπατιού. Το μήνυμα Path περιέχει ακόμη τις εξής πληροφορίες εκτός από τη διεύθυνση του προηγούμενου άλματος:

- Sender Template. Υποχρεωτικό. Περιγράφει την μορφή των πακέτων δεδομένων που θα στέλνει ο αποστολέας.
- Sender Tspec. Υποχρεωτικό. Καθορίζει τα χαρακτηριστικά κυκλοφορίας της ροής δεδομένων που θα ξεκινήσει ο αποστολέας. Χρησιμοποιείται από τον έλεγχο κυκλοφορίας για να αποτρέψει την υπερ-δέσμευση και ίσως αποτυχία του ελέγχου αποδοχής.
- Adspec. Προαιρετικό. Περιέχει πληροφορία διαφήμισης OPWA (One Pass With Advertising). Προωθείται στον τοπικό έλεγχο κυκλοφορίας, από όπου επιστρέφεται

ένα ανανεωμένο Adspec. Η ενημερωμένη έκδοση του προωθείται στη συνέχεια μέσα στα μηνύματα Path προς τους δέκτες.

Τα Path μηνύματα στέλνονται με τις ίδιες διευθύνσεις πηγής και προορισμού όπως και τα δεδομένα, ώστε να δρομολογούνται σωστά μέσω δικτύων που δεν υποστηρίζουν RSVP. Από την άλλη μεριά τα μηνύματα Resv στέλνονται άλμα-προς-άλμα και κάθε κόμβος που υποστηρίζει RSVP προωθεί το μήνυμα RSVP στην unicast διεύθυνση του προηγούμενου άλματος RSVP.

3.5.1 Συγχώνευση Flowspecs

Ένα μήνυμα Resv που προωθείται στο προηγούμενο άλμα μεταφέρει ένα flowspec που είναι το μεγαλύτερο από τα flowspecs που ζητήθηκαν από τα επόμενα άλματα προς τα οποία θα σταλθούν τα δεδομένα. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται συγχώνευση των flowspecs. Μια άλλη περίπτωση συγχώνευσης είναι όταν υπάρχουν πολλαπλές αιτήσεις από διαφορετικά επόμενα άλματα για την ίδια συνεδρία και με το ίδιο filter spec, αλλά το RSVP πρέπει να εγκαταστήσει μόνο μία δέσμευση σε αυτή τη διασύνδεση. Εδώ πάλι, η εγκαταστημένη δέσμευση πρέπει να έχει ένα αποτελεσματικό flowspec που είναι το μεγαλύτερο από τα flowspecs που ζητήθηκαν από τα επόμενα άλματα.

3.5.2 Μαλακή κατάσταση (Soft state)

Το RSVP προσεγγίζει το πρόβλημα της κατάστασης δέσμευσης σε υπολογιστές και δρομολογητές υιοθετώντας τη μαλακή κατάσταση. Η μαλακή κατάσταση του RSVP δημιουργείται και περιοδικά φρεσκαρίζεται από μηνύματα Path και Resv. Η κατάσταση διαγράφεται αν δεν καταφτάσουν μηνύματα φρεσκαρίσματος πριν τη λήξη ενός χρονικού διαστήματος. Η κατάσταση μπορεί επίσης να διαγραφεί με ένα σαφές μήνυμα διαγραφής. Στη λήξη κάθε διαστήματος φρεσκαρίσματος και μετά από κάθε αλλαγή κατάστασης, το RSVP ανιχνεύει την κατάσταση του για να στείλει και προωθήσει τα Path και Resv μηνύματα σε επόμενους κόμβους.

3.6 Αναφορές

- [RFC2205] R. Braden, L. Zhang, S. Berson, S. Herzog, S. Jamin, *Resource ReSerVation Protocol (RSVP) – Version 1 Functional Specification*, RFC 2205, September 1997.
- [RFC2210] J. Wroclawski, *The Use of RSVP with Integrated Services*, RFC 2210, September 1997.
- [ID-Herzog97] S. Herzog, *RSVP Extensions for Policy Control*, Internet Draft, <draft-ietf-rsvp-policy-ext-02.txt, .ps>, March 1997.
- [Zhang93] L. Zhang, S. Deering, D. Estrin, S. Schenker, D. Zappala, *RSVP: A New Resource ReSerVation Protocol*, IEEE Network Magazine, September 1993.
- [White97] P. White, *RSVP and Integrated Services in the Internet: A Tutorial*, IEEE Communications Magazine, May 1997.

Asynchronous Transfer Mode (ATM)

4. Γενική επισκόπηση του κεφαλαίου

Στο κεφάλαιο αυτό επιχειρείται μια ανασκόπηση της τεχνολογίας ATM. Εισάγονται βασικοί όροι και έννοιες καθώς και η γενική αρχιτεκτονική. Στη συνέχεια αναλύονται τα συστατικά στοιχεία ενός ATM δικτύου και ο τρόπος λειτουργίας του.

4.1 Γενική Επισκόπηση του Κεφαλαίου

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται η παρουσίαση του Asynchronous Transfer Mode (ATM). Περιγράφεται ένα τυπικό ATM δίκτυο, παρουσιάζονται τα επίπεδα ενός ATM δικτύου, περιγράφονται τα είδη της κυκλοφορίας που ένα ATM δίκτυο μπορεί να εξυπηρετήσει καθώς και οι μηχανισμοί που χρησιμοποιούνται για την ομαλή λειτουργία του δικτύου.

4.2 Εισαγωγή

Η πιο σημαντική τεχνολογία που προέκυψε από την μελέτη και ανάπτυξη του B-ISDN (Broadband Integrated Services Network) είναι το Asynchronous Transfer Mode (ATM). Το ATM είναι μια τεχνική μετάδοσης πληροφορίας χρησιμοποιώντας σταθερού μεγέθους πακέτα, τα ονομαζόμενα κελιά (cells). Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό του ATM είναι το ότι είναι σχεδιασμένο να λειτουργεί σε υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης. Ακόμη, το ATM ενοποιεί τη μετάδοση όλων των ειδών των δεδομένων, όπως φωνή, στατική ή κινούμενη εικόνα, τα περιεχόμενα ενός αρχείου, σε ένα μόνο δίκτυο.

Η ανάπτυξη του ATM πραγματοποιείται στα πλαίσια δύο διεθνών οργανισμών. Αυτοί οι οργανισμοί είναι η ITU-T και το ATM Forum. Η ITU-T (International Telecommunications Union - Telecommunication Standardisation Sector) είναι ο παγκόσμιος οργανισμός για την δημιουργία προτύπων στον χώρο των τηλεπικοινωνιών. Το ATM Forum, από την άλλη μεριά, είναι ένας οργανισμός που δημιουργήθηκε από την βιομηχανία και ασχολείται με την ανάπτυξη της ATM τεχνολογίας. Η ευρωπαϊκή επιτροπή που ασχολείται με την δημιουργία προτύπων στις τηλεπικοινωνίες (European Telecommunications Standards Institute - ETSI), έχει αποφασίσει να ακολουθήσει την ITU-T.

4.3 ATM

Όταν ξεκίνησε η μελέτη και ανάπτυξη του B-ISDN στα μέσα της δεκαετίας του 1980, υπήρξε η ιδέα να χρησιμοποιηθεί κάποια σύγχρονη τεχνική πολυπλεξίας με βάση το χρόνο (Time Division Multiplexing-TDM). Αν και το σύγχρονο TDM θα αποτελούσε μια φυσιολογική εξέλιξη του ISDN, δεν ταιριάζει απόλυτα στην φιλοσοφία του B-ISDN. Κατ' αρχάς δεν διαθέτει μια ευέλικτη διεπαφή (interface) για να αντιμετωπίσει

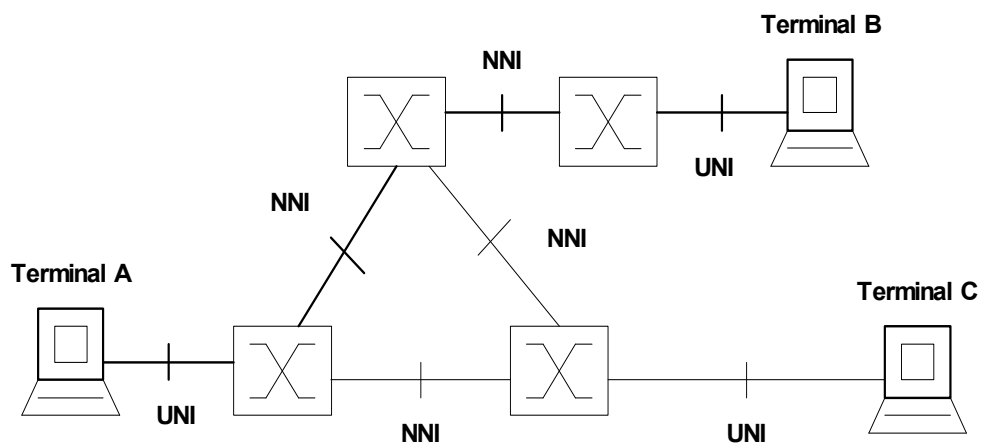
μια ποικιλία αναγκών. Στα πλαίσια του B-ISDN υπάρχουν εφαρμογές που χαρακτηρίζονται από ένα εύρος ρυθμών μετάδοσης. Έτσι η χρήση ενός ή δύο καναλιών σταθερού ρυθμού μετάδοσης δεν μπορεί να αντιμετωπίσει αυτή την ανάγκη. Επιπλέον αρκετές εφαρμογές δεδομένων (σε αντίθεση με τις εφαρμογές φωνής και video) λειτουργούν από την φύση τους υπό μορφή ριπών και επομένως είναι πιο εύκολο να τις διαχειριστούμε με την χρήση πακέτων. Τέλος η χρήση σύγχρονης τεχνικής δεν οδηγεί από μόνη της στην προσαρμογή του ρυθμού μετάδοσης.

Ένα δεύτερο μειονέκτημα της σύγχρονης τεχνικής είναι ότι η χρήση πολλαπλών υψηλών ρυθμών μετάδοσης περιπλέκει το σύστημα που διενεργεί τη μεταγωγή. Θα απαιτούσαμε την χρήση switching συστημάτων που θα μπορούσαν να χειριστούν πολλαπλά κανάλια υψηλών ρυθμών. Κάτι τέτοιο όμως έρχεται σε αντίθεση με το ISDN, το οποίο χειρίζεται μόνο κανάλια των 64-kbps.

Για όλους αυτούς του λόγους το σύγχρονο TDM απορρίφθηκε. Όμως είναι εφικτό να πολυπλεθθούν διάφορα ATM κανάλια με την χρήση σύγχρονων TDM μεθόδων, ώστε να πετύχουμε μεταδόσεις με ρυθμούς που είναι μεγαλύτεροι από το ρυθμό λειτουργίας των ATM πολυπλεκτών και συστημάτων που διενεργούν το switching.

4.4 Το ATM Δίκτυο

Ένα ATM δίκτυο αποτελείται από ATM switches τα οποία συνδέονται μεταξύ τους μέσω μιας διεπαφής η οποία ονομάζεται Network-Node Interface (NNI). Τα τερματικά συνδέονται στο δίκτυο μέσω μιας άλλης διεπαφής η οποία λέγεται User-Network Interface (UNI). Αν μέσα στο δίκτυο υπάρχουν ιδιωτικοί μεταγωγείς, η διεπαφή μεταξύ του ιδιωτικού και του δημόσιου τμήματος του δικτύου ονομάζεται Public UNI και η σύνδεση μεταξύ δύο ιδιωτικών μεταγωγέων ονομάζεται Private NNI (P-NNI).

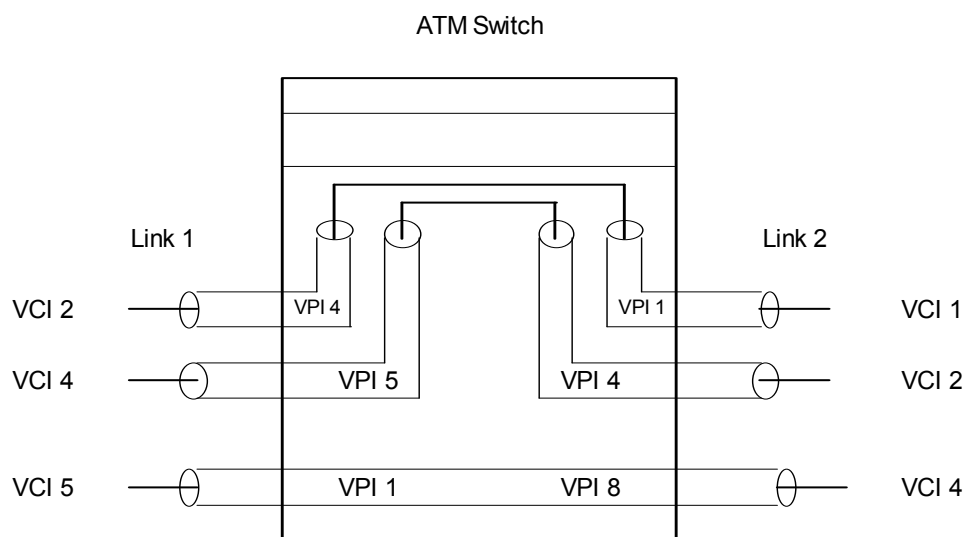


Σχήμα 4-1: Σύνδεση μεταξύ δύο τερματικών σε ένα ATM δίκτυο

Μια σύνδεση σε ένα ATM δίκτυο ονομάζεται περνά μέσα από ένα εικονικό κανάλι, virtual channel (VC). Υπάρχουν δύο ειδών εικονικών καναλιών, τα μόνιμα εικονικά κανάλια, Permanent Virtual Channels (PVCs) και τα μεταγόμενα εικονικά κανάλια,

Switched Virtual Channels (SVCs). Το Σχήμα 4-1 δείχνει ένα παράδειγμα ενός ATM δικτύου, όπου δύο τερματικά, τα Α και Β συνδέονται με μια εικονική σύνδεση. Σε ένα μεταγωγέα, η δρομολόγηση γίνεται με βάση δύο χαρακτηριστικούς αριθμούς. Οι αριθμοί αυτοί είναι το Virtual Path Identifier (VPI, προσδιοριστής εικονικού μονοπατιού) και το Virtual Channel Identifier (VCI), προσδιοριστής εικονικού καναλιού. Το ζεύγος VPI/VCI δίνεται σε κάθε εικονική σύνδεση από τον μεταγωγέα όταν εγκαθίσταται η σύνδεση και παραμένει το ίδιο σε όλη την διάρκεια της σύνδεσης. Θα πρέπει να τονιστεί ότι η τιμή που έχει το ζεύγος VPI/VCI έχει τοπική σημασία και γενικά είναι διαφορετική σε κάθε κομμάτι της ATM σύνδεσης.

Το ζεύγος VPI/VCI φυλάσσεται στην κεφαλή του κάθε cell και χρησιμοποιείται από τον μεταγωγέα για την δρομολόγηση. Συγκεκριμένα σε κάθε μεταγωγέα, υπάρχει ένας πίνακας δρομολόγησης που περιέχει πληροφορίες για την δρομολόγηση κάθε σύνδεσης. Οι πληροφορίες αυτές περιέχουν μεταξύ άλλων και την νέα τιμή που θα πάρει το ζεύγος VPI/VCI καθώς και η θύρα (port) εξόδου. Ένα εικονικό μονοπάτι (virtual path) χαρακτηρίζεται από ένα VPI και περιέχει πολλά εικονικά κανάλια (virtual channels). Η δρομολόγηση μπορεί να γίνει μόνο με βάση το VPI, χωρίς στην περίπτωση αυτή να αλλάζει το VCI. Το Σχήμα 4-2 δείχνει τη σχέση VPI/VCI σε ένα μεταγωγέα.



Σχήμα 4-2: Λειτουργία ενός ATM μεταγωγέα

Για την εγκαθίδρυση και διαχείριση των συνδέσεων σε ένα ATM δίκτυο είναι απαραίτητη η χρήση κατάλληλων πρωτοκόλλων σηματοδότησης (signalling protocols). Τα πρωτόκολλα αυτά είναι ακόμα στην φάση της μελέτης και ανάπτυξης. Υποψήφια για να χρησιμοποιηθούν για την σηματοδότηση στο UNI είναι το Q.2931 από την ITU-T και το UNI Signalling από το ATM Forum. Το πρωτόκολλο σηματοδότησης που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί στο NNI είναι ακόμα σε πρώιμο στάδιο. Τόσο η ITU-T, όσο και το ATM-Forum έχουν κάποιες πρώτες εκδόσεις των NNI πρωτοκόλλων. Το ATM Forum προχωρεί στις προδιαγραφές private NNI βασισμένο στο UNI. Συγκεκριμένα χρησιμοποιεί τα ίδια μηνύματα ελέγχου αλλά περιλαμβάνει και λειτουργίες για την δρομολόγηση των συνδέσεων.

Όταν ένα τερματικό θελήσει να εγκαταστήσει μια σύνδεση με ένα άλλο τερματικό, χρησιμοποιεί την σηματοδότηση του UNI (για παράδειγμα το μήνυμα SETUP του Q.2931) για να γίνει αυτή η εγκατάσταση. Το τερματικό που ξεκίνησε την διαδικασία θα πρέπει να περιγράψει την κυκλοφορία που πρόκειται να περάσει από την συγκεκριμένη σύνδεση και την ποιότητα υπηρεσίας (Quality of Service, QoS) που θέλει να λάβει. Αυτό γίνεται με την χρήση ειδικών παραμέτρων (QoS parameters). Μόλις ο μεταγωγέας λάβει την αίτηση για εγκαθίδρυση της σύνδεσης, θα ξεκινήσει την διαδικασία επικοινωνίας με τους άλλους μεταγωγείς μέσω NNI σηματοδότησης (αν το τερματικό που ξεκινά την διαδικασία και το τερματικό προορισμού βρίσκονται στον ίδιο μεταγωγέα τότε χρησιμοποιείται μόνο UNI σηματοδότηση). Η δρομολόγηση μιας σύνδεσης στα δημόσια δίκτυα γίνεται γενικά με βάση το πρότυπο E.164 το οποίο προέρχεται από την ITU-T, ενώ τα περισσότερα ιδιωτικά δίκτυα χρησιμοποιούν την NSAP διευθυνσιοδότηση του ATM Forum. Οι ATM διευθύνσεις του ATM Forum χρησιμοποιούν την σύνταξη του OSI NSAP.

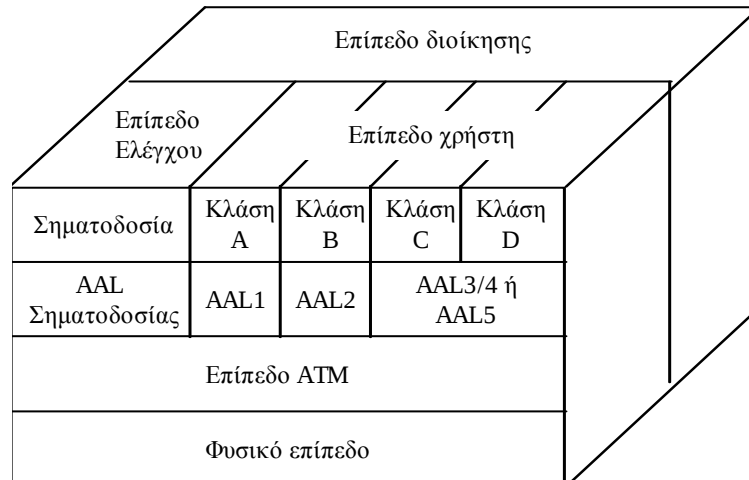
Όταν ένας μεταγωγέας δέχεται μια αίτηση για την εγκαθίδρυση μια σύνδεσης, εκτελεί μια λειτουργία για να ελέγξει αν μπορεί να δεχτεί την σύνδεση ή όχι. Η λειτουργία αυτή ονομάζεται Connection Admission Control (CAC), Έλεγχος Αποδοχής Σύνδεσης. Αν τελικώς η αίτηση γίνει αποδεκτή, τότε αυτή προωθείται στο τερματικό. Αν όμως η αίτηση δεν μπορεί να γίνει αποδεκτή, τότε ο προηγούμενος μεταγωγέας μπορεί εναλλακτικά να προωθήσει την αίτηση μέσω άλλου δρόμου προς το τερματικό-προορισμό. Όταν η αίτηση φτάσει τελικά στον μεταγωγέα που είναι συνδεδεμένος με το τερματικό-προορισμό τότε η αίτηση αυτή προωθείται στο τερματικό μέσω UNI σηματοδότησης.

Μόλις εγκαθιδρυθεί μια σύνδεση που χαρακτηρίζεται από κάποιες παραμέτρους, το δίκτυο και ο χρήστης “δημιουργούν” ένα συμβόλαιο. Το δίκτυο εγγυάται τον τύπο και την ποιότητα της υπηρεσίας που συμφωνήθηκε, εφόσον η κυκλοφορία ακολουθεί το πρότυπο που περιγράφεται στο “συμβόλαιο”. Οι τρέχουσες εκδόσεις των πρωτοκόλλων σηματοδότησης επιτρέπουν μόνο την αρχική συμφωνία των παραμέτρων που περιγράφουν την κυκλοφορία σε μια σύνδεση. Δεν επιτρέπουν δηλαδή, να γίνει κάποια επαναδιαπραγμάτευση, ούτε και επαναπροσδιορισμός των παραμέτρων αυτών.

Είναι σημαντικό να μην παρουσιαστεί παραβίαση των “συμβολαίων” που σχετίζονται με συνδέσεις άλλων τερματικών, λόγω της μη τήρησης του “συμβολαίου” από κάποιο τερματικό. Θα πρέπει να διασφαλιστεί ότι ένα τερματικό δεν στέλνει περισσότερη κυκλοφορία από αυτή που του επιτρέπεται. Η λειτουργία που εκτελεί αυτή την αστυνόμευση λέγεται Usage Parameter Control (UPC). Η συγκεκριμένη λειτουργία χρησιμοποιεί τον Generic Cell Rate Algorithm (GCRA) ο οποίος μπορεί να περιορίσει την κυκλοφορία μιας σύνδεσης βάσει του “συμβολαίου”.

4.5 Στοιβά Πρωτοκόλλων του ATM

Η στοιβά πρωτοκόλλων του ATM φαίνεται στο Σχήμα 4-3. Όπως παρατηρούμε από το Σχήμα, η στοιβά αυτή αποτελείται από τρία βασικά οριζόντια επίπεδα που σχετίζονται άμεσα με το ATM. Αυτά τα επίπεδα είναι το φυσικό επίπεδο (Physical Layer), το ATM επίπεδο (ATM Layer), το επίπεδο προσαρμογής ATM (ATM Adaptation Layer, ALL). Πάνω από τα τρία αυτά επίπεδα βρίσκονται άλλα πρωτόκολλα, ανάλογα βέβαια και με το δίκτυο που θέλουμε να υλοποιήσουμε.



Σχήμα 4-3: Στοιβά πρωτοκόλλων του ATM

Πέρα όμως από τρία αυτά οριζόντια επίπεδα παρατηρούμε ότι υπάρχουν τρία κάθετα επίπεδα. Αυτά τα επίπεδα είναι το επίπεδο χρήστη (user plane), το επίπεδο ελέγχου (control plane), το επίπεδο διαχείρισης (management plane). Το επίπεδο χρήστη χρησιμοποιείται για την μετάδοση της πληροφορίας που αφορά στον χρήστη, καθώς και με τον σχετιζόμενο με την πληροφορία αυτή έλεγχο. Το επίπεδο ελέγχου υλοποιεί όλες τις λειτουργίες για τον έλεγχο μιας κλήσης ή μιας σύνδεσης. Τέλος το επίπεδο διαχείρισης πραγματοποιεί την διαχείριση όλου του συστήματος και αναλαμβάνει τον συντονισμό των διαφόρων υποσυστημάτων και των λειτουργιών που αυτά επιτελούν.

4.5.1 Φυσικό Επίπεδο

Το φυσικό επίπεδο αποτελείται από δύο υποεπίπεδα: το υποεπίπεδο φυσικού μέσου (physical medium sublayer) και το υποεπίπεδο σύγκλισης μετάδοσης (transmission convergence sublayer).

Υποεπίπεδο Φυσικού Μέσου. Αυτό το υποεπίπεδο περιλαμβάνει μόνο λειτουργίες που είναι εξαρτώμενες από το φυσικό μέσο. Επομένως η προδιαγραφή του εξαρτάται από το μέσο που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί. Το υποεπίπεδο αυτό είναι υπεύθυνο για την μετάδοση και λήψη μιας συνεχούς ροής από bits με συσχετιζόμενη πληροφορία συγχρονισμού για την μετάδοση και την λήψη.

Υποεπίπεδο Σύγκλισης Μετάδοσης. Αυτό το υποεπίπεδο είναι υπεύθυνο για τις ακόλουθες λειτουργίες:

Δημιουργία και επαναφορά του πλαισίου μετάδοσης. Η μετάδοση στο φυσικό επίπεδο γίνεται με βάση τα πλαίσια. Η λειτουργία αυτή έχει να κάνει με την δημιουργία και διατήρηση της δομής του πλαισίου που θα είναι κατάλληλη για ένα συγκεκριμένο ρυθμό μετάδοσης κάθε φορά.

Προσαρμογή πλαισίου μετάδοσης. Η ανταλλαγή πληροφορίας στο ATM βασίζεται στην ροή των ATM cells. Το υποεπίπεδο αυτό είναι υπεύθυνο να δημιουργεί πλαίσια βάσει των πακέτων αυτών. Υπάρχει μια επιλογή ώστε να μην έχουμε δομή πλαισίου, αλλά να μεταδίδουμε και να λαμβάνουμε απλώς μια ροή πακέτων ATM.

Ευθυγράμμιση πακέτων. Αυτό το υποεπίπεδο είναι υπεύθυνο να διατηρεί τα όρια των ATM cells ούτως ώστε αυτά να χρησιμοποιηθούν σωστά στον προορισμό.

Δημιουργία ακολουθίας HEC και επιβεβαίωση της κεφαλής των ATM πακέτων. Κάθε κεφαλή ATM πακέτου προστατεύεται από ένα κώδικα ελέγχου κεφαλής (Header Error-Control code). Αυτό το υποεπίπεδο είναι υπεύθυνο να παράγει και να ελέγχει αυτό τον κώδικα.

Προσαρμογή ρυθμού μετάδοσης. Αυτό σημαίνει ότι το υποεπίπεδο εισάγει ATM πακέτα για να προσαρμόσει το ρυθμό μετάδοσης στο συγκεκριμένο σύστημα.

Πολλά διαφορετικά φυσικά επίπεδα μπορούν να χρησιμοποιηθούν με το ATM. Τα πιο κοινά είναι το Synchronous Digital Hierarchy (SDH) και το Synchronous Optical NETwork (SONET). Αυτά τα δύο Standards, εκ των οποίων το πρώτο αναπτύχθηκε στη Ευρώπη και το δεύτερο στις ΗΠΑ, είναι αρκετά παρόμοια. Μπορούν να χρησιμοποιήσουν και τα δύο μονότροπες και πολύτροπες οπτικές ίνες για την μετάδοση δεδομένων. Επίσης μπορούν να χρησιμοποιήσουν χάλκινο καλώδιο και συστρεμμένο ζεύγος (twisted pair), αν και οι ρυθμοί μετάδοσης είναι αρκετά χαμηλότεροι, δηλαδή μέχρι 155 Mbps για 100m.

4.5.2 ATM Επίπεδο

Το ATM επίπεδο είναι ανεξάρτητο του φυσικού μέσου. Μια περιγραφή των βασικών λειτουργιών του επιπέδου είναι η ακόλουθη:

Πολυπλεξία και αποπολυπλεξία των ATM πακέτων. Είναι δυνατό να διατηρηθούν πολλές λογικές συνδέσεις χρησιμοποιώντας μια φυσική σύνδεση.

Μετάφραση των VPI, VCI. Οι τιμές των VPI, VCI σχετίζονται με τις λογικές συνδέσεις και έχουν τοπική σημασία. Επομένως είναι απαραίτητο οι τιμές αυτές να μεταφράζονται.

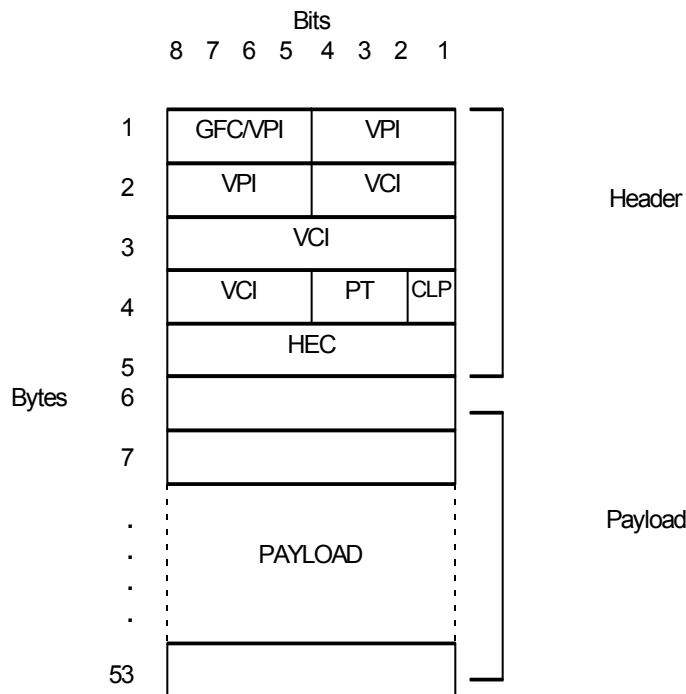
Δημιουργία και χρήση της επικεφαλίδας του ATM cell. Κατά την διάρκεια της μετάδοσης, το ATM επίπεδο δημιουργεί την επικεφαλίδα του ATM cell. Συμπληρώνονται όλα τα πεδία εκτός του HEC.

Γενικός έλεγχος ροής. Αυτή η λειτουργία παράγει πληροφορία ελέγχου ροής και την τοποθετεί στην κεφαλή κάθε ATM cell.

Όπως ήδη αναφέρθηκε το ATM επίπεδο δημιουργεί και χρησιμοποιεί την επικεφαλίδα του cell. Το ATM cell αποτελείται από 53 bytes και περιέχει 5 bytes που είναι η επικεφαλίδα. Η επικεφαλίδα αλλάζει σε κάθε μεταγωγή, το payload (πεδίο δεδομένων) όμως παραμένει το ίδιο. Η δομή ενός ATM cell φαίνεται στο Σχήμα 4-4.

Η δομή του ATM cell είναι η ίδια σε όλους τους κόμβους, εκτός από μια εξαίρεση. Η μόνη διαφορά είναι τα τέσσερα τελευταία bits του πρώτου byte. Στο UNI τα bits χρησιμοποιούνται σαν GFC (Generic Flow Control) ενώ στο NNI χρησιμοποιούνται για να επεκτείνουν το VPI. Η χρήση του GFC δεν έχει οριστεί ακόμα. Το VPI μπορεί να είναι 8 ή 12 bits ενώ το VCI είναι πάντα 16 bits. Κάποιους από τους συνδυασμούς των

VPI/VCI χρησιμοποιούνται για ειδικούς σκοπούς, όπως για παράδειγμα για σηματοδότηση.



Σχήμα 4-4: Τα πεδία του ATM cell στο User Network Interface (UNI)

Τα τρία bits του PT (Payload Type) προσδιορίζουν τον τύπο της πληροφορίας που μεταφέρει το cell. Το τρίτο bit προσδιορίζει αν το cell μεταφέρει δεδομένα (0) ή είναι cell διαχείρισης (1). Στα cells δεδομένων το δεύτερο bit προσδιορίζει αν το cell συνάντησε συμφόρηση (1) ή όχι (0). Το πρώτο bit στα cells δεδομένων χρησιμοποιείται από το AAL επίπεδο.

Το CLP (Cell Loss Priority) bit χρησιμοποιείται για να προσδιορίσει την προτεραιότητα του cell. Το HEC πεδίο χρησιμοποιείται τόσο για την ανίχνευση λαθών όσο και για την διόρθωση μονού λάθους. Το HEC (Header Error Control) πεδίο πρέπει να υπολογίζεται σε κάθε κόμβο του δικτύου γιατί σε κάθε κόμβο αλλάζει το ζεύγος VPI/VCI. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι δεν υπάρχει έλεγχος λαθών του payload. Έλεγχος λαθών υπάρχει και στο φυσικό επίπεδο.

4.5.3 Επίπεδο Προσαρμογής ATM

Το επίπεδο προσαρμογής του ATM αποτελείται από δύο υποεπίπεδα: το υποεπίπεδο κατακερματισμού και επανασύνδεσης (segmentation and reassembly sublayer) και το υποεπίπεδο σύγκλισης (convergence sublayer).

Το υποεπίπεδο κατακερματισμού και επανασύνδεσης είναι υπεύθυνο για τον κατακερματισμό της πληροφορίας που προέρχεται από υψηλότερα επίπεδα, σε μεγέθη κατάλληλα για το ATM επίπεδο, κατά την μετάδοση και για την επανασύνδεση των

περιεχομένων των ATM cells σε μονάδες κατάλληλες για επεξεργασία από υψηλότερα επίπεδα κατά την λήψη.

Το υποεπίπεδο σύγκλισης αποτελεί μια διεπαφή. Προδιαγράφει τις υπηρεσίες που παρέχει το επίπεδο AAL στα ανώτερα στρώματα.

Υπάρχουν τέσσερα διαφορετικά AALs, καθένα προορισμένο να υποστηρίζει συγκεκριμένη υπηρεσία. Επίσης υπάρχει και ένα ειδικό AAL το οποίο χρησιμοποιείται για σηματοδότηση και ονομάζεται signalling AAL (SAAL).

Το AAL1 προορίζεται για την μετάδοση σταθερού ρυθμού μετάδοσης κυκλοφορίας. Για να υποστηριχτεί κάτι τέτοιο έχουν οριστεί λειτουργίες που σχετίζονται με το ρολόι και με την καθυστέρηση. Το AAL1 PDU χωρά σε ένα ATM cell και μεταφέρει 47 bytes δεδομένων ενώ υπάρχει και ένα byte που είναι επικεφαλίδα.

Το AAL2 δεν έχει ακόμα οριστεί πλήρως, αλλά είναι αρκετά πιθανό να χρησιμοποιηθεί για επικοινωνίες μεταβλητού ρυθμού μετάδοσης.

Τα επίπεδα AAL 3 και 4 έχουν συγχωνευθεί δημιουργώντας το AAL3/4. Αυτό το πρωτόκολλο διενεργεί έλεγχο λαθών σε δύο επίπεδα. Σε επίπεδο AAL PDU και σε επίπεδο ATM cell. Ένα δεύτερο χαρακτηριστικό είναι ότι παρέχει την δυνατότητα της πολυπλεξίας.

Το AAL5 είναι κατάλληλο για επικοινωνίες δεδομένων. Μέχρι στιγμής τα AAL1 και AAL5 είναι αυτά που χρησιμοποιούνται περισσότερο.

Το SAAL παρέχει αξιόπιστη μεταφορά μηνυμάτων ελέγχου σε ένα δίκτυο ATM. Το SAAL αποτελείται από ειδικά τμήματα που έχουν υλοποιηθεί πάνω σε ένα AAL5. Οι νέες λειτουργίες περιλαμβάνουν την επαναμετάδοση χαμένων μηνυμάτων σηματοδότησης.

4.6 Η κυκλοφορία σε ένα ATM Δίκτυο

Το ATM έχει σχεδιαστεί να υποστηρίζει όλα τα είδη των τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών και επομένως θα πρέπει να μπορεί να δουλεύει με όλα τα είδη των δεδομένων. Σε αυτό το κομμάτι θα παρουσιαστούν τα διαφορετικά είδη κυκλοφορίας και ο τρόπος που το ATM τα χειρίζεται. Για κάθε ένα είδος κυκλοφορίας έχει δημιουργηθεί και μια κλάση που υποστηρίζει την μετάδοση της συγκεκριμένης κυκλοφορίας.

4.6.1 Κυκλοφορία Μεταβλητού Ρυθμού Μετάδοσης

Σε αυτή την περίπτωση όλη η κυκλοφορία είναι σε μορφή ριπής. Ακόμα και σε μια φυσιολογική τηλεφωνική συνομιλία, ο ομιλητής είναι σιωπηρός για το 60% του χρόνου. Επίσης σε κάποιες εφαρμογές, η μέγιστη τιμή του ρυθμού μετάδοσης μπορεί να είναι εκατοντάδες φορές μεγαλύτερη από την μέση τιμή της. Αρκετές από τις σημερινές τεχνολογίες δεσμεύουν ένα σταθερό ρυθμό μετάδοσης για μια τέτοια εφαρμογή. Αυτό φυσικά δεν είναι καθόλου αποδοτικό. Αντίθετα η ATM τεχνολογία είναι αρκετά πιο ευέλικτη. Το διαθέσιμο εύρος ζώνης μπορεί να κατανεμηθεί στις εφαρμογές ανάλογα

με τις απαιτήσεις τους. Αν τα δεδομένα μεταβλητού ρυθμού μετάδοσης είναι ευαίσθητα ως προς τη χρονική καθυστέρηση, τότε αυτά μεταδίδονται χρησιμοποιώντας την κλάση κυκλοφορίας Μεταβλητού Ρυθμού Μετάδοσης, πραγματικού χρόνου (realtime Variable Bit Rate, rt-VBR).

Στο ATM πολλές συνδέσεις πολυπλέκονται δυναμικά στην ίδια φυσική σύνδεση. Αυτό δημιουργεί ένα φαινόμενο πολυπλεξίας. Λόγω του φαινομένου αυτού η κάθε σύνδεση έχει στην διάθεσή της ένα εύρος ζώνης μικρότερο από το μέγιστο που θα χρειαστεί. Επειδή όμως το να χρειαστούν ταυτόχρονα όλες οι συνδέσεις το μέγιστό τους εύρος ζώνης έχει μικρή πιθανότητα να συμβεί, το σύστημα είναι αρκετά αποδοτικό. Το απαιτούμενο εύρος ζώνης υπολογίζεται στατιστικά και υπάρχει πάντα, έστω και μικρή, η πιθανότητα οι συνδέσεις να χρειαστούν περισσότερο από το διαθέσιμο εύρος ζώνης. Σε αυτή την περίπτωση ένα τμήμα της κυκλοφορίας θα πρέπει να αποθηκευτεί προσωρινά σε κάποιο buffer και επομένως να υποστεί επιπλέον καθυστέρηση. Αν δεν υπάρχει αρκετός χώρος στους buffers, τότε κάποια από τα δεδομένα θα χαθούν.

4.6.2 Κυκλοφορία Σταθερού Ρυθμού Μετάδοσης

Παραδείγματα τέτοιας κυκλοφορίας είναι μέθοδοι κωδικοποίησης που παράγουν δεδομένα που δεν είναι υπό μορφή ριπής. Συγκεκριμένα στις επικοινωνίες φωνής χρησιμοποιείται το Pulse Code Modulation (PCM), όπου η φωνή δειγματοληπτείται χρησιμοποιώντας μια σταθερή συχνότητα δειγματοληψίας και κάθε δείγμα κωδικοποιείται χρησιμοποιώντας ένα σταθερό ρυθμό από bits. Αυτή δεν είναι η πιο αποδοτική μέθοδος κωδικοποίησης αλλά μπορεί να είναι η πιο φτηνή.

Η κυκλοφορία σταθερού ρυθμού μετάδοσης πρέπει να μεταδοθεί μέσα από το δίκτυο στην μορφή που είναι. Δηλαδή με σταθερό ρυθμό μετάδοσης και με σταθερό χρόνο μεταξύ των δειγμάτων. Πολλά από τα ήδη υπάρχοντα δίκτυα επικοινωνιών προσφέρουν σταθερό ρυθμό μετάδοσης. Επομένως ένα καινούριο σύστημα επικοινωνιών θα πρέπει να υποστηρίζει την μετάδοση κυκλοφορίας σταθερού ρυθμού για να είναι συμβατό με παλιότερα συστήματα. Στο ATM είναι δυνατό να δεσμεύσουμε σταθερό εύρος ζώνης για μια σύνδεση χρησιμοποιώντας την κλάση κυκλοφορίας Σταθερού Ρυθμού (Constant Bit Rate, CBR).

4.6.3 Κυκλοφορία Μη-Πραγματικού Χρόνου

Όλη η κυκλοφορία μπορεί να χωριστεί σε πραγματικού και μη-πραγματικού χρόνου (αν και ο διαχωρισμός αυτός δεν είναι πάντα εύκολο να γίνει). Τα δεδομένα πραγματικού χρόνου πρέπει να μεταδοθούν με συγκεκριμένη καθυστέρηση και συγκεκριμένη διασπορά στην καθυστέρηση αυτή, διαφορετικά θα χαθεί η αξία αυτών των δεδομένων στον παραλήπτη. Παραδείγματα εφαρμογών που παράγουν δεδομένα πραγματικού χρόνου είναι οι διαδραστικές (interactive) υπηρεσίες, όπως η τηλεφωνία και η εικονοτηλεφωνία. Το τηλέφωνο παράγει CBR κυκλοφορία, ενώ το εικονοτηλέφωνο παράγει rt-VBR κυκλοφορία.

Υπάρχουν επίσης και δεδομένα μη-πραγματικού χρόνου. Για παράδειγμα τα δεδομένα ενός υπολογιστή είναι μη-πραγματικού χρόνου. Τα δεδομένα αυτά δεν εξαρτώνται από τον χρόνο και επομένως μπορούν να αποθηκευτούν περισσότερο μέσα στο δίκτυο. Αυτό δείχνει το δεύτερο πλεονέκτημα της πολυπλεξίας που εισάγει το ATM. Τα

δεδομένα μη-πραγματικού χρόνου μπορούν να μεταδίδονται μεταξύ των περιόδων όπου τα δεδομένα πραγματικού χρόνου μεταδίδονται με τις μέγιστες τιμές των ρυθμών μετάδοσής των. Στο ATM υπάρχουν τρεις διαφορετικές κλάσεις κυκλοφορίας που χρησιμοποιούνται για να μεταφέρουν μη-πραγματικού χρόνου κυκλοφορία. Αυτές είναι: η κλάση Μεταβλητού Ρυθμού Μετάδοσης, μη-πραγματικού χρόνου (Variable Bit Rate non realtime, nrt-VBR), η κλάση Διαθέσιμου Ρυθμού Μετάδοσης (Available Bit Rate, ABR) και η κλάση Μη Προσδιοριζόμενου Ρυθμού Μετάδοσης (Unspecified Bit Rate, UBR).

4.6.4 Οι Κλάσεις Κυκλοφορίας στο ATM και οι Παράμετροί τους

Το ATM Forum έχει καθορίσει ένα σύνολο κλάσεων κυκλοφορίας καθώς και τις παραμέτρους τους. Από τις κλάσεις που παρουσιάζονται στην συνέχεια είναι πιθανό να γίνουν κάποιες αλλαγές και συγκεκριμένα στην κλάση ABR. Οι κλάσεις κυκλοφορίας στο ATM είναι οι ακόλουθες:

Σταθερού Ρυθμού Μετάδοσης (CBR, Constant Bit Rate): Ο τύπος σύνδεσης CBR χρησιμοποιείται για να μεταφέρει σταθερού ρυθμού μετάδοσης κυκλοφορία με σταθερή χρονική σχέση μεταξύ των δειγμάτων.

Μεταβλητού Ρυθμού Μετάδοσης, πραγματικού χρόνου (rt-VBR, realtime Variable Bit Rate): Ο τύπος σύνδεσης rt-VBR χρησιμοποιείται για να μεταφέρει μεταβλητού ρυθμού μετάδοσης κυκλοφορία, με σταθερή χρονική σχέση μεταξύ των δειγμάτων.

Μεταβλητού Ρυθμού Μετάδοσης, μη-πραγματικού χρόνου (nrt-VBR, non realtime Variable Bit Rate): Ο τύπος σύνδεσης nrt-VBR χρησιμοποιείται για να μεταφέρει μεταβλητού ρυθμού κυκλοφορία, χωρίς να υπάρχει χρονική σχέση μεταξύ των δειγμάτων αλλά με εγγύηση για την μέση καθυστέρηση μεταφοράς και την απώλεια cell.

Διαθέσιμου Ρυθμού Μετάδοσης (ABR, Available Bit Rate): Η ABR κλάση είναι μια κλάση μη πραγματικού χρόνου όπως και η nrt-VBR, αλλά η δέσμευση του εύρους ζώνης γίνεται με βάση την “καλύτερη προσπάθεια”. Το δίκτυο θα δώσει στην σύνδεση όσο περισσότερο εύρος ζώνης μπορεί, αλλά θα πρέπει να πληροί τις ελάχιστες συνθήκες ενός συμβολαίου κυκλοφορίας. Η ABR κλάση χρησιμοποιεί επίσης και ένα μηχανισμό για τον έλεγχο ροής για κάθε VC και είναι κατάλληλη για μεταφορά δεδομένων από υπολογιστή.

Μη Προσδιοριζόμενου Ρυθμού Μετάδοσης (UBR, Unspecified Bit Rate): Η UBR κλάση δεν προσφέρει κανενός είδους εγγυήσεις. Ο χρήστης μπορεί να στείλει οποιοδήποτε πλήθος δεδομένων μέχρι μια μέγιστη τιμή, ενώ το δίκτυο δεν εγγυάται τίποτα σχετικά με την απώλεια cells, την καθυστέρηση ή την διασπορά στην καθυστέρηση.

Για κάθε κλάση κυκλοφορίας υπάρχει ένα πλήθος παραμέτρων που χαρακτηρίζουν την κυκλοφορία και την ποιότητα της υπηρεσίας (QoS). Οι συγκεκριμένες παράμετροι πρέπει να αρχικοποιηθούν από τον χρήστη κατά την εγκατάσταση της σύνδεσης. Στο μέλλον ενδέχεται να υπάρξει η δυνατότητα της διαπραγμάτευσης των τιμών που θα παίρνουν οι παράμετροι αυτοί.

Η κυκλοφορία που πρόκειται να σταλεί ορίζεται με το παρακάτω σύνολο παραμέτρων:

- Μέγιστος Ρυθμός Μετάδοσης (Peak Cell Rate, PCR)
- Μέσος Ρυθμός Μετάδοσης (Sustainable Cell Rate, SCR)
- Μέγεθος Ριπής (Burst Tolerance, BT)
- Ελάχιστος Ρυθμός Μετάδοσης (Minimum Cell Rate, MCR)
- Ανεκτικότητα στην Διασπορά της Καθυστέρησης των Cells (Cell Delay Variation Tolerance, CDVT)

Το PCR καθορίζει την μέγιστη και το MCR την ελάχιστη τιμή του ρυθμού μετάδοσης της κυκλοφορίας. Η μέση τιμή του ρυθμού μετάδοσης καθορίζεται από την SCR, ενώ το επιτρεπτό μήκος μιας ριπής καθορίζεται από την τιμή της BT. Η CDVT χρησιμοποιείται για να προφυλάσσει την κυκλοφορία από την καθυστέρηση που εισάγει το δίκτυο λόγω διαφόρων μηχανισμών όπως το UPC.

Εκτός των παραμέτρων που αφορούν στην κυκλοφορία υπάρχουν και παράμετροι που έχουν να κάνουν με την ποιότητα της υπηρεσίας (QoS). Αυτές οι παράμετροι είναι οι ακόλουθες:

- Διασπορά στην Καθυστέρηση μεταξύ Περιόδων Μεγίστων Ρυθμών Μετάδοσης (Peak to Peak Cell Delay Variation, CDV)
- Μέγιστη Καθυστέρηση Μεταφοράς (Maximum Cell Transfer Delay, Max. CTD)
- Μέση Καθυστέρηση Μεταφοράς (Mean Cell Transfer Delay, Mean CTD)
- Ποσοστό Απώλειας Cells (Cell Loss Ratio, CLR)

Traffic class/ Parameter	CBR	rt-VBR	nrt-VBR	ABR	UBR	Type
CLR	Specified	Specified	Specified	Specified	Unspecified	QoS
CDV	Specified	Specified	Unspecified	Unspecified	Unspecified	QoS
Mean CTD	Unspecified	Unspecified	Specified	Unspecified	Unspecified	QoS
Max. CTD	Specified	Specified	Unspecified	Unspecified	Unspecified	QoS
PCR	Specified	Specified	Specified	Specified	Specified	Traffic
CDVT	Specified	Specified	Specified	Specified	Specified	Traffic
SCR	N/A	Specified	Specified	N/A	N/A	Traffic
BT	N/A	Specified	Specified	N/A	N/A	Traffic
MCR	N/A	N/A	N/A	Specified	N/A	Traffic
Flow Cont.	No	No	No	Yes	No	

Πίνακας 4-1: Οι κλάσεις κυκλοφορίας του ATM και οι παράμετροί τους

Επιπλέον των παραμέτρων που ορίστηκαν παραπάνω, υπάρχει ένα ακόμα σύνολο παραμέτρων που σχετίζεται με την ABR κυκλοφορία. Στην συνέχεια δίνεται ένας

αναλυτικός πίνακας για τις παραμέτρους και τις κλάσεις κυκλοφορίας που σχετίζονται με αυτές.

4.6.5 Έλεγχος Κυκλοφορίας και Συμφόρησης

Όπως και στα υπόλοιπα είδη δικτύων, έτσι και στην περίπτωση του ATM ο έλεγχος της κυκλοφορίας είναι απαραίτητος για την σωστή λειτουργία του συστήματος. Χωρίς αυτές τις λειτουργίες, η κυκλοφορία από τους κόμβους των χρηστών μπορεί να υπερβεί την χωρητικότητα του δικτύου και να οδηγήσει σε υπερφόρτωση των buffers και εν συνεχεία σε απώλεια δεδομένων.

Ειδικότερα στα ATM δίκτυα υπάρχουν επιπλέον προβλήματα για τον σωστό έλεγχο της κυκλοφορίας. Τα προβλήματα αυτά προέρχονται από τον μικρό αριθμό bits που έχουμε στην διάθεσή μας για τον σκοπό αυτό. Αυτό το θέμα αποτελεί ένα σημαντικό πεδίο έρευνας και μέχρι στιγμής δεν έχει υπάρξει μια τελική λύση στο πρόβλημα αυτό. Μπορούμε να χωρίσουμε τις ενέργειες που κάνουμε σχετικά με την αντιμετώπιση του προβλήματος σε δύο κατηγορίες. Η μία κατηγορία είναι το σύνολο των ενεργειών που έχουν να κάνουν με τις λειτουργίες αποφυγής της συμφόρησης του δικτύου. Η δεύτερη κατηγορία αποτελείται από τις ενέργειες εκείνες που είναι απαραίτητες για την αντιμετώπιση μιας συμφόρησης στο δίκτυο από την στιγμή που αυτή επέλθει.

4.7 Αναφορές

- | | |
|---------------|---|
| [Chen95] | T. Chen, S. Liu, <i>ATM Switching Systems</i> , Artech House, 1995. |
| [Ginsburg96] | D. Ginsburg, <i>ATM solutions for enterprise networking</i> , Addison Wesley, 1996. |
| [Q.2931] | ITU-T Recommendation Q.2931. <i>B-ISDN DSS 2 UNI-Layer 3 Specification for basic connection control</i> . |
| [Saito93] | H. Saito, <i>Teletraffic Technologies in ATM Networks</i> , Artech House, 1993. |
| [Stallings95] | W. Stallings, <i>ISDN and Broadband ISDN with Frame Relay and ATM, Third Edition</i> , Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1995. |
| [UNI-3.1] | The ATM Forum, <i>User Network Interface (UNI) Specification UNI 3.1</i> , 1994. |

IP πάνω από ATM

5. Γενική επισκόπηση του κεφαλαίου

Σε αυτό το κεφάλαιο εξετάζονται οι θεμελιώδεις διαφορές ATM και IP και επιχειρείται μια καταγραφή των τεχνολογιών που έχουν προταθεί για τη σύζευξη τους. Έγινε προσπάθεια ώστε η απόπειρα αυτή της καταγραφής των διαφορετικών σχημάτων να είναι το δυνατό πληρέστερη.

5.1 Εισαγωγή

Οι ομάδες πρωτοκόλλων Internet και ATM ακολουθούν διαφορετικές προσεγγίσεις υποστήριξης δικτυακών εφαρμογών. Το Internet ακολουθεί την προσέγγιση χωρίς σύνδεση (connectionless), όπου τα δεδομένα προωθούνται βήμα-βήμα προς τον προορισμό. Κάθε IP πακέτο περιέχει αρκετή πληροφορία διευθυνσιοδότησης για να επιτρέψει στον εαυτό του να δρομολογηθεί ανεξάρτητα από όλα τα άλλα. Το ATM, αντίθετα ακολουθεί την προσανατολισμένη στη σύνδεση (connection oriented) προσέγγιση, όπου πρέπει να δημιουργηθεί μια σύνδεση πριν αρχίσουν τα δεδομένα να μεταδίδονται προς τον προορισμό τους. Αυτό σημαίνει ότι τα κελιά ATM πρέπει να φέρουν μόνο την ταυτότητα της σύνδεσης του, και όχι πληροφορία διευθυνσιοδότησης. Η διαφορά στις προσεγγίσεις σημαίνει ότι η παροχή Internet υπηρεσιών πάνω από ATM δεν είναι τετριμμένη και επιδέχεται πολλές πιθανές λύσεις.

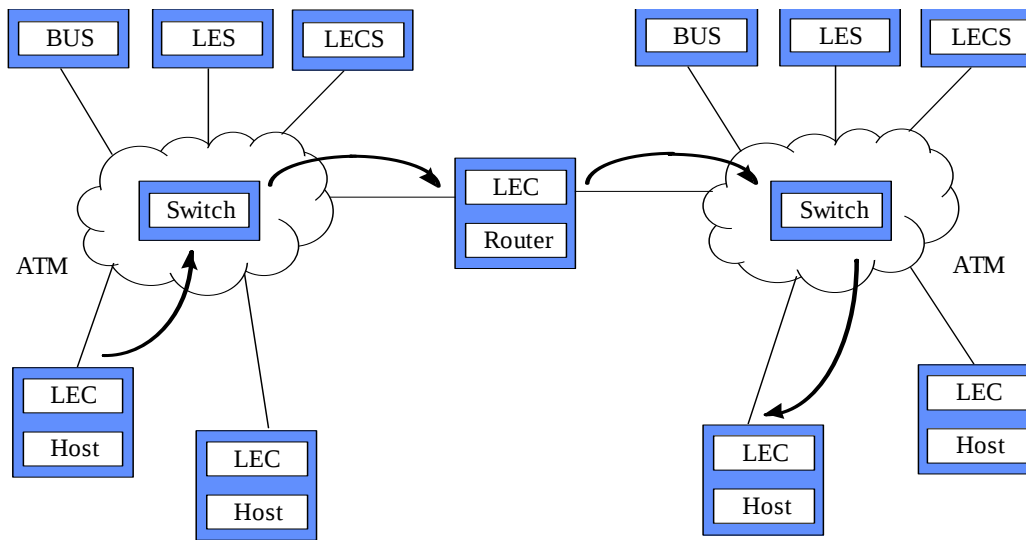
Τόσο η IETF (Internet Engineering Task Force) όσο και το ATM Forum έχουν αναπτύξει διάφορες τεχνικές παροχής υπηρεσιών Internet πάνω από ATM..

5.2 LAN Emulation (LANE)

Τα πρωτόκολλα LAN Emulation (Προσομοίωση Τοπικού Δικτύου) [LANEv1] και LANEv2 [LANEv2] αναπτύχθηκαν από το ATM Forum. Χρησιμοποιεί επομένως το πρωτόκολλο σηματοδοσίας UNI του ATM Forum. Το LANE επιτρέπει στις εφαρμογές να έχουν πρόσβαση στο ATM δίκτυο σαν να έτρεχαν πάνω από ένα Ethernet ή Token Ring τοπικό δίκτυο. Συνεπώς, τα βασικά πλεονεκτήματα του LANE είναι ότι (1) το υπάρχον λογισμικό για εφαρμογές του τοπικού δικτύου συνεχίζει να λειτουργεί χωρίς αλλαγές και πάνω από ATM δίκτυα και (2) η διεπαφή ATM και παραδοσιακών LANs γίνεται μέσω τεχνολογίας γεφύρωσης (bridging).

Το LANE χρησιμοποιεί ένα πρωτόκολλο ανάλυσης διευθύνσεων δύο φάσεων. Κατ' αρχήν, η IP διεύθυνση μεταφράζεται σε μια MAC διεύθυνση μέσω του παραδοσιακού Internet ARP πρωτοκόλλου (Address Resolution Protocol, Πρωτόκολλο Ανάλυσης Διευθύνσεων) [RFC826] προσομοιώνοντας ένα περιβάλλον broadcast χρησιμοποιώντας τον Εξυπηρέτη Broadcast και Αγνώστων BUS (Broadcast and Unknown Server). Στη δεύτερη φάση, η MAC διεύθυνση μεταφράζεται σε μια ATM διεύθυνση. Για την

μετάφραση αυτή, ερωτάται ένας εξυπηρετής ανάλυσης διευθύνσεων που ονομάζεται LES (LAN Emulation Server, εξυπηρετής προσομοίωσης LAN). Το LANE συσχετίζει έναν LEC (LAN Emulation Client, πελάτη προσομοίωσης LAN) με κάθε κόμβο ATM και κάθε γέφυρα που συνδέει LANs με το ATM δίκτυο. Οι LECs είναι υπεύθυνοι για την ανάλυση των ATM διευθύνσεων και τη δημιουργία των απαραίτητων ATM συνδέσεων. Το LANE μπορεί επιλεκτικά να παρέχει έναν LECS (LAN Emulation Configuration Server, εξυπηρετή ρύθμισης προσομοίωσης LAN) για την αρχικοποίηση των LECs καθώς μπαίνουν σε ένα Προσομοιωμένο LAN (Emulated LAN, E-LAN). Ένα μεγάλο πλεονέκτημα του LANE είναι ότι υποστηρίζει περισσότερα E-LANs ταυτόχρονα πάνω από ένα μοναδικό ATM δίκτυο. Η ιδιότητα μέλους ενός δεδομένου E-LAN είναι ανεξάρτητη της τοποθεσίας.



Σχήμα 5-1: Παράδειγμα λειτουργίας LANE

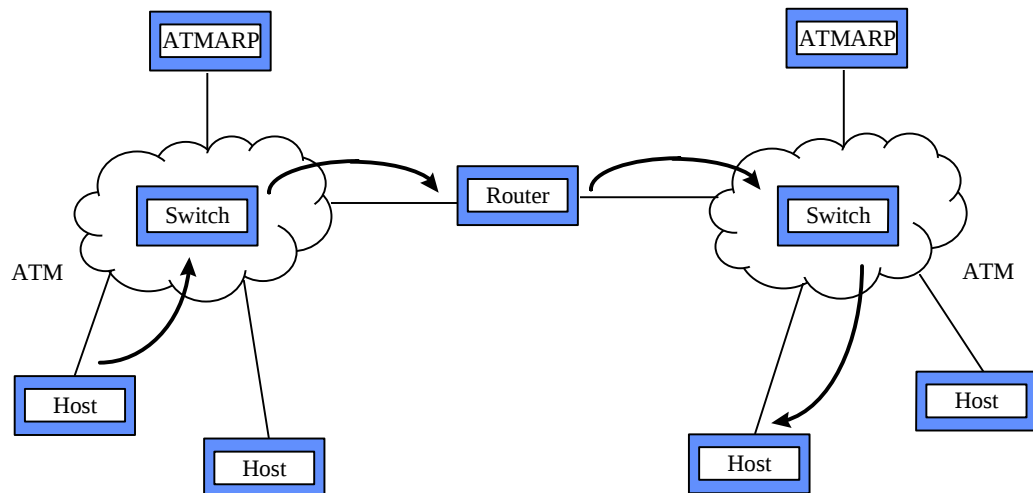
Το LANE παρέχει παράδοση unicast δημιουργώντας VCs σημείο-προς-σημείο (point-to-point) μεταξύ του αποστολέα και του δέκτη LEC. Multicast παρέχεται προωθώντας την κυκλοφορία στον BUS, ο οποίος στη συνέχεια την εκπέμπει (broadcast) προς όλα τα μέλη του E-LAN. Η πρώτη έκδοση του LANE (LANEv1) παρέχει μόνο υπηρεσίες καλύτερης προσπάθειας μέσω Unspecified Bit Rate VCs (VCs απροσδιόριστου ρυθμού μετάδοσης).

Η δεύτερη έκδοση του LANE (LANEv2) επεκτείνει το LANEv1 παρέχοντας υπηρεσίες πραγματικού χρόνου και πιο ευέλικτο multicast. Το LANEv2 επιτρέπει ο BUS να μεταδίδει κυκλοφορία multicast σε ξεχωριστά VCs point-to-multipoint (ένα-προς-πολλά), μόνο σε εκείνους τους LECs που είναι μέλη της ομάδας multicast. Μολονότι το LANEv2 είναι ικανό να παρέχει υπηρεσίες πραγματικού χρόνου, βασίζεται στο MAC και στα πρωτόκολλα ανωτέρων επιπέδων να παρέχουν την πληροφορία αίτησης ποιότητας υπηρεσίας.

5.3 CLIP

Η εφαρμογή του κλασικού πρωτοκόλλου IP πάνω από το ATM (Classical IP over ATM, CLIP) επιτρέπει Internet κυκλοφορία unicast, καλύτερης προσπάθειας να μεταδίδεται πάνω από δίκτυα ATM [RFC1577], [RFC1483], [RFC1755]. Το «κλασικό» μοντέλο εδώ αναφέρεται στη μεταχείριση του προσαρμοστή (adapter) ATM στον κόμβο, ως μια δικτυακή διεπαφή (interface) στη στοίβα πρωτοκόλλων IP που λειτουργεί σε ένα μοντέλο βασισμένο στα LAN. Το CLIP επεκτείνεται ώστε να υποστηρίζει UNI 4.0 ATM δίκτυα [ID-Perez97] και IPv6 [ID-Armitage98a].

Το CLIP ακολουθεί το παραδοσιακό μοντέλο παράδοσης στο Internet προώθησης βήμα-βήμα. VCs σημείο-προς-σημείο δημιουργούνται μέσα σε υποδίκτυα ATM, τα οποία συνδέονται με standard IP δρομολογητές, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5-2. Τα VCs σημείο προς σημείο μπορούν να μεταφέρουν κυκλοφορία καλύτερης προσπάθειας χρησιμοποιώντας κάθε κατηγορία υπηρεσίας ATM όπως περιγράφεται στα [RFC1755], [ID-Perez97], [ID-Garrett98]. Η ανάλυση διευθύνσεων παρέχεται μέσω ενός εξυπηρετή ανάλυσης διευθύνσεων που υποστηρίζει το πρωτόκολλο ανάλυσης διευθύνσεων ATMARP (ATM Address Resolution Protocol), ο οποίος πραγματοποιεί την απευθείας αντιστοίχιση μεταξύ IP και ATM διευθύνσεων ενός κόμβου. Το CLIP σχεδιάστηκε για να χρησιμοποιηθεί με άλλες προσεγγίσεις της IETF που παρέχουν παράδοση multicast και υποστήριξη πραγματικού χρόνου πάνω από δίκτυα ATM.

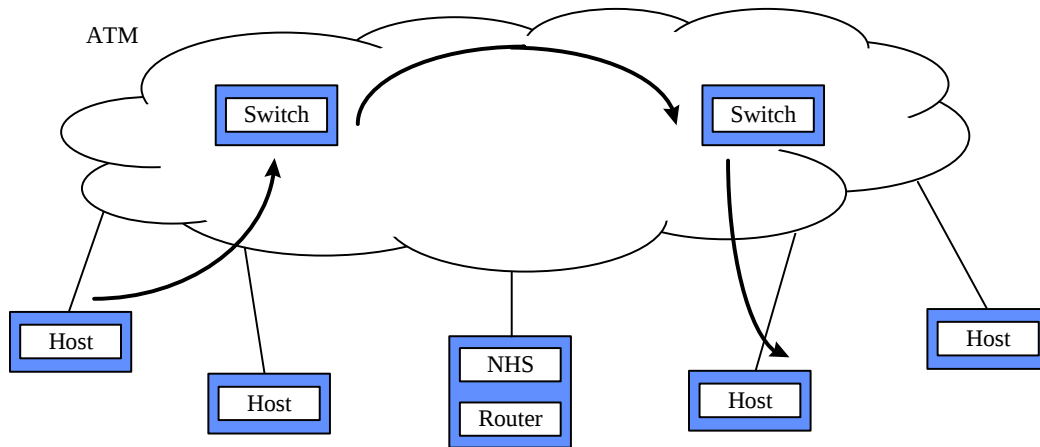


Σχήμα 5-2: Παράδειγμα λειτουργίας CLIP

5.4 NHRP

Τα πρωτόκολλα LANE και CLIP δεν είναι αποτελεσματικά όταν παρέχουν υπηρεσίες Internet πάνω από δίκτυα ATM που χωρίζονται σε πολλαπλά υποδίκτυα. Με τα προαναφερθέντα πρωτόκολλα, στους δρομολογητές μεταξύ των υποδικτύων πρέπει να επανασυναρμολογηθούν τα πακέτα, γεγονός που αυξάνει την ολική καθυστέρηση. Αντίθετα, είναι δυνατή η δημιουργία ATM VCs που εκτείνονται σε ολόκληρο το ATM δίκτυο. Το NHRP (Next Hop Resolution Protocol, Πρωτόκολλο Ανάλυσης Επόμενου

Άλματος) [ID-Luciani98] επιτρέπει να μεταφράζονται οι IP διευθύνσεις σε ATM διευθύνσεις ακόμη και πέρα από τα όρια των υποδικτύων αν όλα τα γειτονικά υποδίκτυα είναι ATM. Το NHRP χρησιμοποιεί ανάλυση διευθύνσεων βασισμένη σε εξυπηρετή (server based), όπου ερωτώνται μια σειρά από Εξυπηρετές Επόμενου Άλματος (Next Hop Servers, NHSs), ένας σε κάθε υποδίκτυο, μέχρι να βρεθεί ένας NHS που να έχει αποθηκευμένη τη ζητούμενη πληροφορία. Ας σημειωθεί ότι το NHRP μπορεί να αναλύσει μόνο unicast IP διευθύνσεις.



Σχήμα 5-3: Παράδειγμα λειτουργίας NHRP

Όταν ένας ή και οι δύο από τους αποστολέα και δέκτη δεν είναι προσαρτημένος στο ATM δίκτυο, είναι ακόμη επιθυμητή η μείωση του αριθμού των δρομολογητών μέσα από τους οποίους περνά η κυκλοφορία. Το NHRP το επιτυγχάνει αυτό δημιουργώντας ένα VC απευθείας μεταξύ των εισερχόμενων και των εξερχόμενων δρομολογητών που είναι οι κοντινότεροι στους αποστολείς και τους αποδέκτες [ID-Luciani98]. Παρόλα αυτά, όταν δημιουργούνται εγκάρσια μονοπάτια κατά μήκος ATM δικτύων, όταν δηλαδή ούτε ο αποστολέας ούτε ο δέκτης βρίσκεται μέσα στο ATM δίκτυο, μπορούν να εμφανιστούν βρόχοι δρομολόγησης (routing loops) [RFC1932]. Επομένως, η παρούσα προσέγγιση του NHRP είναι περιορισμένη στην περίπτωση όπου ο δέκτης είναι απ' ευθείας προσαρτημένος στο ATM δίκτυο ή σε έναν ATM δρομολογητή στα σύνορα του δικτύου. Γίνονται προσπάθειες επέκτασης στο NHRP προκειμένου ο περιορισμός αυτός να ξεπεραστεί [ID-Rekhter98].

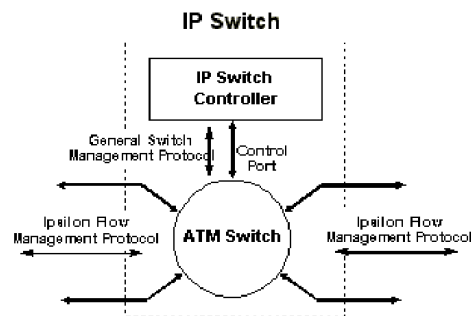
5.5 MPOA

Το MPOA (Multiprotocol over ATM) [MPOAv1] ολοκληρώνει τα LANE και NHRP για να παρέχει αποτελεσματική unicast παράδοση μεταξύ υποδικτύων. Επιπρόσθετα, το MPOA σχεδιάστηκε να υποστηρίζει τόσο τις υπηρεσίες καλύτερης προσπάθειας όσο και τις υπηρεσίες πραγματικού χρόνου. Το MPOA χρησιμοποιεί την προσέγγιση άλμα-προς-άλμα του LANE για ροές κυκλοφορίας σύντομης διάρκειας και δημιουργεί απευθείας VCs χρησιμοποιώντας το NHRP για ροές που προβλέπει ότι θα ωφεληθούν από την απάλειψη της καθυστέρησης επανασυναρμολόγησης. Τέτοιες ροές είναι αυτές που, για παράδειγμα, περιέχουν μεγάλες ποσότητες δεδομένων. Το MPOA μπορεί να δημιουργεί απευθείας VCs για unicast ροές. Οι multicast ροές πρέπει να

χρησιμοποιήσουν τα κλασικά μέσα του LANE και να επανασυναρμολογηθούν στα όρια των υποδικτύων. Στέλνοντας δεδομένα μέσω ενός απευθείας ATM VC στο MPOA είναι περισσότερο επικερδές από ότι στο κλασικό άλμα-προς-άλμα LANE για δύο λόγους. Κατ' αρχήν, απομακρύνει τις καθυστερήσεις επανασυναρμολόγησης στους δρομολογητές στο εσωτερικό του MPOA δικτύου. Επιπλέον τα πακέτα που στέλνονται μέσω του απευθείας μονοπατιού δεν εγκλείονται (encapsulated) μέσα σε MAC πλαίσια, μειώνοντας την επιβάρυνση ανά πακέτο.

5.6 IP Switching

Μια εναλλακτική πρόταση υλοποίησης IP πάνω από ATM παρουσιάζεται από την εταιρία Ipsilon. Η βασική ιδέα είναι η χρησιμοποίηση εμπορικά διαθέσιμου υλικού (hardware) ATM και η ολική αντικατάσταση του λογισμικού (software) ελέγχου έτσι ώστε ο ATM μεταγωγέας να μπορεί να λειτουργήσει με τρόπο χωρίς σύνδεση (connectionless). Το αποτέλεσμα θα είναι ένας δρομολογητής με προσαρτημένο υλικό μεταγωγής (switching) που έχει την ικανότητα να κατακρατεί (cache) τις αποφάσεις δρομολόγησης. Η διάταξη αυτή ονομάζεται IP μεταγωγέας (IP switch), αφού επιτρέπει οι ροές των πακέτων να μεταγόνται, προσπερνώντας τον δρομολογητή, από τη στιγμή που η πληροφορία δρομολόγησης έχει κατακρατηθεί στον μεταγωγέα.



Σχήμα 5-4: Δομή ενός IP μεταγωγέα

Για την κατασκευή ενός IP μεταγωγέα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5-4, χρησιμοποιείται το υλικό ενός ATM μεταγωγέα όπως είναι, χωρίς μετατροπή, αλλά απομακρύνεται εντελώς το λογισμικό που βρίσκεται στον επεξεργαστή ελέγχου πάνω από το AAL5. Συνεπώς απομακρύνεται οποιοδήποτε πρωτόκολλο ATM σηματοδότησης, καθώς και κάθε εξυπηρέτης προσομοίωσης LAN ή εξυπηρέτης ανάλυσης διευθύνσεων. Στη θέση του ATM λογισμικού τοποθετείται ένα απλό, πρωτόκολλο χαμηλού επιπέδου, το GSMP (General Switch Management Protocol, Γενικό Πρωτόκολλο Διαχείρισης Μεταγωγέα) [RFC1987]. Με τον τρόπο αυτό πραγματοποιείται η επικοινωνία μεταξύ του ελεγκτή του IP μεταγωγέα και του υλικού του μεταγωγέα. Ο ελεγκτής του IP μεταγωγέα είναι ένας γρήγορος υπολογιστής που τρέχει standard λογισμικό δρομολόγησης IP με επεκτάσεις που του επιτρέπουν να κάνει χρήση του υλικού μεταγωγής. Οι επεκτάσεις αυτές συμπεριλαμβάνουν ένα πρωτόκολλο διαχείρισης ροών IFMP (Ipsilon Flow Management Protocol), για τη συσχέτιση ροών IP με ATM VCs καθώς και την ανίχνευση γειτονικών μεταγωγέων, έναν αξιολογητή ροών (classifier) που αποφασίζει για τη μεταγωγή κάθε ροής και το GSMP για τον έλεγχο του υλικού μεταγωγής.

Στην εκκίνηση του συστήματος, εγκαθιδρύεται ένα προκαθορισμένο ATM VC με ένα γνωστό ζεύγος VPI/VCI μεταξύ του IP λογισμικού που τρέχει στον ελεγκτή του IP μεταγωγέα και του αντιστοίχου λογισμικού που τρέχει σε γειτονικούς μεταγωγείς. Το προκαθορισμένο κανάλι χρησιμοποιείται για την άλμα-προς-άλμα προώθηση των IP πακέτων διεκπεραιώνοντας την κυκλοφορία καλύτερης προσπάθειας. Συνεπώς υπάρχει δυνατότητα προώθησης IP πακέτων, αλλά το πλεονέκτημα του υλικού μεταγωγής μπορεί να χρησιμοποιηθεί με ένα μηχανισμό συσχέτισης μιας IP ροής με μια συγκεκριμένη ATM ετικέτα (VPI/VCI).

5.6.1 Ταξινόμηση ροών

Μια IP ροή χαρακτηρίζεται από τα πεδία σε μια IP/TCP/UDP επικεφαλίδα που καθορίζουν την απόφαση δρομολόγησης όπως: τύπος υπηρεσίας, πρωτόκολλο, διεύθυνση πηγής, διεύθυνση προορισμού, θύρα (port) πηγής, port προορισμού, και άλλα. Δύο πακέτα ανήκουν στην ίδια ροή αν οι τιμές των πεδίων αυτών είναι οι ίδιες. Μπορούν να οριστούν πολλοί διαφορετικοί τύποι ροών, που ο κάθε ένας χαρακτηρίζεται από ένα διαφορετικό σύνολο πεδίων επικεφαλίδας.

Προς το παρόν έχουν οριστεί οι εξής τύποι ροών: ένας τύπος ροής ζεύγους κόμβων και ένας τύπος ροής ζεύγους θυρών. Ο τύπος ροής ζεύγους κόμβων είναι για κυκλοφορία που ρέει μεταξύ των ίδιων διευθύνσεων πηγής και προορισμού. Ο τύπος ροής ζεύγους θυρών είναι για δεδομένα που ρέουν μεταξύ των ίδιων TCP/UDP θυρών πηγής και προορισμού στις ίδιες IP διευθύνσεις πηγής και προορισμού. Ο τύπος ροής αυτός επιτρέπει διαφοροποίηση της ποιότητας υπηρεσίας μεταξύ ροών. Επιτρέπεται ακόμη η ρητή δέσμευση των πόρων χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο RSVP.

Όταν ένα πακέτο παραλαμβάνεται μέσα από ένα προκαθορισμένο κανάλι, επανασυναρμολογείται και υποβάλλεται στον ελεγκτή του IP μεταγωγέα για δρομολόγηση. Ο ελεγκτής προωθεί το πακέτο με τον κανονικό τρόπο, αλλά επίσης πραγματοποιεί μια αξιολόγηση ροής στο πακέτο, για να καθορίσει αν μελλοντικά πακέτα που ανήκουν στην ίδια ροή θα πρέπει να μεταχθούν απευθείας στο ATM υλικό ή θα συνεχίσουν να προωθούνται άλμα-προς-άλμα από τον ελεγκτή του IP μεταγωγέα.

Η αξιολόγηση των ροών είναι μια τοπική απόφαση πολιτικής. Ο αξιολογητής ροών επιθεωρεί τα περιεχόμενα των πεδίων που χαρακτηρίζουν τη ροή και εξάγει την απόφαση του βασιζόμενος σε μια τοπική πολιτική που εκφράζεται σε έναν πίνακα. Για παράδειγμα, ψάχνοντας για γνωστούς αριθμούς θυρών πηγής ή προορισμού, μπορεί να αναγνωριστεί μια εφαρμογή. Οι ροές που ανήκουν σε συνδέσεις FTP μπορεί να ρυθμιστούν να μεταχθούν απευθείας, ενώ οι DNS ερωτήσεις να συνεχίσουν να προωθούνται σαν datagrams.

5.6.2 GSMP

Το GSMP (General Switch Management Protocol) είναι πρωτόκολλο γενικής χρήσης για τον έλεγχο ενός ATM μεταγωγέα. Επιτρέπει σε έναν ελεγκτή να εγκαθιδρύει και να καταργεί συνδέσεις στον μεταγωγέα, να προσθέτει και να αφαιρεί φύλλα (leaves) σε μια ένα-προς-πολλά (point-to-multipoint) σύνδεση, να διαχειρίζεται τις θύρες (ports) του μεταγωγέα, να ζητάει πληροφορίες ρύθμισης καθώς και να ζητάει στατιστικά στοιχεία. Ακόμη επιτρέπει στον μεταγωγέα να πληροφορήσει τον ελεγκτή για άλλα γεγονότα

όπως η κατάρρευση ενός συνδέσμου. Το GSMP τρέχει διαμέσου ενός ATM συνδέσμου που συνδέει τον ελεγκτή με τον μεταγωγέα (Σχήμα 5-4) σε μία σύνδεση ελέγχου (VC) που εγκαθιδρύεται κατά την εκκίνηση του συστήματος. Το πρωτόκολλο GSMP είναι ασύμμετρο, αφού ο ελεγκτής είναι ο αφέντης (master) και ο μεταγωγέας ο δούλος (slave). Ένας ελεγκτής μπορεί να ελέγχει περισσότερους μεταγωγείς χρησιμοποιώντας περισσότερα στιγμιότυπα του πρωτοκόλλου πάνω από ξεχωριστές συνδέσεις ελέγχου.

Ένας μεταγωγέας θεωρείται ότι περιέχει πολλαπλές θύρες (ports). Μερικές αιτήσεις GSMP αναφέρονται στη θύρα σαν ολότητα ενώ άλλες ζητούν ειδικά τη θύρα εισόδου ή εξόδου. Τα ATM κελιά καταφθάνουν στον μεταγωγέα από έναν εξωτερικό σύνδεσμο επικοινωνίας σε εισερχόμενα VCs σε μια θύρα εισόδου και αποχωρούν από τον μεταγωγέα σε ένα εξωτερικό σύνδεσμο επικοινωνίας σε εξερχόμενα VCs από μια θύρα εξόδου. Τα VCs σε μία θύρα ή σύνδεσμο αναγνωρίζονται από τις ταυτότητες των εικονικών μονοπατιών και των εικονικών καναλιών (VPI/VCI). Μια σύνδεση εικονικού καναλιού (VCC) διαμέσου ενός μεταγωγέα σχηματίζεται συνδέοντας ένα εισερχόμενο εικονικό κανάλι σε ένα ή περισσότερα εξερχόμενα εικονικά κανάλια. Οι VCCs αναγνωρίζονται από τη θύρα εισόδου και το ζευγάρι (VPI/VCI) του εισερχόμενου εικονικού καναλιού.

Γενικά ένα VC εγκαθιδρύεται με μια συγκεκριμένη ποιότητα υπηρεσίας (QoS). Για την έκδοση 1.1 του GSMP θεωρείται ότι κάθε VCC μπορεί να πάρει μια προτεραιότητα όταν εγκατασταθεί. Μπορεί να θεωρηθεί ότι για τις VCCs που μοιράζονται την ίδια θύρα εξόδου, ένα ATM κελί σε μια σύνδεση με υψηλή προτεραιότητα είναι πιθανότερο να εξέλθει γρηγορότερα του μεταγωγέα από ότι ένα ATM κελί σε μια σύνδεση με χαμηλή προτεραιότητα. Ο αριθμός των προτεραιοτήτων τις οποίες υποστηρίζει κάθε θύρα του μεταγωγέα μπορεί να ληφθεί από το μήνυμα ρύθμισης θυρών.

Οι θύρες των μεταγωγέων περιγράφονται με 32 bit ακεραίους. Ο μεταγωγέας αναθέτει αριθμούς θυρών και μπορεί να δομήσει τα 32 bits σε υποπεδία που αντιστοιχούν στη φυσική τοπολογία του μεταγωγέα. Γενικά μια θύρα στην ίδια φυσική τοπολογία του μεταγωγέα θα έχει πάντα τον ίδιο αριθμό θύρας. Η εσωτερική δομή του αριθμού θύρας είναι αδιαφανής στο πρωτόκολλο GSMP.

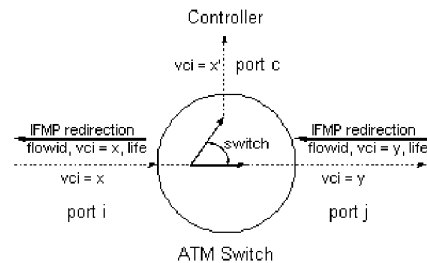
Κάθε θύρα ενός μεταγωγέα διατηρεί ακόμη έναν αριθμό συνεδρίας θύρας (port session). Ένα μήνυμα διαχείρισης σύνδεσης ή διαχείρισης θύρας με λανθασμένο αριθμό συνεδρίας θύρας πρέπει να απορρίπτεται. Αυτό επιτρέπει τη διάγνωση της κατάρρευσης ενός συνδέσμου και του συγχρονισμού της κατάστασης. Ο αριθμός συνεδρίας θύρας παραμένει αναλλοίωτος όταν η θύρα είναι συνεχώς στην διαθέσιμη κατάσταση και το καθεστώς του συνδέσμου είναι σε λειτουργία. Μια θύρα επιστρέφει στη διαθέσιμη κατάσταση στις εξής περιπτώσεις μετά από μια περίοδο που δεν ήταν διαθέσιμη:

- (1) σε κάποια από τις loopback καταστάσεις
- (2) όταν επαναλειτουργήσει ο σύνδεσμος
- (3) αμέσως μετά την εκκίνηση.

Τότε ο αριθμός συνεδρίας της θύρας θα έχει αλλάξει. Οι αριθμοί συνεδρίας θύρας θα πρέπει να ανατίθενται χρησιμοποιώντας κάποια μορφή τυχαίων αριθμών.

Το GSMP περιέχει επίσης ένα πρωτόκολλο γειτονίας. Το πρωτόκολλο αυτό χρησιμοποιείται για τον συγχρονισμό των καταστάσεων κατά μήκος του συνδέσμου για την ανακάλυψη της ταυτότητας της οντότητας στο άλλο άκρο ενός συνδέσμου και να ανιχνεύει τότε αλλάζει.

5.6.3 IFMP



Σχήμα 5-5: Εγκαθίδρυση μιας μεταγόμενης ροής

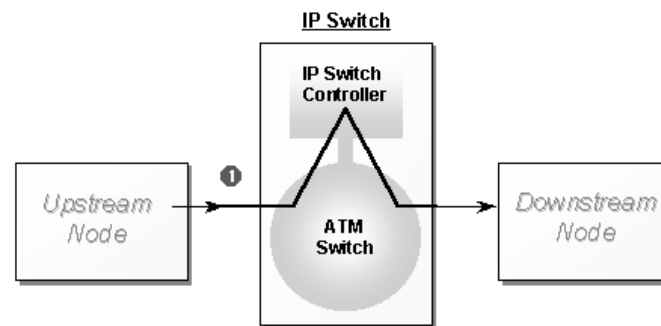
Αν ο ελεγκτής του IP μεταγωγέα αποφασίσει ότι μια ροή πρέπει να μεταχθεί, επιλέγει μια ελεύθερη ετικέτα (label) x από τον χώρο ετικετών της θύρας εισόδου i από την οποία παραλήφθηκε το πακέτο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5-5. Τα VCs θεωρούνται μονοκατευθυντικά, ώστε ο χώρος των ATM ετικετών (εύρος VPI/VCI) της εισερχόμενης κατεύθυνσης κάθε συνδέσμου να ανήκει στη θύρα εισόδου στην οποία είναι συνδεδεμένος. Ο ελεγκτής επίσης επιλέγει κάποια ελεύθερη ετικέτα x στη θύρα ελέγχου του c . Η θύρα ελέγχου είναι η θύρα, πραγματική ή εικονική (virtual) μέσω της οποίας ο ελεγκτής συνδέεται με τον μεταγωγέα. Ο οδηγός του μεταγωγέα στη συνέχεια αντιστοιχίζει την ετικέτα x στη θύρα εισόδου i με την ετικέτα x στη θύρα εισόδου c .

Αφού γίνει η καταχώριση στον πίνακα μετάφρασης της θύρας εισόδου του μεταγωγέα μέσω GSMP ο ελεγκτής του IP μεταγωγέα στέλνει ένα IFMP μήνυμα Redirect (αλλαγής κατεύθυνσης) προς τα πάνω, δηλαδή προς τον προηγούμενο κόμβο από όπου ήρθε το πακέτο. Το μήνυμα αλλαγής κατεύθυνσης περιέχει την ετικέτα x , ένα αναγνωριστικό ροής (flow identifier) και το χρόνο ζωής. Το αναγνωριστικό ροής περιέχει το σύνολο των πεδίων επικεφαλίδων που περιγράφουν τη ροή. Το μήνυμα αλλαγής κατεύθυνσης ζητά από τον προηγούμενο κόμβο να μεταδώσει όλα τα επόμενα πακέτα με πεδία επικεφαλίδας που ταιριάζουν σε εκείνα που δίνονται στο αναγνωριστικό ζωής, στο ATM VC που ορίζεται από το πεδίο ετικέτας. Το πεδίο χρόνου ζωής καθορίζει το χρονικό διάστημα για το οποίο η αλλαγή αυτή της κατεύθυνσης ισχύει. Εκτός αν ανανεωθεί η κατάσταση της ροής, όταν λήξει αυτό το χρονικό διάστημα, η σύνδεση της ροής και της ετικέτας πρέπει να διαγραφεί και τα επόμενα πακέτα που ανήκουν στη ροή αυτή να μεταδίδονται μέσω του προκαθορισμένου καναλιού καλύτερης προσπάθειας.

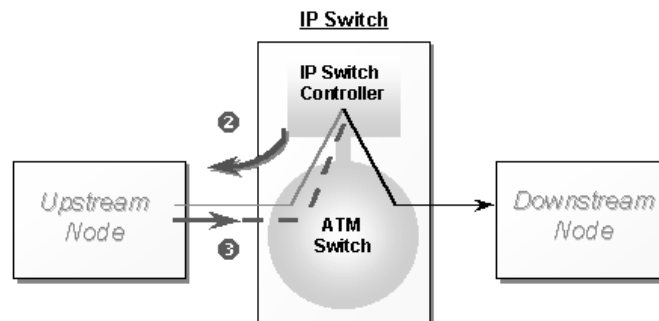
Από το σημείο αυτό και πέρα, τα πακέτα που ανήκουν στη ροή θα φτάνουν στη θύρα c του ελεγκτή του μεταγωγέα με την ATM ετικέτα VPI/VCI x . Τα πακέτα θα συνεχίσουν να επανασυναρμολογούνται και να προωθούνται από το λογισμικό προώθησης IP, αλλά η διαδικασία επιταχύνεται επειδή η προηγούμενη απόφαση δρομολόγησης για τη ροή αυτή είναι κατακρατημένη (cached) και μπορεί να δεικτοδοτηθεί με την ετικέτα x .

Το πραγματικό πλεονέκτημα της μεταγωγής φαίνεται ότι και ο επόμενος κόμβος αλλάζει επίσης την κατεύθυνση (redirect) της ροής σε ένα συγκεκριμένο VCI. Ενώ, η διεργασία διαχωρισμού των ροών τρέχει ανεξάρτητα σε κάθε σύνδεσμο, απαιτείται η πολιτική αξιολόγησης ροών να μην έχει διαφορές μέσα σε ένα πεδίο διαχείρισης (administrative domain). Τότε, και ο επόμενος κόμβος είναι πολύ πιθανό να ζητήσει αλλαγή κατεύθυνσης της ροής. Όταν ο IP μεταγωγέας λάβει ένα μήνυμα αλλαγής κατεύθυνσης από τον επόμενο γείτονα του στη θύρα j, μπορεί αλλάζοντας τη ροή στην ετικέτα y να μετάγει όλη την επόμενη κυκλοφορία που ανήκει σε αυτή τη ροή απευθείας μέσα στο υλικό ATM. Ο IP μεταγωγέας το πραγματοποιεί αυτό, αντιστοιχώντας την ετικέτα x στη θύρα i με την ετικέτα y στη θύρα j. Συνεπώς, η κυκλοφορία σε αυτή τη ροή δεν επεξεργάζεται πλέον από τον ελεγκτή του IP μεταγωγέα με τον κλασικό τρόπο αποθήκευσης-και-προώθησης (store-and-forward), αλλά μετάγεται απευθείας (cut-through) στην απαιτούμενη θύρα εξόδου.

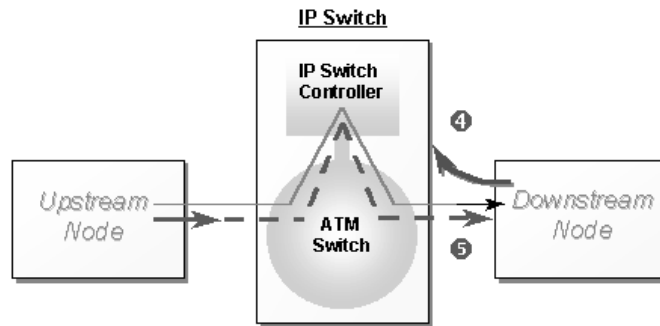
Αναλυτικά η διαδικασία φαίνεται στα Σχήματα 5-6, 5-7, 5-8, 5-9.



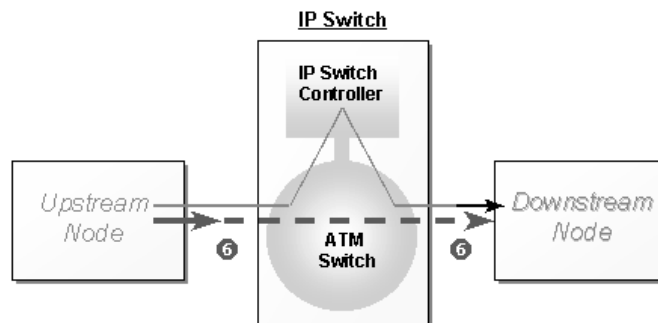
Σχήμα 5-6: (1) Προώθηση πακέτων πάνω από προκαθορισμένα ATM VCs. Ο ελεγκτής του IP μεταγωγέα πραγματοποιεί αξιολόγηση πακέτων σε κάθε πακέτο.



Σχήμα 5-7: (2) Ο ελεγκτής του IP μεταγωγέα στέλνει το μήνυμα Redirect στον προηγούμενο κόμβο να χρησιμοποιήσει ένα νέο VC για την επιλεγμένη ροή. (3) Η κυκλοφορία για την επιλεγμένη ροή αρχίζει να ρέει στο νέο VC. Η εισερχόμενη ροή παίρνει ετικέτα.



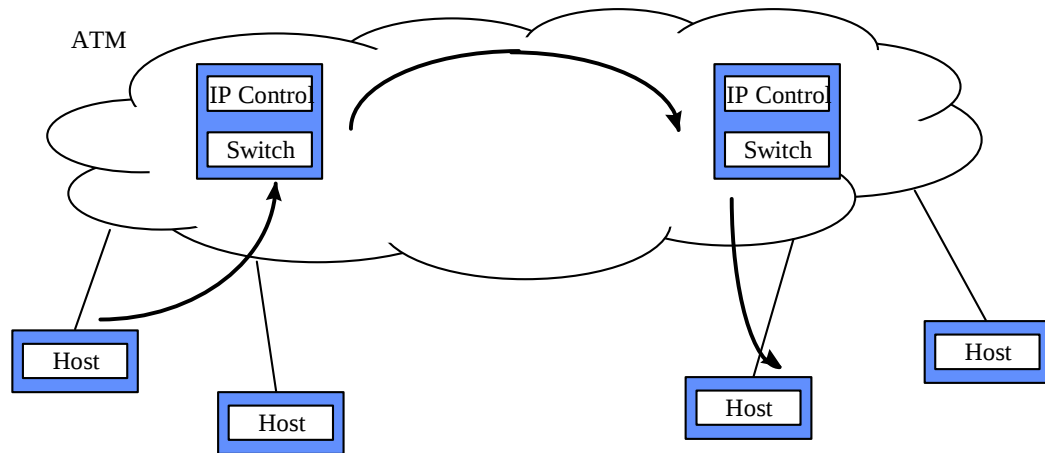
Σχήμα 5-8: (4) Ο επόμενος κόμβος ζητάει επίσης ένα νέο VC για τη ροή.
(5) Ο IP μεταγωγέας αρχίζει να στέλνει την κυκλοφορία αυτής της ροής στο νέο VC. Η εξερχόμενη ροή παίρνει ετικέτα.



Σχήμα 5-9: (6) Η εισερχόμενη ροή με ετικέτα μεταγεται μέσω της εξερχόμενης ροής με ετικέτα. Η επιλεγμένη ροή τώρα μεταγεται απευθείας (cut-through).

Όταν ένας IP μεταγωγέας αποδέχεται ένα μήνυμα αλλαγής κατεύθυνσης, αλλάζει επίσης τον εγκλεισμό (encapsulation) που χρησιμοποιεί για τα πακέτα που ανήκουν στη ροή που αλλάζει κατεύθυνση. Ο εγκλεισμός που χρησιμοποιείται για IP datagrams στο προκαθορισμένο κανάλι είναι ο standard LLC/SNAP εγκλεισμός πάνω από AAL5. Ο εγκλεισμός που χρησιμοποιείται για κάθε IP πακέτο σε μια ροή που ανακατευθύνεται σε ένα συγκεκριμένο VC απομακρύνει όλα τα πεδία της IP επικεφαλίδας που καθορίζονται από το αναγνωριστικό ροής από την επικεφαλίδα κάθε πακέτου. Το IP πακέτο με την προκύπτουσα συμπιεσμένη επικεφαλίδα εγκλείεται στη συνέχεια με AAL5 και μεταδίδεται στο συγκεκριμένο VC. Τα πεδία που απομακρύνονται αποθηκεύονται στον δρομολογητή που ζήτησε την αλλαγή κατεύθυνσης και συσχετίζονται με το συγκεκριμένο ATM VC. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να ανασυσταθεί ολόκληρο το πακέτο χρησιμοποιώντας την εισερχόμενη ετικέτα για την πρόσβαση των αποθηκευμένων πεδίων.

Αναλυτικά αποτελέσματα προσομοίωσης της τεχνικής IP switching υπάρχουν στο [Lin97]. Η έρευνα αυτή επιβεβαιώνει τους ισχυρισμούς των εφευρετών και προτείνει κατάλληλες τιμές επιθυμητών παραμέτρων για διαφορετικά περιβάλλοντα



Σχήμα 5-10: Παράδειγμα λειτουργίας IP switching

Ένας περιορισμός που εισάγει η προσέγγιση της IP μεταγωγής είναι ότι όλοι οι ATM μεταγωγείς πρέπει να αντικατασταθούν από IP μεταγωγείς. Μια παρόμοια προσέγγιση που καλείται Cell Switched Routing από την Toshiba δεν έχει τον περιορισμό αυτό. Αντίθετα, δίνει σε standard ATM υποδίκτυα τη δυνατότητα να συνδεθούν με CSRs (Cell Switch Routers). Η CSR προσέγγιση ενδείκνυται μόνο για εφαρμογές που απαιτούν εγγυήσεις ποιότητας υπηρεσίας, αφού επαφίεται στο RSVP να παρέχει την απαιτούμενη αντιστοίχιση ανάμεσα στη ροή και το VCI.

5.7 MPLS

Η τεχνική MPLS (Multi Protocol Label Switching, Μεταγωγή Ετικέτας Πολλαπλών Πρωτοκόλλων) προδιαγράφεται προς το παρόν από την IETF [ID-Callon97],[ID-Armitage97]. Ακολουθεί τις ίδιες αρχές με την IP μεταγωγή, όπου χρησιμοποιείται η μεταγωγή στο επίπεδο 2 (επίπεδο σύνδεσης, MAC) αντί για την προώθηση (δρομολόγηση) στο επίπεδο 3 (επίπεδο δικτύου) όπου αυτό είναι δυνατό. Η τεχνική αυτή έχει σαν στόχο της να αναπτύξει ένα γενικό πλαίσιο μεταγωγής ετικέτας, συνδυάζοντας τις έννοιες που έχουν προταθεί από τις διάφορες εταιρείες, όπως για παράδειγμα από τις Cisco (Tag Switching), IBP (ARIS), Toshiba (CSR), Ipsilon (IP switching) και άλλες. Ο αντικειμενικός στόχος του MPLS είναι να απλοποιήσει την προώθηση χρησιμοποιώντας μια μικρή ετικέτα σταθερού μήκους για την αναγνώριση μιας ροής κυκλοφορίας, αντί να επεξεργάζεται πολλά πεδία της επικεφαλίδας.

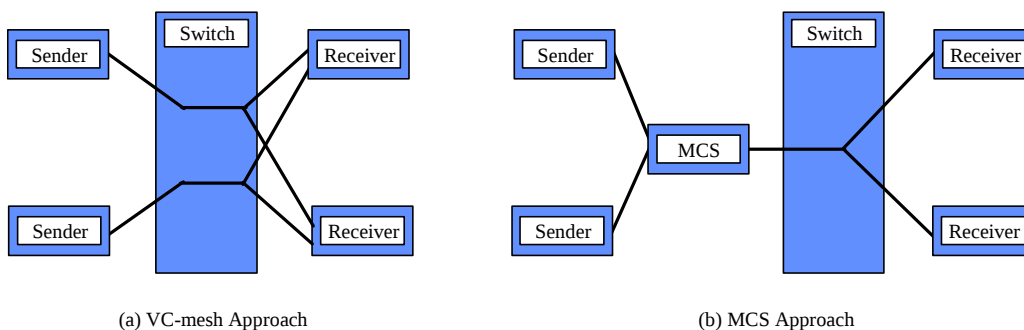
Ένα από τα κύρια προβλήματα της IP μεταγωγής είναι η επεκτασιμότητα σε μεγάλους αριθμούς αποστολέων και αποδεκτών, ειδικά όταν υποστηρίζονται περισσότερες ροές μεταξύ ενός αποστολέα και ενός αποδέκτη με διαφορετικές ποιότητες υπηρεσίας. Το πρόβλημα αυτό έρχεται στην επιφάνεια, επειδή δημιουργείται ένα ξεχωριστό VC για κάθε ξεχωριστή σύνδεση ποιότητας υπηρεσίας αποστολέα-δέκτη. Ένα από τους πρωταρχικούς στόχους του MPLS είναι η επεκτασιμότητα σε μεγάλα δίκτυα. Σκοπεύει ο αριθμός των VCs να είναι ανάλογος με τον αριθμό των συνδεδεμένων κόμβων όπου είναι αυτό δυνατό. Η προσέγγιση που ακολουθείται είναι η συγχώνευση των ροών από περισσότερους αποστολείς προς τον ίδιο δέκτη σε ένα μοναδικό VC. Επιπλέον, το MPLS προτείνεται να χρησιμοποιηθεί στο εσωτερικό του δικτύου και όχι να επεκταθεί

στους κόμβους, πάλι για λόγους επεκτασιμότητας. Η τελική δομή θα είναι η χρησιμοποίηση standard Internet και ATM πρωτοκόλλων για την προώθηση της κυκλοφορίας μεταξύ των κόμβων και τον δρομολογητή του πρώτου άλματος, ενώ το MPLS θα χρησιμοποιείται στο εσωτερικό του δικτύου. Παρόλα αυτά, δεδομένου ότι μερικοί δρομολογητές μπορεί να μην υποστηρίζουν συγχώνευση και τα μικρά δίκτυα μπορεί να μην έχουν πρόβλημα πόρων VCs, μπορεί να απαιτηθούν VCs της τάξης $O(n^2)$, όπου n θα είναι ο αριθμός των συνδεδεμένων κόμβων.

Το MPLS αναπτύσσεται ακόμη. Η παρούσα (πρόχειρη) προδιαγραφή [ID-Callon97] καθορίζει ότι ο επόμενος MPLS δρομολογητής επιλέγει την ετικέτα για unicast κυκλοφορία και την προωθεί στον προηγούμενο δρομολογητή. Ένα πρόβλημα με το MPLS είναι η δυνατότητα δημιουργίας βρόχων δρομολόγησης αφού η ανάθεση ετικετών βασίζεται στην πληροφορία δρομολόγησης. Έχουν προταθεί αρκετοί μηχανισμοί επίλυσης του προβλήματος των βρόχων με τρόπους όπως επιβίωση από βρόχους (loop survival), αποφυγή βρόχων (loop avoidance) και ανίχνευση βρόχων (loop detection). Ακόμη δεν υπάρχει όμως ένα τελικό σχήμα. Αφού η IP μεταγωγή είναι καλά καθορισμένη έχει αυτή τη στιγμή το πλεονέκτημα. Στο μέλλον όμως, είναι πιθανό οι λύσεις που βασίζονται στην IP μεταγωγή να επεκταθούν ώστε να υποστηρίζουν MPLS.

5.8 Multicast

Ο MARS (Multicast Address Resolution Server, Εξυπηρετής Ανάλυσης Διευθύνσεων Multicast) [RFC2022] έχει σχεδιαστεί στην IETF για την παροχή κυκλοφορίας multicast σε ATM δίκτυα που χρησιμοποιούν UNI 3.1. Η σηματοδότηση του ATM Forum UNI 3.1 δεν υποστηρίζει ATM διευθύνσεις ομάδων. Αυτό σημαίνει ότι σε UNI 3.1 δίκτυα, οι IP multicast διευθύνσεις πρέπει να αντιστοιχηθούν σε μια λίστα από ATM διευθύνσεις από τα μέλη της ομάδας. Αυτός είναι και ο ρόλος του MARS. Οι δέκτες δηλώνουν τις ομάδες multicast στις οποίες θέλουν να συμμετάσχουν στον MARS. Οι νέοι αποστολείς ζητούν από τον MARS τη λίστα των παρόντων μελών της ομάδας multicast. Καθώς νέοι δέκτες προσχωρούν στην ομάδα multicast, ο MARS προωθεί την ATM διεύθυνση τους σε όλους τους ενεργούς αποστολείς.



Σχήμα 5-11: Σύγκριση των τεχνικών παροχής multicast VC-mesh και MCS

Όπως τα LANE, CLIP, ο MARS ακολουθεί την προσέγγιση άλμα-προς-άλμα, όπου η κυκλοφορία επανασυναρμολογείται στα σύνορα των υποδικτύων. Μέσα σε ένα ATM υποδίκτυο, η πρόταση MARS καθορίζει δύο σχήματα για την παράδοση της multicast κυκλοφορίας. Το VC-mesh (VC-πλέγμα) έγκειται στο ότι κάθε αποστολέας δημιουργεί

ένα εικονικό κανάλι (VC) ένα-προς-πολλά (point-to-multipoint) προς όλους τους δέκτες. Η εναλλακτική πρόταση MCS (MultiCast Server) υποχρεώνει τους αποστολείς να δημιουργούν ένα-προς-ένα (point-to-point) VCs προς έναν MCS, ο οποίος στη συνέχεια δημιουργεί point-to-multipoint VC για όλους τους δέκτες. Οι προσεγγίσεις VC-mesh και MCS παρουσιάζονται στο Σχήμα 5-11.

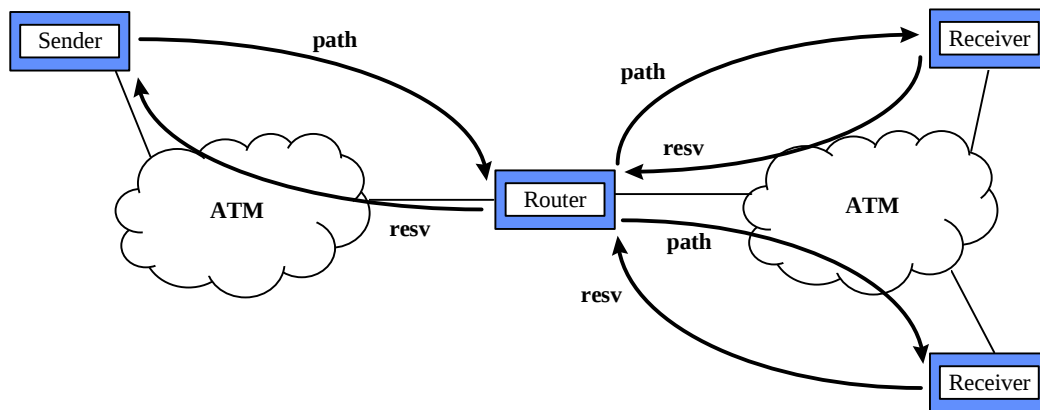
Το κύριο πλεονέκτημα του σχήματος MCS είναι το ότι κάθε αποστολέας και κάθε δέκτης διαχειρίζονται μόνο ένα VC ανεξάρτητα από τον αριθμό των μελών της multicast ομάδας. Αντίθετα το σχήμα VC-mesh απαιτεί από τους δέκτες να διατηρούν ένα διαφορετικό VC για κάθε αποστολέα. Οι απαιτήσεις για VCs, πόρους σηματοδότησης και χρόνο που απαιτούνται για την προσθήκη νέων αποστολέων ή δεκτών είναι χαμηλότερες βέβαια στην περίπτωση του VC-mesh. Το κύριο όμως πλεονέκτημα για το VC-mesh είναι ότι η κυκλοφορία ακολουθεί τη βέλτιστη διαδρομή μεταξύ αποστολέων και δεκτών, χωρίς να υποχρεούται να δρομολογηθεί μέσω του MCS. Με αυτόν τον τρόπο μειώνεται η ολική καθυστέρηση και η πιθανότητα συμφόρησης σε ένα σημείο (στον εξυπηρέτη MCS). Η συμφόρηση μπορεί να αποφευχθεί χρησιμοποιώντας περισσότερους εξυπηρέτες MCS, αλλά οι ολικές καθυστερήσεις θα συνεχίσουν να είναι μεγαλύτερες, αφού εκτός από την υποβέλτιστη δρομολόγηση των ροών των δεδομένων μέσω του MCS, θα πρέπει επίσης να γίνεται επανασυναρμολόγηση όλων των πακέτων πριν την μετάδοση τους στους δέκτες. Επομένως, υπάρχει συμβιβασμός (trade-off) μεταξύ των προσεγγίσεων VC-mesh και MCS σε όρους ρυθμαπόδοσης (throughput), συμφόρησης (congestion), καθυστέρησης και κατανάλωσης πόρων [Flynn95], [Bagwell95], [RFC2022]. Συνίσταται γενικά η χρήση MCS όταν ο αριθμός των διαθέσιμων VCs είναι περιορισμένος ή σε δυναμικά μεταβαλλόμενες multicast ομάδες, όπου δηλαδή αποστολείς και δέκτες αποχωρούν και προσχωρούν συχνά σε μια multicast ομάδα. Η προσέγγιση VC-mesh μπορεί να χρησιμοποιείται όταν πρέπει να ελαχιστοποιηθεί η ολική καθυστέρηση.

5.9 RSVP-ATM

Για τη δέσμευση πόρων κατά μήκος του ATM δικτύου, το RSVP χρησιμοποιεί τον μηχανισμό OPWA (One Pass With Advertising). Οι αποστολείς «διαφημίζουν» τα χαρακτηριστικά της κυκλοφορίας της εφαρμογής σε μηνύματα Path. Οι δρομολογητές μεταξύ αποστολέων και δεκτών τροποποιούν τα μηνύματα Path για να περιγράψουν τις υπηρεσίες που μπορούν αυτοί να προσφέρουν, όπως για παράδειγμα πόση καθυστέρηση θα συνεισφέρουν οι ίδιοι στην ολική καθυστέρηση. Οι δέκτες καθορίζουν τις απαιτήσεις τους σε ποιότητα υπηρεσίας με βάση τα περιεχόμενα του μηνύματος Path. Οι απαιτήσεις αυτές μεταδίδονται με Resv μηνύματα στον αποστολέα. Η πληροφορία που περιέχεται στα Resv μηνύματα χρησιμοποιείται στη συνέχεια από δρομολογητές και αποστολείς για τη δέσμευση της απαιτούμενης ποιότητας υπηρεσίας. Η διαδικασία αυτή αναπαρίσταται στο Σχήμα 5-12. [RFC2205], [RFC2208].

Οι αναφορές [ID-Crawley98], [ID-Berger98a], [ID-Berger98b] περιγράφουν την αντιστοίχιση του RSVP σε ATM δίκτυα που υποστηρίζουν UNI 3.1 ή UNI 4.0. Η προσέγγιση που προτείνεται είναι η μεταφορά των μηνυμάτων RSVP μέσω καναλιών καλύτερης προσπάθειας. Επιπρόσθετα, η υποστήριξη ποιότητας υπηρεσίας δεδομένων παρέχεται είτε μέσω του περιορισμένου ετερογενούς μοντέλου είτε μέσω του τροποποιημένου ομογενούς μοντέλου. Στο περιορισμένο ετερογενές μοντέλο,

διατηρούνται δύο VCs για κάθε δέσμευση. Το ένα παρέχει κυκλοφορία καλύτερης προσπάθειας και το άλλο τους μέγιστους πόρους που ζητήθηκαν από τους δέκτες. Το τροποποιημένο ομογενές μοντέλο δημιουργεί επίσης ένα VC που δεσμεύει τους μέγιστους πόρους που ζητήθηκαν από τους δέκτες. Στην περίπτωση αυτή όμως, το VC καλύτερης προσπάθειας δημιουργείται μόνο όταν ένας δέκτης με απαιτήσεις καλύτερης προσπάθειας δεν μπορεί να προσχωρήσει στο VC ποιότητας υπηρεσίας, όταν για παράδειγμα δεν υπάρχει αρκετό διαθέσιμο εύρος ζώνης στους συνδέσμους προς αυτόν τον δέκτη. Αυτό έχει σαν συνέπεια, ο αποστολέας να στέλνει διπλότυπη πληροφορία (ένα αντίγραφο για κάθε VC) όταν μερικοί δέκτες δεν μπορούν να υποστηρίξουν το VC της μέγιστης ποιότητας υπηρεσίας.



Σχήμα 5-12: Λειτουργία του RSVP πάνω από ATM.

Έχει προταθεί για περαιτέρω μελέτη και έρευνα μια εναλλακτική προσέγγιση συνάθροισης. Τα ATM δίκτυα αντιμετωπίζονται σαν μια σειρά από συνδέσμους point-to-point ικανούς να μεταφέρουν πολλαπλές ροές IP. Αυτό μειώνει το πρόβλημα της υποστήριξης RSVP πάνω από ATM σε ένα γνωστό πρόβλημα, αφού το μεγαλύτερο μέρος της υποδομής του Internet βασίζεται σε point-to-point συνδέσμους. Θέματα σαν και αυτά βρίσκονται στη φάση της μελέτης στην ομάδα εργασίας ISSLL της IETF.

5.10 Αναφορές

- [RFC826] D. Plummer, *An Ethernet Address Resolution Protocol*, RFC826, November 1982.
- [RFC1483] J. Heinanen, *Multiprotocol Encapsulation over ATM Adaptation Layer 5*, RFC 1483, July 1993.
- [RFC1577] M. Laubach, *Classical IP and ARP over ATM*, RFC1577, January 1994.
- [RFC1755] M. Perez, F. Liaw, A. Mankin, E. Hoffman, D. Grossman, A. Malis, *ATM Signalling Support for IP over ATM*, RFC 1755, February, 1995.

- [RFC1783] J. Heinanen, *Multiprotocol Encapsulation over ATM Adaptation Layer 5*, RFC1483, July 1993.
- [RFC1932] R. Cole, D. Shur & C. Villamizar, *IP over ATM: A Framework Document*, RFC1932, April 1996.
- [RFC1953] P. Newman, W. Edwards, R. Hinden, E. Hoffman, F. Ching Liaw, T. Lyon, G. Minshall, *Ipsilon Flow Management Protocol Specification for IPv4 Version 1.0*, RFC1953, May 1996.
- [RFC1954] P. Newman, W. Edwards, R. Hinden, E. Hoffman, F. Ching Liaw, T. Lyon, G. Minshall, *Transmission of Flow Labelled IPv4 on ATM Data Links*, RFC1954, May 1996.
- [RFC1987] P. Newman, W. Edwards, R. Hinden, E. Hoffman, F. Ching Liaw, T. Lyon, G. Minshall, *Ipsilon's General Switch Management Protocol Specification Version 1.1*, RFC1987, August 1996.
- [RFC2297] P. Newman, W. Edwards, R. Hinden, E. Hoffman, F. Ching Liaw, T. Lyon, G. Minshall, *Ipsilon's General Switch Management Protocol Specification Version 2.0*, RFC2297, March 1998.
- [RFC2002] C. Perkins, *IP Mobility Support*, RFC 2002, October 1996.
- [RFC2022] G. Armitage, *Support for Multicast over UNI 3.0/3.1 based ATM Networks*, RFC 2022, November 1996.
- [RFC2205] R. Braden, L. Zhang, S. Berson, S. Herzog, S. Jamin, *Resource ReSerVation Protocol (RSVP) – Version 1 Functional Specification*, RFC 2205, September 1997.
- [RFC2208] A. Mankin, B. Braden, S. Bradner, M. O'Dell, A. Romanow, A. Weinrib, L. Zhang, *Resource ReSerVation Protocol (RSVP) Version 1 Applicability Statement Some Guidelines on Deployment*, RFC2208, September 1997.
- [RFC2211] J. Wroclawski, *Specification of the Controlled-Load Network Element Service*, RFC 2211, September 1997.
- [RFC2212] S. Shenker, C. Partridge, and R. Guerin, *Specification of Guaranteed Quality of Service*, RFC 2212, September 1997.
- [ID-Armitage97] G. Armitage, A. Ghosh, Eric Gray, *Generic Label Distribution Protocol Specification*, Internet Draft, <draft-gray-mpls-generic-ldp-spec-00.txt>, November 1997.
- [ID-Armitage98a] G. Armitage, M. Jork, P. Schulter, G. Harter, *IPv6 over ATM Networks*, Internet Draft, <draft-ietf-ion-ipv6-atm-01.txt>, March 1998.

- [ID-Armitage98b] G. Armitage, M. Jork, P. Schuler, G. Harter, *IPv6 over Non-Broadcast Multiple Access (NBMA) networks*, Internet Draft, <draft-ietf-ion-ipv6-01.txt>, March 1998.
- [ID-Berger98a] L. Berger, *RSVP over ATM Implementation Requirements*, Internet Draft, <draft-ietf-issll-atm-imp-req-02.txt>, January 1998.
- [ID-Berger98b] L. Berger, *RSVP over ATM Implementation Guidelines*, Internet Draft, <draft-ietf-issll-atm-imp-guide-03.txt>, January 1998.
- [ID-Callon97] R. Callon, A. Viswanathan, E. Rosen, *A Proposed Architecture for MPLS*, Internet Draft, <draft-ietf-mpls-arch-00.txt>, August 1997.
- [ID-Crawley98] E. Crawley, F. Baker, M. Borden, J. Krawczyk, L. Berger, *A Framework for Integrated Services and RSVP over ATM*, Internet Draft, <draft-ietf-issll-atm-framework-02.txt>, February 1998.
- [ID-Garrett98] M. Garrett & M. Borden, *Interoperation of Controlled-Load and Guaranteed-Service with ATM*, Internet Draft, <draft-ietf-issll-atm-mapping-05.txt>, March 1998.
- [ID-Johnson98] D. Johnson, C. Perkins, *Mobility Support in IPv6*, Mobile IP Working Group, Internet-draft, Work in Progress, <draft-ietf-mobileip-ipv6-05.txt>, March '98.
- [ID-Johnson97] D. Johnson, C. Perkins *Route Optimization in Mobile IP*, Internet Draft, <draft-ietf-mobileip-optim-07.txt>, December 1997.
- [ID-Luciani98] J. Luciani, D. Katz, D. Piscitello, B. Cole, N. Doraswamy, *NBMA Next Hop Resolution Protocol (NHRP)*, Internet Draft, <draft-ietf-rolc-nhrp-15.txt>, February 1998.
- [ID-Perez97] M. Perez, *ATM Signalling Support for IP over ATM - UNI 4.0 Update*, Internet Draft, <draft-ietf-ion-sig-uni4.0-05.txt>, June 1996.
- [ID-Rekhter97] Y. Rekhter, *NHRP for Destinations off the NBMA Subnetwork*, Internet Draft, <draft-ietf-ion-r2r-nhrp-00.txt>, February 1997
- [LANEv1] The ATM Forum Technical Committee, 'LAN Emulation Over ATM', January 1995.
- [LANEv2] The ATM Forum Technical Committee, *LAN Emulation Over ATM Version 2 - LUNI Specification*, July 1997.
- [MPOAv1] The ATM Forum Technical Committee, *Multi-Protocol Over ATM Version 1.0*, July 1997.

- [ATMReport96] 'Ipsilon Steals the Show - INTEROP+NETWORLD 96 - Las Vegas', The ATM Report, 4(1), pp 6, April 1996.
- [Bagwell95] R. Bagwell, J. McDearman & D. Marlow, *Achieving IP-Multicast Functionality in the Asynchronous Transfer Mode Environment*, Proceedings of Southeastcon '95, pp 274-277, March 1995.
- [Crowcroft95] J. Crowcroft, Z. Whang, A. Smith & J. Adams, *A Rough Comparison of the IETF and ATM Service Models*, IEEE Network, Vol 9(6), pp 12-16, November 1995.
- [Flynn95] S. Flynn, *Internet Multicast over Asynchronous Transfer Mode*, MILCOM'95, pp 262-267, Vol 1, 1995.
- [Ipsilon98] Ipsilon, IP Switching Resources, <http://www.ipsilon.com>
- [Lin97] S. Lin, N. McKeown, *A Simulation Study of IP Switching*, ACM SIGCOMM 97, Cannes France, September 1997, ACM CCIR No. 4 October 1997.
- [Mikkonen97] J. Mikkonen, J. Aldis, G. Awater, A. Lunn, D. Hutchinson, *The Magic WAND - Functional Overview*, submitted to the IEEE JSAC.
- [Newman96] P. Newman, T. Lyon, G. Minshall, *Flow Labelled IP: A Connectionless Approach to ATM*, Proceedings IEEE INFOCOM '96, San Francisco, March 1996.
- [Newman97] P. Newman, G. Minshall, T. Lyon, L. Huston, *IP Switching and Gigabit Routers*, IEEE Communications Magazine, January 1997.
- [Newman97b] P. Newman, G. Minshall, T. Lyon, *IP Switching: ATM Under IP*, accepted for publication in IEEE/ACM Transactions.
- [Truong95] H. Truong, W. Ellington Jr., J. Boudec, A. Meier, J. Pace, *LAN Emulation on an ATM Network*, IEEE Communications Magazine, May 1995.

Ασύρματο ATM

6. Γενική επισκόπηση του κεφαλαίου

Στο κεφάλαιο αυτό αναλύεται η αρχιτεκτονική του ασύρματου ATM δικτύου που χρησιμοποιείται ως βάση για τη μελέτη του εγχειρήματος εισαγωγής IP υπηρεσιών σε ασύρματα ATM δίκτυα. Περιγράφεται το μοντέλο λειτουργίας και τα δομικά στοιχεία του μοντέλου αυτού.

6.1 *Magic WAND*

Υπάρχουν πολλές ερευνητικές δραστηριότητες που επικεντρώνουν το ενδιαφέρον τους στο θέμα του ασύρματου ATM. Ένα από τα ερευνητικά έργα είναι και το Magic WAND (Wireless ATM Demonstrator). Χρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση μέσω του προγράμματος ACTS (Advanced Communications Technologies Services). Το Magic WAND συγκεκριμένα εστιάζει στην ανάπτυξη ραδιο-υποσυστήματος υψηλής ταχύτητας εστιασμένο στην ATM τεχνολογία, πρωτόκολλο δικτύου με υποστήριξη κινητικότητας και εφαρμογές ενήμερες για την ποιότητα υπηρεσίας που μπορεί να τους προσφερθεί για τους τελικούς χρήστες.

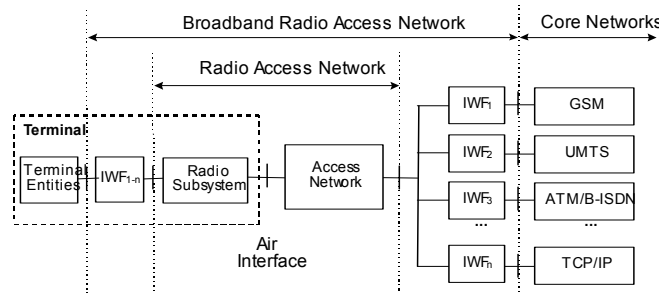
Το υποσύστημα υψηλής ταχύτητας εστιάζει στην ανάπτυξη του φυσικού επιπέδου και του επιπέδου ελέγχου πρόσβασης μέσου (MAC, Medium Access Control). Τα πρωτόκολλα αυτά θα λειτουργούν στην περιοχή συχνοτήτων των 5,2 GHz και ρυθμού δεδομένων 20+ Mb/sec. Το αναπτυσσόμενο υποσύστημα πρέπει να υποστηρίζει κίνηση με την ενσωματωμένη ATM τεχνολογία.

Τα πρωτόκολλα δικτύου που έχουν καθοριστεί για επικοινωνίες βασισμένες στην ποιότητα υπηρεσίας, όπως η σηματοδότηση ATM/B-ISDN δεν περιλαμβάνουν υποστήριξη κινητικότητας. Το Magic WAND καθορίζει τις απαιτούμενες επεκτάσεις κινητικότητας, συμπεριλαμβανομένων των μεταπομπών (handovers) και καθορισμό τοποθεσίας (location management) για λειτουργία κυψελωτού δικτύου σε εσωτερικό χώρο. Λαμβάνει υπόψη τόσο τον υψηλό ρυθμό δεδομένων όσο και τις αυστηρές προδιαγραφές που θέτει το σχετικά μικρό μέγεθος του κελιού.

6.2 *Μοντέλο αναφοράς WATM*

Η γενική αρχιτεκτονική Δικτύων Πρόσβασης Ραδιοεπικοινωνίας Ευρείας Ζώνης (Broadband Radio Access Network), όπως αυτή φαίνεται στο Σχήμα 6-1, διαχωρίζει το δίκτυο πρόσβασης ραδιοεπικοινωνίας από την τεχνολογία του δικτύου-πυρήνα. Ο διαχωρισμός αυτός επιτρέπει την διεργασία (interworking) μεταξύ ενός δικτύου πρόσβασης στη ραδιοεπικοινωνία και αρκετών δικτύων κορμών διαφορετικής τεχνολογίας. Η σύνδεση του δικτύου πρόσβασης στη ραδιοεπικοινωνία με τα διάφορα

δίκτυα κορμού μπορεί να γίνει με τον απλό ορισμό των Λειτουργιών Διεργασίας (InterWorking Function, IWF).

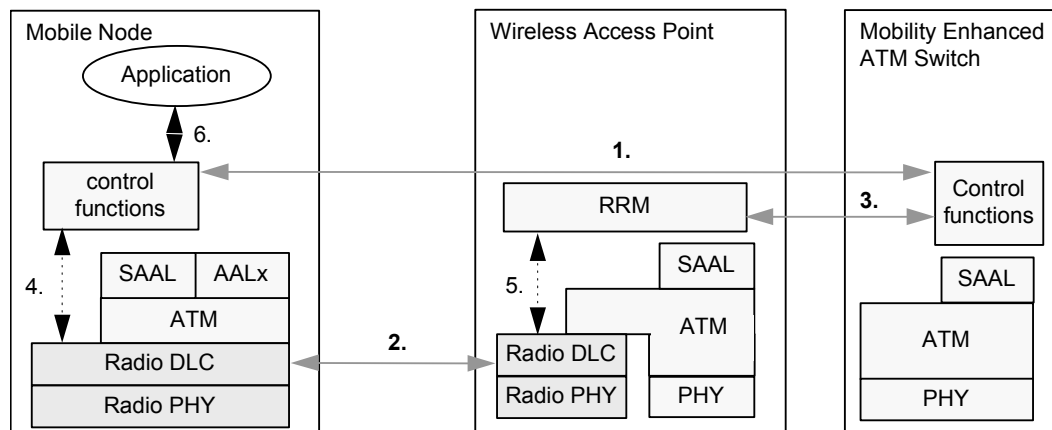


Σχήμα 6-1: Ένα γενικό μοντέλο αναφοράς δικτύου πρόσβασης στη ραδιοεπικοινωνία ευρείας ζώνης

6.3 Μοντέλο Λειτουργίας WATM

Η λειτουργική διαίρεση μεταξύ του δικτύου πρόσβασης στη ραδιοεπικοινωνία, το οποίο αποτελείται από τα σημεία πρόσβασης (Access Point, AP) και τα κινητά τερματικά (Mobile Terminal, MT) και του πυρήνα του δικτύου, ο οποίος αποτελείται από τους μεταγωγείς ATM είναι ένα από τα βασικά θέματα σχεδιασμού σε για ασύρματα δίκτυα ATM. Ο στόχος είναι να κρατηθεί η πολυπλοκότητα του μεταγωγέα ATM σε ένα διαχειρίσιμο επίπεδο και να μετακινηθούν όλες οι λειτουργίες του δικτύου που έχουν σχέση με τη ραδιοεπικοινωνία στο δίκτυο πρόσβασης στη ραδιοεπικοινωνία και συγκεκριμένα στην οντότητα RRM (Radio Resource Manager, Διαχειριστής Ραδιοπόρων) στο AP. Το RRM παρέχει λειτουργίες διεπαφής με τον μεταγωγέα ATM και τον πομποδέκτη AP.

Στα περισσότερα ασύρματα ATM συστήματα, η λειτουργία του CAC (Connection Admission Control, Έλεγχος αποδοχής σύνδεσης) εισάγεται στον μεταγωγέα ATM, γεγονός που έχει το πλεονέκτημα της λήψης αποφάσεων σε ένα κεντρικό σημείο και απλούστερη υλοποίηση του AP. Η εναλλακτική λύση που ακολουθείται εδώ, όπως φαίνεται στο Σχήμα 6-2, μετακινεί τον υπολογισμό του ασύρματου CAC στο AP, όπου και βρίσκεται η πιο ακριβέστερη πληροφορία για τη ραδιοεπικοινωνία. Σε κάθε AP, το ασύρματο CAC μπορεί να ρυθμιστεί στους διάφορους τρόπους που λειτουργούν τα διαφορετικά ραδιο-συστήματα. Επιπρόσθετα, η τοπική λήψη αποφάσεων έχει ως αποτέλεσμα τον μικρό χρόνο απόκρισης και κατανέμει τον υπολογιστικό φόρτο. Υπάρχει η δυνατότητα να ερωτηθούν πολλά APs ταυτόχρονα ποιο είναι πλεονεκτικότερο, δηλαδή στην περίπτωση handover, όπου πρέπει να θεωρηθούν πολλά APs πριν ληφθεί κάποια απόφαση. Ο μεταγωγέας θα συμβουλευτεί τους πιθανούς στόχους-AP ενός handover για το καθεστώς του ασύρματου CAC αφού τελειώσει με το δικό του fixed CAC. Αν το ασύρματο CAC δεν γινόταν στο AP, η πληροφορία που σχετίζεται με το ασύρματο μέρος θα πρέπει να μεταφερόταν στον μεταγωγέα, μειώνοντας έτσι την επεκτασιμότητα του ασύρματου υποσυστήματος και προσθέτοντας σημαντικά στην πολυπλοκότητα της υλοποίησης του μεταγωγέα ATM.



Σχήμα 6-2: από WAND Functional Overview

Στο Σχήμα 6-2, παρουσιάζονται οι εξής λειτουργικές οντότητες:

Mobility Enhanced ATM Switch (Βελτιωμένος ATM μεταγωγέας που υποστηρίζει κινητικότητα). Είναι ο μεταγωγέας πρόσβασης στο εσωτερικό δίκτυο (Customer Premises Network, CPN), και έχει το ρόλο της διεπαφής μεταξύ του δικτύου πρόσβασης στη ραδιοεπικοινωνία με το δίκτυο κορμού ATM. Οι λειτουργίες που υπάρχουν στον ATM μεταγωγέα περιλαμβάνουν standard ATM λειτουργίες ελέγχου, όπως Call Control (CC) Έλεγχο Κλήσης, CAC (Call Admission Control) Έλεγχο Αποδοχής Κλήσης και MMC (Mobility Management Control) Έλεγχο Διαχείρισης Κινητικότητας για τα κινητά ATM τερματικά, Διαχείριση Πόρων, Δρομολόγηση.

Wireless Access Point (Ασύρματο Σημείο Πρόσβασης). Η οντότητα που δημιουργεί ένα περιβάλλον ραδιοκυψέλης, μεγέθους περίπου 50 μέτρων με εύρος ζώνης 20 Mbps στη ζώνη συχνοτήτων των 5 GHz. Τα Σημεία Πρόσβασης (APs) συνδέονται στον ATM μεταγωγέα με standard ATM φυσικές συνδέσεις. Το AP φιλοξενεί τις RRM λειτουργίες.

Mobile Node (Mobile Terminal, MT) (Κινητό Τερματικό). Είναι ο εξοπλισμός του τελικού χρήστη που χρησιμοποιεί την ραδιοεπαφή των 20 Mbps. Οι λειτουργίες που τοποθετήθηκαν μέσα στο MT συμπεριλαμβάνουν τις MMC και CC που είναι οι αντίστοιχες με αυτές στον μεταγωγέα.

Τα επίπεδα ATM, SAAL (Signalling ATM Adaptation Layer), AAL5 (ATM Adaptation Layer 5) και PHY (το φυσικό επίπεδο του ATM) θεωρούνται ως τα προκαθορισμένα από τα υπάρχοντα ATM standards. Οι περιοχές εστίασης του WAND είναι οι λειτουργίες ελέγχου (control functions), ο έλεγχος του επιπέδου σύνδεσης δεδομένων της ραδιοεπικοινωνίας (Radio DLC, Data Link Control), το φυσικό επίπεδο της ραδιοεπικοινωνίας και το RRM.

Ο Πίνακας 6-1 παρουσιάζει τις κύριες διεπαφές μεταξύ των οντοτήτων λειτουργίας του συστήματος. Οι διεπαφές 1-3 στο Σχήμα 6-2 είναι πρωτόκολλα μεταξύ ομότιμων (peer) επιπέδων, ενώ οι 4-6 αναφέρονται σε διεπαφές ελέγχου μεταξύ διαφορετικών επιπέδων πρωτοκόλλων.

#	Διεπαφή	Σχόλια
1	ATM UNI + 'Μ'	Το 'Μ' πρωτόκολλο χρησιμοποιείται για μηνύματα σχετικά με την κινητικότητα, ενώ το UNI είναι το standard ATM.
2	Radio Link Control Protocol (Πρωτόκολλο ελέγχου ραδιοσύνδεσης)	Ο έλεγχος του ραδιοσυστήματος μεταξύ MT και AP.
3	Access Point Control Protocol (Πρωτόκολλο ελέγχου σημείων πρόσβασης)	Χρησιμοποιείται για διαχείριση συνδέσεων και το δίκτυο πρόσβασης στη ραδιοεπικοινωνία.
4	MT radio subsystem control (Έλεγχος ραδιοσυστήματος κινητού)	Διεπαφή επιπέδου διοίκησης
5	AP radio subsystem control (έλεγχος ραδιοσυστήματος σημείου πρόσβασης)	Διεπαφή επιπέδου διοίκησης
6	API, Application Programming Interface (Άειάδοβ δññāññìíáðéοίγ ãðññìñâþì)	ÃēÛöîñä ðañëãÛëëïôä Ý÷ïîí äéáoîñâðéeÝò ðeîðieþóåè áðoîý ôîø API (ð.÷. Winsock 2 äéä Windows).

Πίνακας 6-1: Πρωτόκολλα και διεπαφές επιπέδων

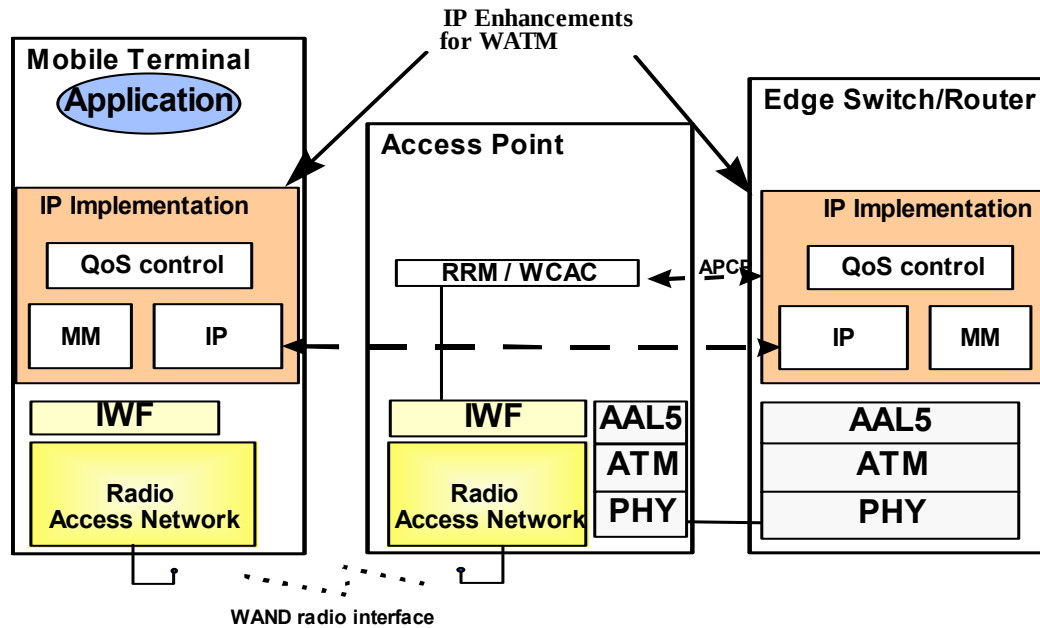
6.4 Εισαγωγή IP στο WAND

Το αρχικό σύστημα WAND έχει σχεδιαστεί για ATM δίκτυα κορμού. Η εισαγωγή όμως καινοτόμων τεχνολογιών για παροχή ποιότητας υπηρεσίας πάνω από IP ξεκίνησε μία νέα εξέλιξη. Πολλοί ειδικοί προβλέπουν ότι η μελλοντική τεχνολογία δικτύων κορμού θα είναι το IP. Με τα δεδομένα αυτά, έπρεπε να μελετηθεί η αποτελεσματική συνεργασία του IP με το αναπτυγμένο ασύρματο δίκτυο πρόσβασης ATM.

Ο στόχος είναι η εύρεση αποτελεσματικών τεχνικών για τη μετάδοση πακέτων IP πάνω από το σχεδιασμένο ραδιο-υποσύστημα στο ασύρματο δίκτυο ATM ευρείας ζώνης. Η προσέγγιση αυτή ενισχύει τις ικανότητες του συστήματος έτσι ώστε το ίδιο δίκτυο πρόσβασης στη ραδιοεπικοινωνία να μπορεί ουσιαστικά να υποστηρίξει τόσο ATM όσο και IP δίκτυα κορμού (Σχήμα 6-1).

Τα IP δίκτυα διαφέρουν σημαντικά από τα ATM δίκτυα, αφού χρησιμοποιούν το χωρίς σύνδεση (connectionless) IP πρωτόκολλο και παρέχει εγγυήσεις ποιότητας υπηρεσίας αρκετά διαφορετικά. Επιπρόσθετα, η κινητικότητα των χρηστών και ο ασύρματος παράγοντας εισάγουν αρκετές νέες απαιτήσεις τόσο στο δίκτυο πρόσβασης IP όσο και στις τερματικές συσκευές των χρηστών. Συνεπώς, πρέπει να γίνουν αρκετές θεμελιώδεις τροποποιήσεις στο ασύρματο ATM δίκτυο WAND για να παρέχει ένα συμβατό με IP δίκτυο πρόσβασης στη ραδιοεπικοινωνία.

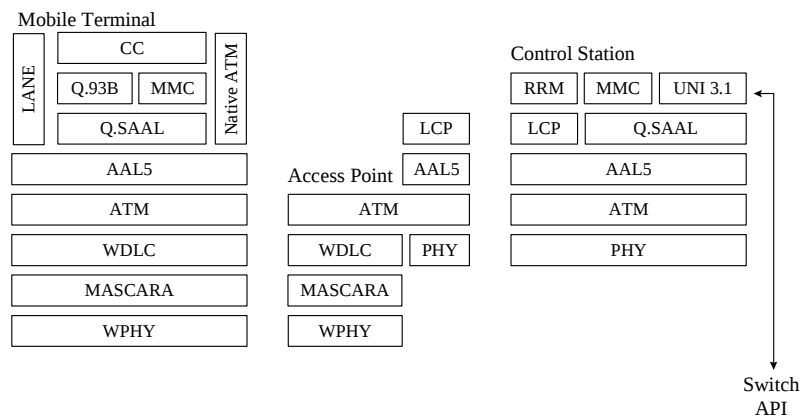
Η γενική εικόνα της αρχιτεκτονικής που θα ακολουθηθεί δίνεται στο Σχήμα 6-3.



Σχήμα 6-3: Ασύρματο ATM σύστημα με υπηρεσίες IP

6.4.1 Εναλλακτικές αρχιτεκτονικές

Το παρόν σύστημα υποστηρίζει εφαρμογές IP unicast, καλύτερης προσπάθειας, μεταφέροντας πακέτα Internet μέσα σε ATM cells (μηχανισμός μεταφοράς δεδομένων) και επεκτείνοντας το επίπεδο ελέγχου του UNI 3.1 (control plane) για την παροχή υποστήριξης κινητικότητας. Ουσιαστικά δηλαδή εφαρμόζεται το πρωτόκολλο LANE για την υποστήριξη IP, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 6-4 (Σχήμα από δικό μας mobility management).



Σχήμα 6-4: Στοίβα πρωτοκόλλων στην παρούσα κατάσταση

Το δίκτυο πρόσβασης αποτελείται από δύο διεπαφές: (α) την ασύρματη διεπαφή μεταξύ του Σημείου Πρόσβασης (AP) και του κινητού (MT) και (β) την ενσύρματη διεπαφή μεταξύ του AP και του μεταγωγέα. Για την καλύτερη υποστήριξη ασύρματης Internet πρόσβασης εξετάστηκαν πολλές εναλλακτικές λύσεις για το επίπεδο ελέγχου και τον

μηχανισμό μεταφοράς δεδομένων τόσο για την ασύρματη όσο και για την ενσύρματη διεπαφή. Οι πιθανές εναλλακτικές λύσεις περιγράφονται παρακάτω.

6.4.2 Μηχανισμός Μεταφοράς Δεδομένων

Σε ένα ασύρματο περιβάλλον, το εύρος ζώνης είναι περιορισμένο και συνεπώς η ελαχιστοποίηση της καθυστέρησης της παράδοσης των πακέτων είναι σημαντικός παράγοντας. Επομένως, οι προσεγγίσεις όπως LANE, MPOA, που προσθέτουν αρκετά επίπεδα πρωτοκόλλων στην προσπάθεια τους να διασυνδέονται εύκολα με παλιά πρωτόκολλα δικτύων δεν είναι κατάλληλες. Αφού είναι επιθυμητή η ελαχιστοποίηση του μήκους της επικεφαλίδας των πακέτων, οι προτάσεις IP switching, CLIP, MARS φαίνονται ελκυστικότερες, αφού το IP πακέτο μπορεί να εγκλειστεί σε ένα AAL5 PDU (Protocol Data Unit). Η IP switching τεχνική έχει το επιπλέον πλεονέκτημα ότι απομακρύνει το τμήμα εκείνο των επικεφαλίδων που παραμένει σταθερό για όλα τα πακέτα που μεταδίδονται σε ένα συγκεκριμένο VC. Το γνώρισμα αυτό γίνεται ακόμη σημαντικότερο σε IPv6 περιβάλλοντα, όπου τα πεδία των IP διευθύνσεων γίνονται μεγαλύτερα.

Μια εναλλακτική λύση είναι η παντελής απομάκρυνση ολόκληρης της στοίβας του ATM πρωτοκόλλου και η επιβολή της απευθείας διεπαφής μεταξύ του IP επιπέδου και του επιπέδου ελέγχου σύνδεσης. Υπάρχουν οι εξής εναλλακτικές λύσεις:

- a) Διατήρηση της μεταφοράς ATM και στην ασύρματη και στην ενσύρματη διεπαφή.
- b) Διατήρηση της μεταφοράς ATM στην ενσύρματη διεπαφή, αλλά κατάργηση της στην ασύρματη τοποθετώντας το IP κατευθείαν πάνω από το επίπεδο ελέγχου σύνδεσης δεδομένων.
- c) Κατάργηση της μεταφοράς ATM και στην ασύρματη και στην ενσύρματη διεπαφή.

Η επιλογή (c) είναι μια γενίκευση της επιλογής (b), όπου αντί να υποτίθεται ότι ο μηχανισμός μετάδοσης είναι ATM, μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιοδήποτε MAC πρωτόκολλο. Πρέπει να τονιστεί ότι, δεν υπάρχει ανταγωνιστικό πρωτόκολλο του ATM σε ότι αφορά υπηρεσίες πραγματικού χρόνου, και ότι ουσιαστικά οι δύο τελευταίες επιλογές αναφέρονται για λόγους πληρότητας.

6.5 Αναφορές

- [Mikkonen97] J. Mikkonen, J. Aldis, G. Awater, A. Lunn, D. Hutchinson, *The Magic WAND - Functional Overview*, submitted to the IEEE JSAC.
- [Kaloxyllos98] A. Kaloxyllos, S. Hadjiefthymiades, L. Merakos, *Mobility Management and Control Protocol for Wireless ATM Networks*, IEEE Network Magazine, Special Issue on PCS Management, May 1998.

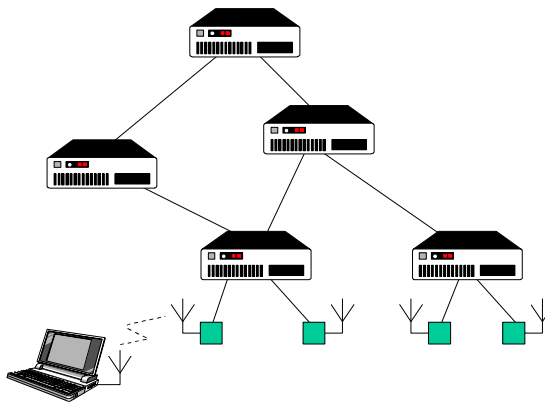
Κινητικότητα για IP υπηρεσίες πάνω από ασύρματο ATM

7. Γενική επισκόπηση του κεφαλαίου

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται η γενική κατεύθυνση που ακολουθείται στην εφαρμογή της τεχνολογίας IP από ασύρματα ATM δίκτυα. Στη συνέχεια δίνονται αναλυτικές περιγραφές των μηχανισμών που είναι απαραίτητοι στη διαχείριση της κινητικότητας. Περιγράφονται διεξοδικά οι λειτουργίες στις μεταπομπές των κινητών και δίνονται κατευθύνσεις για την αποτελεσματικότερη ρύθμιση τους.

7.1 Αρχιτεκτονική ασύρματου ATM συστήματος

Τα συστατικά του συστήματος για το ασύρματο τμήμα είναι τα κινητά τερματικά (MTs) και τα Σημεία Πρόσβασης (APs). Τα APs προσαρτώνται στους IP μεταγωγείς που είναι παράλληλα και δρομολογητές και δημιουργούν το δίκτυο πρόσβασης. Οι IP μεταγωγείς συνδέονται με άλλους μεταγωγείς στο δίκτυο κορμού και συνεπώς προσφέρουν πρόσβαση σε σταθερά ή κινητά τερματικά (Σχήμα 7-1).



Σχήμα 7-1: Δίκτυο πρόσβασης με περισσότερους μεταγωγείς

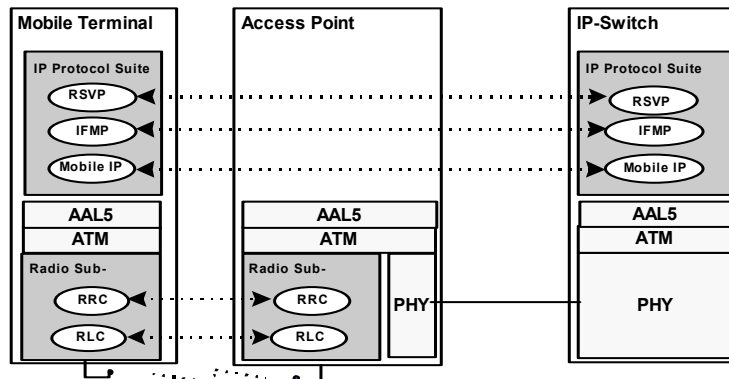
7.1.1 Επιλογή κατεύθυνσης

Με γνώμονα την αποτελεσματικότητα του τελικού συστήματος, ο σχεδιασμός της υποστήριξης IP υπηρεσιών σε ασύρματο ATM περιβάλλον λαμβάνει πολλές παραμέτρους υπόψη. Κατ' αρχήν, προτείνεται η διατήρηση του ATM επιπέδου σύνδεσης (MASCARA και WDLC), αφού παρέχει την ικανοποιητικότερη υποστήριξη εγγύησης ποιότητας υπηρεσίας. Η σηματοδότηση UNI 3.1 είναι σχετικά πολύπλοκη και αργή για την εισαγωγή και των IP υπηρεσιών. Επιπλέον, χρειάζεται λειτουργίες

μετάφρασης και συνεργασίας με το ανερχόμενο πρότυπο δέσμευσης πόρων στο Internet, το RSVP. Συνεπώς με χρήση του RSVP επιτυγχάνεται τόσο η μείωση της πολυπλοκότητας του πρωτοκόλλου σηματοδότησης που χρησιμοποιείται όσο και η προφανής απλότητα στη συνεργασία με το υπόλοιπο Internet που το χρησιμοποιεί. Η κατάργηση των κλασικών ATM μεθόδων σηματοδότησης αυτομάτως εμποδίζει τη χρήση ορισμένων μεθόδων χρήσης IP πάνω από ATM, όπως η πρόταση για Classical IP over ATM (CLIP). Η τεχνική IP switching παρουσιάζεται ως η πλέον ενδεδειγμένη εναλλακτική λύση για τη νέα αρχιτεκτονική εισαγωγής IP υπηρεσιών στο ασύρματο ATM σύστημα. Συγκεκριμένα, η τεχνική IP switching προτείνει την απομάκρυνση των πρωτοκόλλων σηματοδότησης από τις ATM συσκευές, προσέγγιση παρόμοια με αυτή που ακολουθείται και στην παρούσα περίπτωση. Επιπλέον, αφού το σύστημα σχεδιάζεται για την υποστήριξη τερματικών σε διαφορετικά υποδίκτυα, πρέπει να ληφθεί μέριμνα για τις αλλαγές στη διευθυνσιοδότηση των τερματικών. Συνεπώς, το πρωτόκολλο Mobile IP είναι μία από τις βασικότερες προσθήκες για την υποστήριξη κίνησης.

7.2 Στοιίβα πρωτοκόλλων

Η ομάδα των πρωτοκόλλων που συνοδεύουν το IP τοποθετείται πάνω από το AAL5. Το Mobile IP είναι κατά κάποιον τρόπο μια επέκταση του IP, οπότε θεωρούμε ότι αποτελούν ένα ενιαίο κομμάτι. Πάνω από το IP λειτουργούν τα άλλα πρωτόκολλα, όπως TCP, RSVP, IFMP καθώς και η οντότητα Mobility Management (Διαχείριση Κινητικότητας). Η οντότητα αυτή συνεργάζεται με το Mobile IP και διαχειρίζεται τις περιπτώσεις power-on, αρχικής εγγραφής, και μεταπομπών (handovers). Μερικές περιπτώσεις handover είναι δυνατό να εξυπηρετηθούν και στο επίπεδο του υποσυστήματος πρόσβασης στη ραδιοεπικοινωνία, όπως θα φανεί στη συνέχεια.



Σχήμα 7-2: Στοιίβα πρωτοκόλλων της νέας αρχιτεκτονικής

Η στοιίβα των πρωτοκόλλων συμπεριλαμβάνει το AAL5 ως μέσο για την ανταλλαγή μηνυμάτων ελέγχου (ασύρματο CAC, στατιστικά) με το IP switch. Το πρωτόκολλο που ακολουθείται για τον έλεγχο του ραδιοσυστήματος λέγεται APCP (Access Point Control Protocol). Η στοιίβα στον μεταγωγέα είναι επίσης βασισμένη στο AAL5. Σε ανώτερα επίπεδα υπάρχει το IP πρωτόκολλο με ικανότητες δρομολόγησης και επαναπροώθησης πακέτων και από πάνω η οντότητα Mobility Management, και τα IFMP, RSVP. Η οντότητα Mobility Management είναι υπεύθυνη για τη διανομή των

αιτήσεων handover και επαναδρομολόγησης των συνδέσεων. Έχει επίσης το ρόλο του Home Agent για τα MTs που είναι καταχωρημένα στα ασύρματα υποδίκτυα. Το IFMP χρησιμοποιείται για τη σηματοδότηση προκειμένου για εκχώρηση VC σε ασύρματους ή ενσύρματους κόμβους τους δικτύου.

Καθώς το MT προσχωρεί σε ένα ασύρματο LAN δημιουργούνται τα εξής VCs:

- RSVP κανάλι ελέγχου για τη μεταφορά των RSVP μηνυμάτων (όπως προτείνεται και στο [Basturk97]).
- Κανάλι ελέγχου IP switching για τη μεταφορά των IFMP μηνυμάτων
- Κανάλι ελέγχου κινητικότητας
- Κανάλι δεδομένων καλύτερης προσπάθειας. Μέσα από αυτό μεταφέρονται ουσιαστικά όλα τα δεδομένα που δεν έχουν δηλωθεί ή αναγνωριστεί ως ροές. Τα δεδομένα μεταφέρονται με τον τρόπο άλμα-προς-άλμα, δηλαδή επανασυναρμολογούνται και επαναδρομολογούνται σε κάθε IP δρομολογητή.

Ακόμη, μπορούν να δημιουργηθούν αφιερωμένα απευθείας (dedicated cut-through) VCs για ροές δεδομένων με απαιτήσεις ποιότητας υπηρεσίας (μέσω RSVP) ή για εφαρμογές μακρύτερης διάρκειας που περιλαμβάνουν ένα μεγάλο όγκο κυκλοφορίας (μέσω IFMP). Το IFMP του IP switching μπορεί να προκαλέσει τη δημιουργία αφιερωμένου VC μεταξύ δύο κόμβων όταν ξεπεραστεί ένα κατώφλι όγκου κυκλοφορίας (για παράδειγμα δύο datagrams το λεπτό) ή όταν αναγνωριστεί κάποια εφαρμογή μακρόχρονης διάρκειας όπως για παράδειγμα FTP. Για ρητή δέσμευση VC με εγγύηση ποιότητας υπηρεσίας χρησιμοποιείται το RSVP το οποίο επικοινωνεί με το IFMP για τη δέσμευση των πόρων.

Καθώς το MT κινείται, είναι επιθυμητή η διατήρηση όλων των δημιουργημένων VCs (ελέγχου, καλύτερης προσπάθειας, αφιερωμένα) όπου είναι δυνατό. Είναι πιθανή η έλλειψη πόρων σε μια τοποθεσία, όπου ο έλεγχος αποδοχής κλήσης (CAC) αναφέρει ότι δεν μπορούν να υποστηριχθούν όλες οι συνδέσεις. Στην περίπτωση αυτή, έχουν προτεραιότητα τα κανάλια ελέγχου, και η δημιουργία του καναλιού καλύτερης προσπάθειας, αφού είναι κοινό για πολλές συνδέσεις καλύτερης προσπάθειας. Κάποια από τα αφιερωμένα VCs θα πρέπει να καταργηθούν ή να μειώσουν τις απαιτήσεις τους σε πόρους.

7.3 Ανάλυση λειτουργίας

Ένα IP υποδίκτυο ορίζεται από τον IP μεταγωγέα που το ελέγχει. Ο ελεγκτής του ATM switch έχει το ρόλο του δρομολογητή αλλά και του Home Agent. Αυτό συμβαίνει για να υποστηρίζεται κινητικότητα των MTs από ένα δίκτυο σε ένα άλλο χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο Mobile IP. Συνεπώς τα τερματικά που ελέγχονται από έναν μεταγωγέα έχουν ως διεύθυνση την οικεία διεύθυνση (Home Address, HA) όταν ελέγχονται από αυτόν και μια άλλη care of διεύθυνση (care of address, COA) όταν ελέγχονται από κάποιον άλλο μεταγωγέα.

Έστω ότι ένα τερματικό πραγματοποιεί power on σε ένα ξένο δίκτυο. Τότε, μέσω των καναλιών ελέγχου που έχουν ανατεθεί, του ανατίθεται μια COA για χρήση όσο θα παραμένει σε αυτό το ξένο δίκτυο. Το τερματικό ενημερώνει τον Home Agent για την COA που απέκτησε. Έστω ότι κάποιος άλλος κόμβος θέλει να επικοινωνήσει με το τερματικό. Στο εξής θα ονομάζεται ανταποκριτής κόμβος, Correspondent Node (CN). Στέλνει τα IP πακέτα προορισμένα για την HA του τερματικού. Ο Home Agent, ενημερωμένος για την αλλαγή τοποθεσίας του τερματικού τα αναχαιτίζει και εγκλείοντας τα σε άλλα IP πακέτα (τούνελ) τα διοχετεύει προς την COA. Το MT τα παραλαμβάνει και εξάγει το πακέτο που προορίζεται για αυτό. Τυχόν πακέτα απάντησης προς τον CN θα δρομολογούνται κανονικά, με διεύθυνση πηγής την care-of διεύθυνση, αλλά με μια επιπλέον επιλογή στην IP επικεφαλίδα, την HA του κινητού.

Για τη βελτιστοποίηση της δρομολόγησης, το MT στέλνει στον CN μήνυμα Binding Update όπου και του συνιστά τη δημιουργία καταχώρισης κινητικότητας στη σχετική μνήμη κατακράτησης κινητικότητας. Ουσιαστικά αντιστοιχεί τη Home Address με την Care-Of-Address σε κάποιον πίνακα. Όταν η εφαρμογή στο CN ξαναστέλλει πακέτο στο κινητό, δηλαδή προς την Home Address του, το πρωτόκολλο Mobile IP θα αλλάξει τη διεύθυνση προορισμού συμβουλευόμενο τη μνήμη κατακράτησης κινητικότητας στην Care-Of Address του κινητού. Επομένως, καταργείται το πρόβλημα της τριγωνικής δρομολόγησης.

Η Care-Of Address για ένα κινητό παραμένει η ίδια όσο παραμένει υπό τον έλεγχο του ίδιου IP switch. Αυτό συμπεριλαμβάνει και τις περιπτώσεις handover σε άλλο Access Point που όμως επίσης ελέγχεται από το ίδιο IP switch.

7.4 Handovers

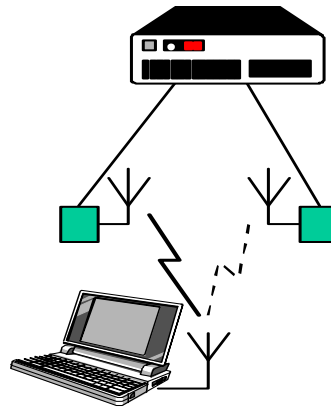
Για την προτεινόμενη αρχιτεκτονική έχουν οριστεί τριών ειδών handovers.

- intra-AP
- intra-switch
- inter-switch

Το intra-AP handover είναι απλώς ένα handover στη ραδιοεπικοινωνία. Το MT αλλάζει συχνότητα στο ίδιο AP. Η περίπτωση αυτή του handover αφορά αποκλειστικά το AP, το οποίο είναι και το μόνο που τη διαχειρίζεται. Δεν απαιτείται επιπλέον σηματοδότηση ούτε και η ανάμιξη ανώτερων πρωτοκόλλων ή την παρέμβαση της οντότητας Mobility Management στον ελεγκτή του μεταγωγέα. Το intra-switch handover αναφέρεται στην περίπτωση όπου το MT κινείται μεταξύ διαφορετικών APs, που ελέγχονται όμως από το ίδιο IP-switch. Τέλος, το inter-switch handover χειρίζεται την κινητικότητα του τερματικού μεταξύ APs, τα οποία ελέγχονται από διαφορετικά IP-switches. Τα τελευταία δύο είδη handover θα εξεταστούν αναλυτικότερα στη συνέχεια.

7.4.1 Intra-switch handovers

Όταν το τερματικό προσαρτάται σε ένα άλλο Access Point στην περιοχή ελέγχου ενός IP-switch παραμένει στο ίδιο IP υποδίκτυο, δεν αλλάζει δηλαδή την IP διεύθυνση του.



Σχήμα 7-3: Intra-switch handover

7.4.1.1 Προτεινόμενη υλοποίηση

Ο έλεγχος αποδοχής κλήσης (CAC) πρέπει να πραγματοποιηθεί για το νέο Access Point. Όπως έχει προαναφερθεί, υπάρχουν δύο CAC διεργασίες. Η μία αφορά το ενσύρματο δίκτυο (Fixed CAC, FCAC), η οποία ελέγχει για τη διαθεσιμότητα των πόρων στο ενσύρματο δίκτυο, δηλαδή μεταξύ του IP switch και των Access Points. Η άλλη (Wireless CAC, WCAC) ασχολείται με το ασύρματο δίκτυο, δηλαδή με την ύπαρξη και διαθεσιμότητα των ζητούμενων πόρων στη ραδιοεπαφή μεταξύ του κάθε Access Point και των τερματικών που είναι προσαρτημένα από αυτό. Οι οντότητες ελέγχου κυκλοφορίας RSVP στον ελεγκτή του ATM switch ασχολούνται με το FCAC, ενώ το WCAC πραγματοποιείται στο AP και ελέγχεται μέσω μιας ATM/AAL5 σύνδεσης από το switch. Τα χαρακτηριστικά της ποιότητας υπηρεσίας κάθε ενεργής σύνδεσης είναι αποθηκευμένα στον ελεγκτή του switch.

Αν και οι δύο αλγόριθμοι CAC εγκρίνουν την αποδοχή, τα VCs που είναι συσχετισμένα με το συγκεκριμένο κινητό μέταγονται προς το νέο Access Point. Για την μεταγωγή των VCs χρησιμοποιείται από τον ελεγκτή του switch το πρωτόκολλο GSMF για την άμεση πρόσβαση στο υλικό του. Όπως γίνεται εμφανές, δεν υπάρχουν ιδιαίτερες διαφορές στη διαδικασία του intra-switch handover οι οποίες να προήλθαν από την εισαγωγή υποστήριξης IP υπηρεσιών.

Η μόνη αξιοσημείωτη διαφορά είναι στην περίπτωση που οι αλγόριθμοι CAC δείξουν ότι μπορούν να ανατεθούν μόνο περιορισμένοι πόροι ή δεν υπάρχουν καθόλου διαθέσιμοι πόροι. Στην περίπτωση αυτή, δεν είναι πλέον αναγκαία η απόρριψη του handover και ο τερματισμός της σύνδεσης του κινητού. Εναλλακτικά, αν το νέο AP μπορεί να υποστηρίξει μόνο χαμηλότερη ποιότητα υπηρεσίας, η εφαρμογή ή η οντότητα RSVP στο MT έχει την επιλογή της αποδοχής της χαμηλότερης ποιότητας που προσφέρεται από το δίκτυο. Οι επιλογές που μπορεί να γίνουν είναι οι εξής:

- μετατροπή των QoS VCs σε QoS VCs χαμηλότερων εγγυήσεων.
- μετατροπή των QoS συνδέσεων σε συνδέσεις καλύτερης προσπάθειας, και δρομολόγηση τους μέσω του καναλιού καλύτερης προσπάθειας.
- διακοπή των συνδέσεων.

Στις περιπτώσεις αυτές, πρέπει να ενημερωθεί και ο ανταποκριτής κόμβος για τις νέες απαιτήσεις σε ποιότητα υπηρεσίας και ο ανταποκριτής κόμβος. Για το σκοπό αυτό αποστέλλονται RSVP μηνύματα που περιέχουν τις τροποποιήσεις ή τις ακυρώσεις των κρατήσεων και τα οποία μεταδίδονται με τον κλασικό μηχανισμό του RSVP ως τον ανταποκριτή κόμβο.

Συγκεκριμένα εξετάζουμε τις ακόλουθες περιπτώσεις σε περίπτωση μεταβολής των εγγυήσεων ποιότητας υπηρεσίας:

1) Ο ανταποκριτής κόμβος είναι ο αποστολέας και το κινητό ο δέκτης.

- Μεταβολή των εγγυήσεων ποιότητας υπηρεσίας στο νέο Access Point.

Αποστέλλεται ένα Resv μήνυμα που μεταδίδεται ως τον ανταποκριτή κόμβο ή μέχρι τον κόμβο όπου να συγχωνεύονται οι δεσμεύσεις των ροών σε περίπτωση multicast. Το μήνυμα αυτό περιέχει τις μεταβολές στη δέσμευση των πόρων που μπορεί να υποστηρίξει το νέο Access Point.

- Κατάργηση των εγγυήσεων ποιότητας υπηρεσίας στο νέο Access Point.

Αποστέλλεται ένα ResvTear μήνυμα που καταργεί τις δεσμεύσεις πόρων για κάποια ή και για όλες τις ροές. Υπεύθυνη για την αποστολή αυτού του μηνύματος είναι η Mobility Management οντότητα στον ελεγκτή του μεταγωγέα που ενημερώνει τη μονάδα RSVP για τη διαδικασία αυτή.

2) Το κινητό είναι ο αποστολέας και ο ανταποκριτής κόμβος ο δέκτης.

- Μεταβολή των εγγυήσεων υπηρεσίας στο νέο Access Point.

Αποστέλλεται Path μήνυμα στον ανταποκριτή κόμβο, το οποίο ενημερώνει την οντότητα RSVP εκεί ότι έχουν αλλάξει οι εγγυήσεις ποιότητας υπηρεσίας στο άλλο άκρο. Η ομότιμη (peer) οντότητα αναλαμβάνει να απαντήσει με Resv μήνυμα με το οποίο ενημερώνονται οι συνδέσεις κατά μήκος του Internet.

- Κατάργηση των εγγυήσεων ποιότητας υπηρεσίας στο νέο Access Point.

Αποστέλλεται PathTear μήνυμα για την ένδειξη της διακοπής παροχής της ροής. Υπεύθυνη για την αποστολή του μηνύματος αυτού είναι η Mobility Management οντότητα που επικοινωνεί με την RSVP οντότητα. Με το μήνυμα αυτό καταργούνται και όλες οι δεσμεύσεις.

7.4.1.2 Πιθανές βελτιώσεις

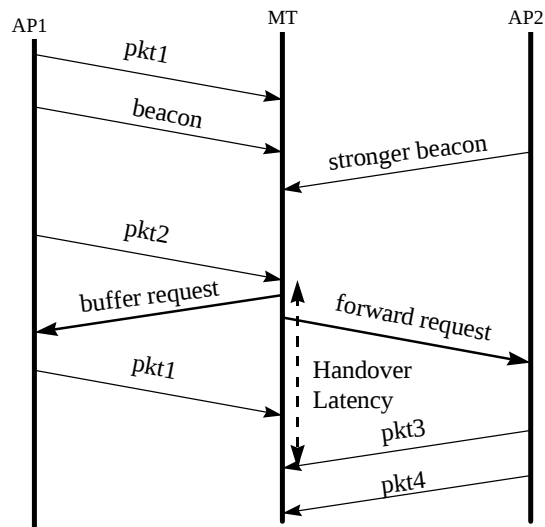
Η προαναφερθείσα τεχνική λειτουργεί ικανοποιητικά στις περισσότερες περιπτώσεις. Παρόλα αυτά υπάρχουν ορισμένες εγγενείς δυσκολίες για τις οποίες προτείνονται σε αυτήν την παράγραφο λύσεις. Ένα από τα προβλήματα που μπορεί να δημιουργηθούν

είναι η απώλεια των πακέτων ή/και η διασπορά στις καθυστερήσεις τους. Τα όρια για ορισμένες εφαρμογές πραγματικού χρόνου είναι πολύ αυστηρά όσον αφορά στις απώλειες αλλά και στην καθυστέρηση.

Στο [Seshan96] προτείνεται ένας αλγόριθμος handover, βασισμένος στο multicast που στοχεύει να ξεπεράσει τα εμπόδια που προκύπτουν από την ίδια τη διαδικασία του handover. Το πρωτόκολλο που προτείνεται αφορά περισσότερο IP δίκτυα, αλλά μπορεί να προσαρμοστεί και σε ATM δίκτυα με κατάλληλες τροποποιήσεις. Παρακάτω περιγράφεται αρχικά ο προτεινόμενος αλγόριθμος και στη συνέχεια οι αναγκαίες τροποποιήσεις.

7.4.1.2.1 Βελτίωση handover για εγγενή IP ασύρματα συστήματα

Ο βασικός άξονας του πρωτοκόλλου είναι ότι η care-of διεύθυνση του κινητού είναι μια multicast διεύθυνση. Συνεπώς τα πακέτα που προορίζονται για το κινητό είτε προέρχονται από τον οικείο πράκτορα (home agent) είτε κατευθύνονται από τον ανταποκριτή κόμβο (correspondent node) προωθούνται στη multicast διεύθυνση. Η ομάδα multicast περιλαμβάνει τους σταθμούς βάσης (τα σταθερά τμήματα στην ασύρματη επικοινωνία) που βρίσκονται κοντά στο κινητό, αλλά όχι το ίδιο το κινητό. Κάθε σταθμός βάσης εκπέμπει περιοδικά ένα μήνυμα διαφήμισης του (beacon). Το κινητό μπορεί με τον τρόπο αυτό να καθορίσει το σταθμό βάσης με τον οποίο θα πρέπει να επικοινωνήσει, αλλά και όλους τους σταθμούς βάσης από τους οποίους λαμβάνει σήμα και επομένως υπάρχει πιθανότητα να προσαρτηθεί σε αυτούς. Ο υπολογισμός γίνεται με βάση την ποιότητα του σήματος από κάθε σταθμό βάσης.



Σχήμα 7-4: Σηματοδοσία υλοποιημένη στο Daedalus.

Το κινητό ζητάει από κάθε σταθμό βάσης που θεωρεί πιθανό στόχο handover να ενταχθεί στην ομάδα multicast του. Με τον τρόπο αυτό κάθε σταθμός βάσης στην εγγύτητα του κινητού λαμβάνει τα πακέτα που προορίζονται για αυτό. Ένα από αυτά έχει το ρόλο της προώθησης τους στο κινητό, ενώ τα υπόλοιπα τα αποθηκεύουν για

μελλοντική χρήση σε κυκλικούς buffers. Συνεπώς όλοι οι πιθανοί σταθμοί βάσης - στόχοι handover λαμβάνουν τα πακέτα που προορίζονται για το κινητό από τα οποία αποθηκεύουν ένα μικρό τμήμα, ενώ ένας από αυτούς τα προωθεί στο κινητό. Όταν το κινητό θελήσει να πραγματοποιήσει handover, η συνηθισμένη περίπτωση είναι ο σταθμός βάσης - στόχος να βρίσκεται κοντά στον προηγούμενο σταθμό βάσης, οπότε να είναι ένας από τους σταθμούς βάσης που έχουν σε buffer τα πακέτα που προορίζονται για το κινητό. Η σηματοδότηση για την αλλαγή σταθμού βάσης προσάρτησης έγκειται στην ανταλλαγή ελάχιστων σημάτων μεταξύ του κινητού και των δύο σταθμών βάσης. Ουσιαστικά ένα σήμα ενημερώνει τον προηγούμενο σταθμό να σταματήσει να προωθεί τα πακέτα και να αρχίσει να τα κατακρατά και ένα άλλο σήμα τον νέο σταθμό βάσης να αρχίσει να προωθεί τα κατακρατημένα πακέτα (Σχήμα 7-4). Το πρωτόκολλο αυτό αναπτύχθηκε και υιοθετήθηκε στο Daedalus project που υλοποιείται στο University of California at Berkeley (UCB).

Το προφανές πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι τα πακέτα που έχουν ήδη μεταδοθεί και πρόκειται να προωθηθούν στο κινητό την ώρα του handover δεν καθυστερούν και δεν χάνονται. Δεν υπάρχει ακόμη ανάγκη για αλλαγή στο μονοπάτι δρομολόγησης από τον ανταποκριτή κόμβο, αφού η διεύθυνση παραμένει σταθερή multicast. Υπάρχουν και μειονεκτήματα της μεθόδου όμως, αφού απαιτεί σπατάλη εύρους ζώνης προς σταθμούς βάσης που θα απορρίψουν τα πακέτα και πολυπλοκότερη υλοποίηση στους σταθμούς βάσης.

7.4.1.2.2 Προσαρμογή της multicast μεθόδου σε ασύρματα ATM δίκτυα

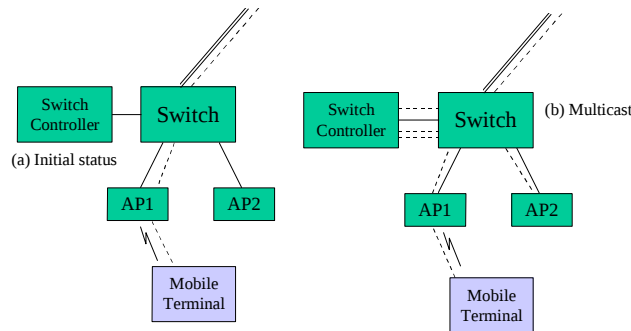
Το κύριο μειονέκτημα της απευθείας υιοθέτησης της προαναφερθείσας μεθόδου σε οποιαδήποτε ασύρματα ATM αρχιτεκτονική είναι η έλλειψη επαρκών αναγνωριστικών στοιχείων για τα ATM cells που διασχίζουν το δίκτυο, έτσι ώστε να ξεχωρίζουν δύο cells που ανήκουν στην ίδια σύνδεση. Το πρόβλημα δημιουργείται από την ίδια τη σχεδίαση του ATM η οποία είναι προσανατολισμένη στη σύνδεση. Για την ακρίβεια, αν κάποιο cell χαθεί ή μεταδοθεί δύο φορές από δύο διαφορετικά APs στο MT ή τα cells καταφθάσουν στο MT εκτός σειράς, το Επίπεδο Προσαρμογής ATM (AAL) θα διαγνώσει ένα κατεστραμμένο IP πακέτο.

Στο [Mitts96] προτείνεται ένας αλγόριθμος handover χωρίς απώλειες (lossless). Στον αλγόριθμο αυτό προτείνεται η εισαγωγή marker cells, τα διατηρούν πληροφορίες για την κατάσταση της ροής. Ο μηχανισμός δουλεύει ως εξής:

- Ο ελεγκτής του μεταγωγέα εισάγει marker cells ανά τακτά διαστήματα στη ροή των δεδομένων. Εισάγει ουσιαστικά μια μορφή ενδοζωνικής σηματοδότησης (inband signalling).
- Κατά τη διάρκεια του handover, το προηγούμενο AP προωθεί όσα cells δεν έχουν ακόμα μεταδοθεί στο νέο AP. Μεταδίδει όμως τα cells μέχρι το επόμενο marker cell.
- Στο νέο AP, τα cells αυτά αρχίζουν να μεταδίδονται πρώτα απ' όλα, και στη συνέχεια μεταδίδονται τα cells δεδομένων που έπονται του marker cell.

Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η μείωση της απώλειας δεδομένων, αλλά όχι και η εγγύηση ορίων καθυστέρησης. Για το σκοπό αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί η

multicast πρόταση που περιγράφηκε στην προηγούμενη παράγραφο σε συνδυασμό με την εισαγωγή ενδοζωνικής σηματοδότησης.



Σχήμα 7-5: Handover με τον multicast μηχανισμό

Μπορούν να επινοηθούν αρκετά σενάρια συνεργασίας των δύο αυτών μηχανισμών. Θα επιχειρηθεί μία προσπάθεια καταγραφής τους παρακάτω.

Κατ' αρχήν είναι απαραίτητο ένα κανάλι επικοινωνίας μεταξύ των δύο APs. Αφού τα δύο αυτά APs ελέγχονται από το ίδιο IP switch, μπορεί να εγκατασταθεί ένα PVC (Permanent Virtual Channel) μεταξύ τους. Το IP switch έχει την πληροφορία για το ποια APs πρέπει να συμμετάσχουν στη multicast ομάδα. Η πληροφορία αυτή μπορεί να μεταδίδεται απευθείας από το MT, όπου μπορεί να μετράται η ποιότητα του σήματος ή εναλλακτικά το IP switch μπορεί να καθορίζει μόνο του τα APs βασισμένο στην τοπολογική κατανομή τους. Σε κάθε AP υπάρχουν buffers που προορίζονται για την αποθήκευση των cells για MTs που δεν είναι προς το παρόν προσαρτημένα σε αυτό, αλλά τα οποία μπορεί να συνδεθούν μαζί του στο μέλλον. Θα πρέπει να ανατεθεί ένας buffer ανά VC, δηλαδή ένας buffer ανά QoS σύνδεση και ένας για όλες τις συνδέσεις καλύτερης προσπάθειας. Τα marker cells περιέχουν μια ταυτότητα (αύξων αριθμός) μέσω της οποίας μπορούν να ξεχωριστούν μεταξύ τους.

Σχετικά με την επικοινωνία μεταξύ των APs υπάρχουν οι εξής εναλλακτικές λύσεις:

- Είναι γνωστός ο αριθμός των cells που έχουν επιτυχώς μεταδοθεί cells στο MT. Η πληροφορία αυτή διοχετεύεται στο νέο AP και αυτό συνεχίζει να στέλνει τα επόμενα. Η λύση αυτή προϋποθέτει την εισαγωγή μετρητή επιτυχώς μεταδομένων πακέτων σε κάθε AP.
- Τα marker cells προωθούνται στο MT. Πραγματοποιείται άδειασμα των buffers στο MT μετά από κάθε handover και το νέο AP αρχίζει να στέλνει cells δεδομένων ξεκινώντας από το τελευταίο marker cell που έχει επιτυχώς μεταδοθεί. Δεν είναι απαραίτητη η χρήση μετρητή αλλά γίνεται σπατάλη πολύτιμου εύρους ζώνης στη ραδιοεπαφή με την περιττή διπλή αποστολή cells.

Σε κάθε περίπτωση μεταδίδεται η ταυτότητα του προηγούμενου επιτυχημένου marker cell. Τα marker cells μπορεί να τοποθετούνται:

- ανά σταθερό αριθμό cells δεδομένων.

- ανά ακέραιο αριθμό datagrams (μετά από μια προκαθορισμένη ποσότητα δεδομένων). Οι ροές δεδομένων στις οποίες έχουν ανατεθεί απευθείας VCs πρέπει να υποστούν μετατροπή σε δεδομένα καλύτερης προσπάθειας ώστε να υπάρχει η έννοια του datagram.

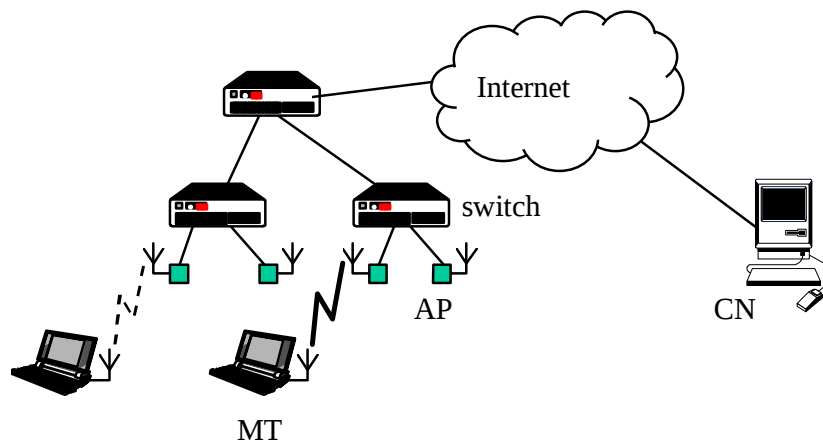
Οι προτάσεις αυτές έχουν περιθώρια ανάπτυξης και φαίνονται να εκμηδενίζουν τα προβλήματα απώλειας και καθυστέρησης των δεδομένων κατά τη διαδικασία του handover. Παρόλα αυτά εισάγουν σημαντική πολυπλοκότητα στην υλοποίηση αλλά και αναποτελεσματική χρήση του εύρους ζώνης. Κατά τον σχεδιασμό μπορεί να ληφθεί η απόφαση για την υποστήριξη ενός εκ των δύο αντικρουόμενων απαιτήσεων, εγγύησης ποιότητας υπηρεσιών και πολυπλοκότητας.

Είναι απόφαση σχεδιασμού για τη χάραξη της γραμμής στη συναλλαγή (tradeoff) αυτή μεταξύ εγγύησης ποιότητας και πολυπλοκότητας.

7.4.2 Inter-switch handovers

Το κινητό τερματικό μερικές φορές θα πραγματοποιεί handovers σε Access Points (Σημεία Πρόσβασης) τα οποία είναι συνδεδεμένα με διαφορετικό μεταγωγέα (Σχήμα 7-6). Στην περίπτωση αυτή, η σηματοδότηση γίνεται κατ' ανάγκη πολυπλοκότερη. Η ουσιαστική διαφορά στην κλίμακα της σηματοδότησης ελέγχου για την πραγματοποίηση του handover προέρχεται από το γεγονός ότι το κινητό υποχρεούται να αλλάξει IP διεύθυνση (care-of address) για να είναι προσβάσιμο στο νέο υποδίκτυο.

Όπως έχει τονιστεί, κάθε μεταγωγέας διαθέτει έναν ελεγκτή που έχει το ρόλο του δρομολογητή. Ουσιαστικά δηλαδή κάθε μεταγωγέας ορίζει ένα υποδίκτυο το οποίο, εκτός των άλλων, περιλαμβάνει όλα τα τερματικά που είναι προσαρτημένα σε Σημεία Πρόσβασης που ελέγχει. Το υποδίκτυο αυτό καθορίζεται από ένα μοναδικό πρόθεμα στην IP διεύθυνση, το οποίο είναι κοινό για όλες τις IP συσκευές που επικοινωνούν μέσω αυτού του δρομολογητή.



Σχήμα 7-6: Inter-switch handover

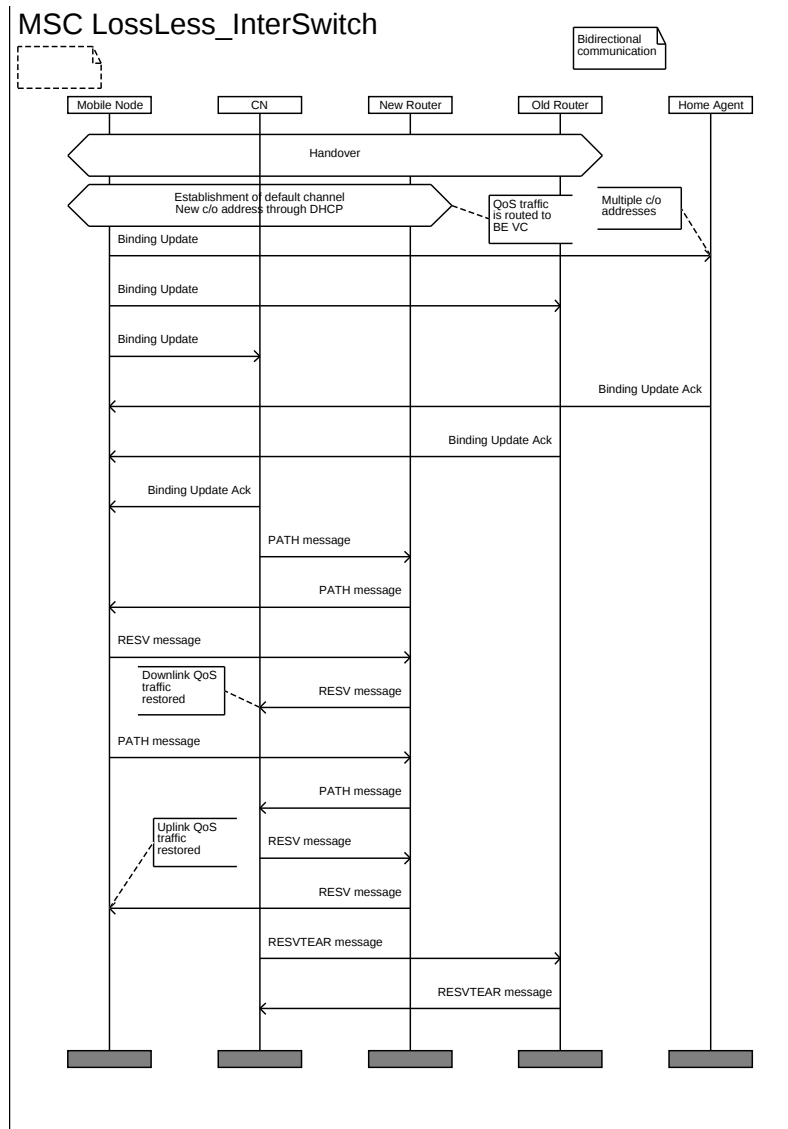
7.4.2.1 Προτεινόμενη υλοποίηση

Εξετάζεται η γενικότερη περίπτωση να είναι το κινητό σε ξένο υποδίκτυο, δηλαδή να μην ελέγχεται από το δρομολογητή που είναι και ο οικείος πράκτορας (Home Agent) του, και να μεταπηδά σε ένα άλλο ξένο υποδίκτυο. Το κινητό επίσης έχει σε εξέλιξη συνδέσεις με κόμβους διαμέσου του Internet, για τις οποίες έχει δεσμεύσει πόρους με το πρωτόκολλο RSVP. Χρησιμοποιείται IPv6 εξαιτίας των διευκολύνσεων κινητικότητας που παρέχονται.

Κατά τη διαδικασία του handover λαμβάνουν χώρα οι εξής ενέργειες και αλλαγές καταστάσεων:

- Ο αλγόριθμος αποδοχής κλήσεων (CAC) εξετάζει αν μπορεί να δεχθεί τις απαιτήσεις σε ποιότητα υπηρεσίας από τις συνδέσεις που έχει το κινητό τερματικό. Έστω ότι ο έλεγχος των πόρων στο ενσύρματο αλλά και στο ασύρματο τμήμα είναι επιτυχής και επιτρέπεται η σύνδεση του κινητού στο νέο Σημείο Πρόσβασης.
- Ανατίθενται στο κινητό τα κανάλια ελέγχου και το προκαθορισμένο κανάλι προώθησης (default forwarding channel), το οποίο είναι κανάλι καλύτερης προσπάθειας και μέσω αυτού του καναλιού περνάει όλη η κυκλοφορία δεδομένων που δεν έχει απαιτήσεις ποιότητας υπηρεσίας ή δεν έχει αναγνωριστεί ως μακρόχρονη ροή.
- Το κινητό πρέπει να αποκτήσει νέα IP διεύθυνση (care-of address). Το κινητό χρησιμοποιεί στην αρχή μια προσωρινή διεύθυνση η οποία βασίζεται στην MAC διεύθυνση του κινητού με βάση το μηχανισμό Stateless Address Autoconfiguration [RFC1971]. Χρησιμοποιώντας την προσωρινή διεύθυνση αυτή το κινητό μπορεί να λάβει μια μόνιμη care-of διεύθυνση με δύο εναλλακτικούς τρόπους:
 - Το κινητό αποκτά μια τοπική διεύθυνση του υποδικτύου χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο Neighbor Discovery [RFC1970]. Στην πραγματικότητα χρησιμοποιούνται προκλήσεις (solicitations) και διαφημίσεις δρομολογητών.
 - Το κινητό επικοινωνεί με έναν τοπικό DHCP εξυπηρετή για την απόκτηση μιας διαχειριζόμενης διεύθυνσης.

Μετά την ολοκλήρωση αυτών των ενεργειών, το MT είναι πλέον προσαρτημένο στο νέο Σημείο Πρόσβασης έχοντας μια νέα care-of διεύθυνση, μέσω της οποίας μπορεί να επικοινωνήσει με το υπόλοιπο δίκτυο. Οι υπόλοιπες ενέργειες που πρέπει να γίνουν είναι να ενημερωθεί ο Home Agent του κινητού και ο ανταποκριτής κόμβος για την αλλαγή της care-of διεύθυνσης του. Μία επιθυμητή επιλογή είναι και η ενημέρωση του προηγούμενου switch/δρομολογητή για την αλλαγή της care-of διεύθυνσης έτσι ώστε τυχόν IP πακέτα που θα καταφθάσουν στο προηγούμενο υποδίκτυο να προωθηθούν με τη διαδικασία tunnel στο νέο υποδίκτυο και κατά συνέπεια στον πραγματικό τους στόχο, το κινητό. Αναλυτικά όλες οι ανταλλαγές μηνυμάτων παρουσιάζονται στο Σχήμα 7-7.



Σχήμα 7-7: Απαραίτητη ανταλλαγή μηνυμάτων για υποστήριξη IP και RSVP μετά από inter-switch handover.

Οι ενημερώσεις της Binding Cache σε κάθε έναν από τους προαναφερθέντες κόμβους γίνεται μέσω των μηνυμάτων Binding Update, τα οποία προσδιορίζονται στο Mobile IP πρωτόκολλο. Μπορεί να ζητηθεί από τους κόμβους αυτούς να επιβεβαιώσουν την ενημέρωσή τους για την αλλαγή διεύθυνσης στέλνοντας στη νέα care-of διεύθυνση του κινητού ένα Binding Acknowledgement μήνυμα.

Μετά από την ενημέρωση του ανταποκριτή κόμβου για την αλλαγή της διεύθυνσης του, το κινητό ξαναρχίζει να είναι προσβάσιμο και μπορεί να συνεχίσει απρόσκοπτα την επικοινωνία του όσο αυτή περιορίζεται σε κυκλοφορία δεδομένων καλύτερης προσπάθειας μέσω του προκαθορισμένου καναλιού προώθησης (default forwarding channel). Η λύση αυτή όμως δεν είναι ιδανική και δεν εξασφαλίζει ποιότητα υπηρεσίας σε συνδέσεις στις οποίες αυτή απαιτείται. Με την προϋπόθεση ότι στην προηγούμενη θέση είχαν δεσμευθεί πόροι μέσω RSVP για συνδέσεις και προς τις δύο κατευθύνσεις

(MT→CN και CN→MT) θα πραγματοποιηθεί ουσιαστικά άλλη μία ανταλλαγή Path και Resv μηνυμάτων για την επαναδέσμευση των πόρων. Δηλαδή:

- Το CN στέλνει Path μήνυμα στο MT. Με αυτό εγκαθίσταται η κατάσταση μονοπατιού (path state) σε όλους τους δρομολογητές στο δίκτυο). Η κίνηση αυτή είναι αναγκαία, αφού η προηγούμενη κατάσταση μονοπατιού περιέχει την προηγούμενη care-of διεύθυνση του MT και συνεπώς δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί πλέον.
- Το MT απαντά στο Path μήνυμα με ένα Resv μήνυμα, το οποίο προωθείται ως το CN. Υποθέτοντας ότι η αίτηση για δέσμευση των πόρων γίνεται δεκτή σε κάθε δρομολογητή κατά μήκος της αντίστροφης διαδρομής, όταν το μήνυμα φθάσει στο CN, υπάρχει πλέον σύνδεση από το CN στο MT με εγγυημένη ποιότητα υπηρεσίας.

Η ίδια ακριβώς διαδικασία συμβαίνει παράλληλα και για όποιες συνδέσεις απαιτούν ποιότητα υπηρεσίας από το κινητό στον ανταποκριτή κόμβο.

Στη συνέχεια τόσο ο ανταποκριτής κόμβος όσο και ο προηγούμενος δρομολογητής ακυρώνουν τις δεσμεύσεις πόρων αποστέλλοντας μηνύματα κατάργησης δέσμευσης και μονοπατιού (ResvTear, PathTear) ο ένας στον άλλον. Για την ακρίβεια, την ευθύνη της αποστολής και παραλαβής αυτών των μηνυμάτων την έχει η διεργασία/οντότητα Mobility Management στον προηγούμενο δρομολογητή, αφού το κινητό έχει ήδη απομακρυνθεί. Η ίδια διεργασία έχει και την ευθύνη της επαναδρομολόγησης των πακέτων που θα φθάσουν στον προηγούμενο δρομολογητή κατευθυνόμενα προς το αποχωρήσαν κινητό προς το νέο τους στόχο (τη νέα care-of διεύθυνση).

Πρέπει να σημειωθεί ότι η φιλοσοφία της προσέγγισης αυτής είναι η δημιουργία προϋποθέσεων εξυπηρέτησης πριν την κατάργηση των δεσμεύσεων πόρων (make before break). Η φιλοσοφία αυτή επιτρέπει στα πακέτα που ανήκουν σε συνδέσεις ποιότητας υπηρεσίας να απολαμβάνουν των προνομίων τους, αλλά να προωθούνται στον προηγούμενο δρομολογητή από όπου και επαναπροωθούνται στη νέα διεύθυνση. Το πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι τα πακέτα που ανήκουν σε συνδέσεις ποιότητας υπηρεσίας θα φθάσουν σίγουρα στον προηγούμενο δρομολογητή, και θα προωθηθούν ως πακέτα καλύτερης προσπάθειας στο νέο υποδίκτυο. Οι εκτιμήσεις είναι ότι τα δύο υποδίκτυα θα είναι κοντά το ένα στο άλλο και οι σύνδεσμοι μεταξύ τους αξιόπιστοι (για παράδειγμα ATM) ώστε να μην υπάρξουν μεγάλες απώλειες. Από την άλλη, κάποιος ενδιάμεσος δρομολογητής στο δίκτυο κορμό μπορεί να απορρίψει τη νέα αίτηση δέσμευσης λόγω έλλειψης πόρων. Οι πόροι θα μπορούσαν να είχαν ελευθερωθεί νωρίτερα.

7.4.2.2 Πιθανές βελτιώσεις

Τα κύρια προβλήματα που εμφανίζονται με την προτεινόμενη υλοποίηση αφορούν στη διατήρηση της εγγύησης ποιότητας υπηρεσίας λόγω καθυστερήσεων στη σηματοδότηση κατά τη διάρκεια του handover. Όπως φαίνεται από το Σχήμα 7-7, οι δεσμεύσεις των πόρων δεν θα είναι άμεσες στο νέο μονοπάτι, βασικά εξαιτίας καθυστερήσεων στο Internet (round trip delays). Κατά το ενδιάμεσο χρονικό διάστημα αυτό η κυκλοφορία ποιότητας υπηρεσίας αναγκάζεται να ανταλλάσσεται μέσω του καναλιού καλύτερης προσπάθειας. Η βελτίωση που μπορεί να επέλθει στον αρχικά προτεινόμενο αλγόριθμο είναι η εφαρμογή τεχνικών και επεκτάσεων των χρησιμοποιούμενων πρωτοκόλλων

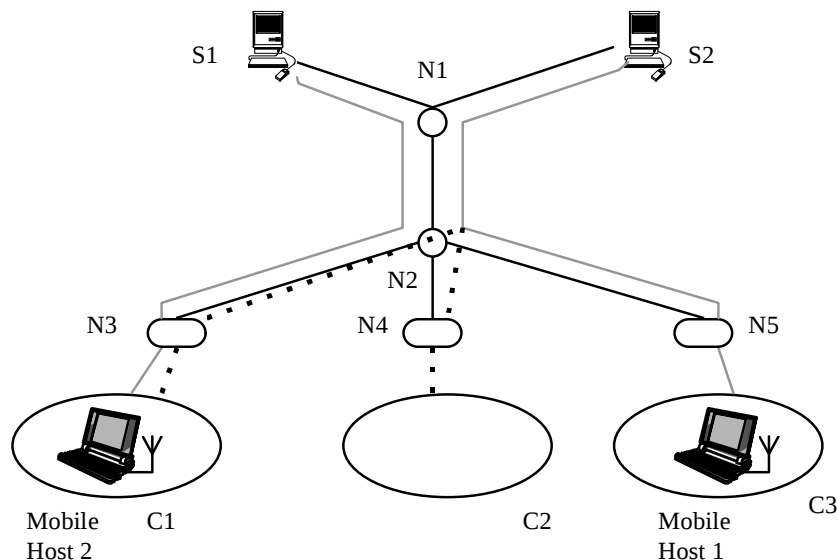
ώστε να μειωθεί ο χρόνος αυτός της επαναδέσμευσης των πόρων κατά μήκος του νέου μονοπατιού.

7.4.2.2.1 MRSVP

Έχει προταθεί μία τεχνική η οποία ελαχιστοποιεί την καθυστέρηση στη δέσμευση των πόρων και αποτελεί ουσιαστικά επέκταση του RSVP που έχει ονομαστεί Mobile RSVP (MRSVP) [Talukdar97]. Σύμφωνα με την πρόταση αυτή, εισάγονται proxy agents στους μεταγωγείς, και επαυξημένη λειτουργικότητα σε αυτούς ώστε να επικοινωνούν μεταξύ τους και να δεσμεύουν τους πόρους για μελλοντική χρήση από το κινητό.

Σύμφωνα με την πρόταση MRSVP διακρίνονται δύο γενικότερες κλάσεις ποιότητας υπηρεσίας:

- Η ανεξάρτητη από την κινητικότητα κλάση (mobility independent). Σε αυτή την κλάση προσφέρεται στον κινητό χρήστη σύνδεση ποιότητας υπηρεσίας εγγυημένη για όλες τις τοποθεσίες που πιθανό να επισκεφθεί.
- Η εξαρτημένη από την κινητικότητα κλάση (mobility dependent). Σε αυτήν την κλάση δεν προσφέρεται εγγύηση ποιότητας υπηρεσίας αλλά υψηλή πιθανότητα ικανοποίησης των απαιτήσεων του χρήστη. Υπάρχει πιθανότητα σε μεγάλο φόρτο να απορριφθεί η ροή.

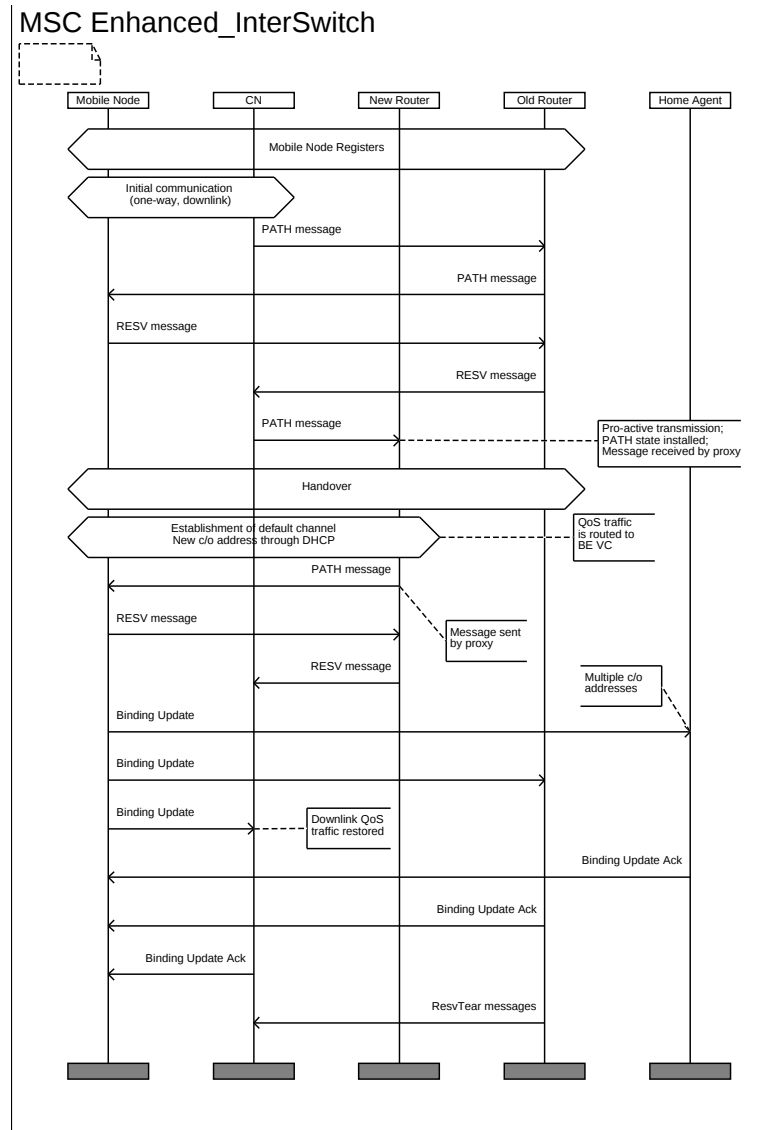


Σχήμα 7-8: Δεσμεύσεις για Κλάσεις Υπηρεσιών.

Επίσης διακρίνονται δύο ειδών δεσμεύσεις πόρων, οι ενεργές (active) και οι παθητικές (passive). Στις ενεργές δεσμεύσεις τα δεδομένα κυκλοφορούν μεταξύ του κινητού και του ανταποκριτή κόμβου, ενώ στις παθητικές όχι. Ουσιαστικά πραγματοποιείται προληπτική υπερ-δέσμευση των πόρων επικοινωνίας από τον ανταποκριτή κόμβο προς όλες τις τοποθεσίες που δηλώνει ότι θα επισκεφθεί το κινητό. Με τον τρόπο αυτό όμως δεν γίνεται αποτελεσματική χρήση του δικτύου, αφού δεν χρησιμοποιούνται οι

δεσμευμένοι πόροι. Πρέπει να τονιστεί ότι παθητικές δεσμεύσεις πόρων υπάρχουν μόνο στην ανεξάρτητη από την κινητικότητα κλάση.

Στο Σχήμα 7-8 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα χρήσης του MRSVP. Οι τοποθεσίες C1, C2, C3 είναι στην προδιαγραφή κινητικότητας (mobility specification) του κινητού κόμβου 1 που ζητάει υπηρεσία ανεξάρτητη της κινητικότητας. Πραγματοποιούνται παθητικές δεσμεύσεις (διακεκομμένες γραμμές) από το S2 προς τις τοποθεσίες C1 και C2 και ενεργή δέσμευση (συμπαγής γραμμή) από το S2 προς το C3. Ο κινητός κόμβος 2 ζητάει υπηρεσίες εξαρτώμενες από την κινητικότητα, οπότε πραγματοποιείται ενεργή δέσμευση από τον αποστολέα S1 στο C1.



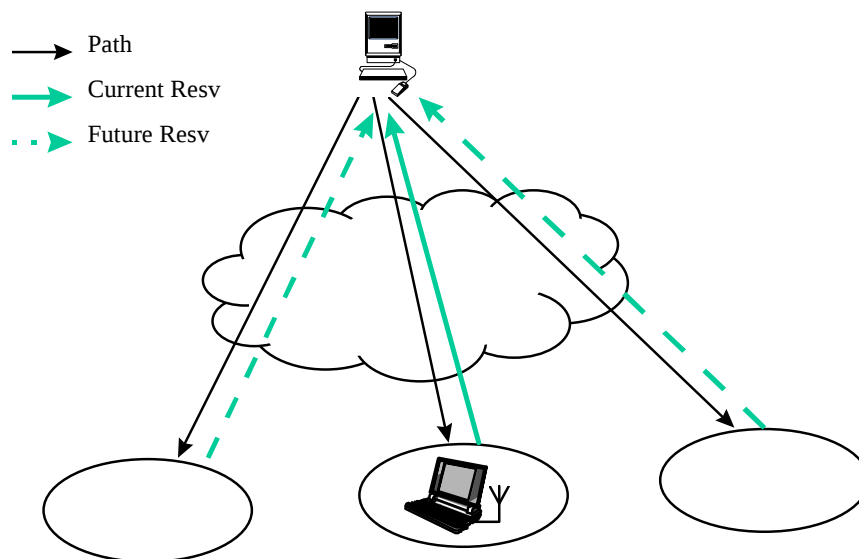
Σχήμα 7-9: Βελτιωμένο inter-switch handover

Ένα από τα χρήσιμα συστατικά της τεχνικής MRSVP είναι η χρήση των proxy agents για τις δεσμεύσεις των πόρων κατά μήκος των μονοπατιών από τον αποστολέα προς τους προορισμούς που καθορίζονται στις προδιαγραφές κινητικότητας (mobility

specifications). Οι proxy agent που βρίσκονται σε άλλα υποδίκτυα καλούνται απομακρυσμένοι proxy agents (remote proxy agents) και αναλαμβάνουν τις παθητικές δεσμεύσεις. Καθορίζεται επίσης ένα πρωτόκολλο εύρεσης των γειτονικών proxy agents από τον τοπικό proxy agent.

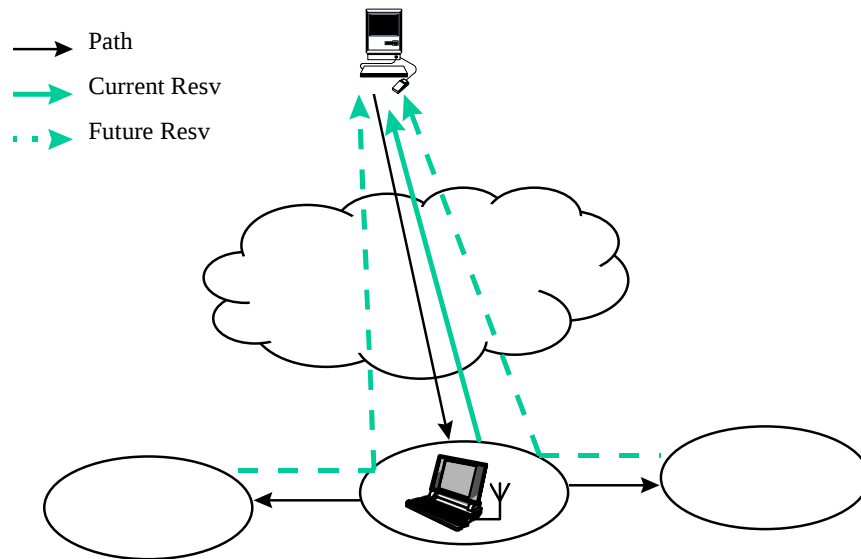
7.4.2.2.2 Προσαρμογή της τεχνικής MRSVP

Παρατηρώντας το Σχήμα 7-7, βλέπουμε ότι θα ήταν επιθυμητή η ύπαρξη της κατάστασης μονοπατιού (path state) στο νέο μονοπάτι από τον ανταποκριτή κόμβο στο κινητό πριν την εκτέλεση handover. Μία λύση σε αυτό το πρόβλημα θα μπορούσε να είναι η αποστολή από τον ανταποκριτή κόμβο μηνυμάτων Path σε care-of διευθύνσεις που δεν αντιστοιχούν στη φυσική παρουσία του κινητού εκείνη την ώρα και οι οποίες αντιστοιχούν σε γειτονικά υποδίκτυα. Προς αυτά τα υποδίκτυα είναι πιθανό να πραγματοποιήσει handover το κινητό. Είναι δηλαδή επιθυμητή η αλλαγή των οντοτήτων στους κόμβους με τέτοιο τρόπο ώστε να πραγματοποιείται η ανταλλαγή μηνυμάτων που φαίνεται στο Σχήμα 7-9.



Σχήμα 7-10: Ο ανταποκριτής κόμβος γνωρίζει για τις πιθανές τοποθεσίες του κινητού.

Το παραπάνω σχήμα, αν και βέλτιστο, απαιτεί σπουδαίες αλλαγές στην υποδομή του ανταποκριτή κόμβου. Μια πιθανότερη προσέγγιση είναι να υπάρξει ένας τοπικός proxy agent που να αναλάβει το ρόλο της πολλαπλής αποστολής Path μηνυμάτων. Με τον τρόπο αυτό μπορούν να υποστηρίξονται περισσότερες care-of διευθύνσεις διαφανώς από το υπόλοιπο δίκτυο. Η δρομολόγηση τότε θα είναι υποβέλτιστη, αλλά ικανοποιητική, αφού σε handovers, το κινητό κινείται σε μικρές αποστάσεις και δεν αλλάζουν παρά μόνο οι τελευταίοι σύνδεσμοι. Μπορεί δηλαδή η δρομολόγηση των πακέτων να γίνεται πάντα μέσω του αρχικού τοπικού proxy agent, όπως δείχνει και το Σχήμα 7-11. Η λογική αυτή έχει ήδη προταθεί σε ασύρματα ATM δίκτυα και είναι γνωστή ως path extension [Acharya97].



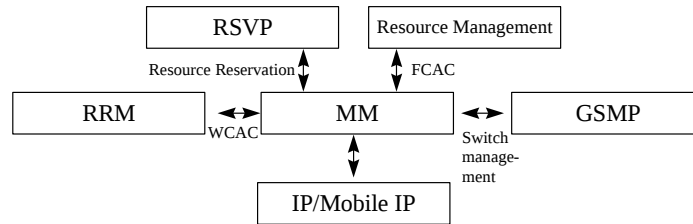
Σχήμα 7-11: Ο proxy agent γνωρίζει για τις πιθανές τοποθεσίες του κινητού.

Μια ακόμη λύση είναι ο συσχετισμός του κινητού με μια multicast IP διεύθυνση και η ένταξη δυναμικά στη multicast ομάδα των διαδοχικών care-of διευθύνσεων. Η τεχνική αυτή έχει τα πλεονέκτηματα ότι δεν απαιτεί αλλαγές στις απαιτήσεις από όλους τους επικοινωνούντες κόμβους και πραγματοποιεί σχεδόν βέλτιστη δρομολόγηση. Απαιτείται όμως υποστήριξη multicast στο δίκτυο και μπορεί να προκληθεί ελάττωση της απόδοσης αν η καθυστέρηση που οφείλεται στο multicast πρωτόκολλο είναι υψηλή.

7.5 Δομή της μονάδας Mobility Management

Η μονάδα Mobility Management είναι απόγονος του MMC (Mobility Management Control) [Kaloxylos98]. Η μονάδα αυτή είναι υπεύθυνη για τη διαχείριση όλων των διαδικασιών που έχουν σχέση με την κινητικότητα. Συγκεκριμένα έχει τα εξής καθήκοντα:

- Την εγκατάσταση του καναλιού κινητικότητας (M-channel) μέσω του οποίου ανταλλάσσονται μηνύματα σχετικά με θέματα κινητικότητας.
- Το συντονισμό του μηχανισμού ελέγχου αποδοχής κλήσεων για τους ασύρματους και τους ενσύρματους πόρους.
- Τη μεταγωγή των συνδέσεων όταν το κινητό περνάει τα όρια μιας κυψελίδας.
- Την ενημέρωση της τοποθεσίας ενός κινητού στη βάση δεδομένων του μεταγωγέα.
- Την επικοινωνία με τη μονάδα IP (Mobile IP). Έχει το ρόλο του Home Agent για τα κινητά που είναι εγγεγραμμένα στα ασύρματα υποδίκτυα που ελέγχει ο μεταγωγέας.
- Την επικοινωνία με την μονάδα RSVP για την αποστολή καταλλήλων μηνυμάτων. Συγκεκριμένα έχει την ευθύνη της αποστολής ResvTear ή/και PathTear μηνυμάτων όταν το κινητό μεταπηδήσει στην περιοχή ευθύνης ενός άλλου μεταγωγέα.



Σχήμα 7-12: Διεπαφές της Μονάδας Mobility Management.

Ουσιαστικά δηλαδή μπορεί να χρησιμοποιηθεί η μονάδα MMC από το σχεδιασμένο ATM σύστημα και να της προστεθεί λειτουργικότητα ώστε να έχει τις αρμοδιότητες του Home Agent για την υποστήριξη Mobile IP υπηρεσιών. Απαιτείται ακόμη μία λειτουργική μονάδα για την εφαρμογή αυτής της λειτουργικότητας.

Είναι επίσης επιθυμητή η προσθήκη της διασύνδεσης με την μονάδα RSVP έτσι ώστε σε περίπτωση που το κινητό πραγματοποιήσει handover προς κάποιο άλλο υποδίκτυο, να μπορεί να ενημερώσει τον ανταποκριτή κόμβο και τους ενδιάμεσους δρομολογητές στο δίκτυο για την απομάκρυνση της προηγούμενης care-of διεύθυνσης.

Η νέα αυτή μονάδα Mobility Management μπορεί να ολοκληρωθεί στον ελεγκτή του IP μεταγωγέα και να παρέχει τις απαιτούμενες υπηρεσίες. Αναλυτικά οι διεπαφές της μονάδας Mobility Management φαίνονται στο Σχήμα 7-12.

7.6 Αναφορές

- [RFC1970] T. Narten, E. Nordmark, W. Simpson, Neighbor Discovery for IP Version 6, RFC 1970, August 1996.
- [RFC1971] S. Thomson, T. Narten, *IPv6 Stateless Address Autoconfiguration*, RFC 1971, August 1996.
- [Acharya97] A. Acharya, J.Lin, B. Rajagopalan and D. Raychaydhuri, *Mobility Management in Wireless ATM Networks*, IEEE Communications Magazine, Vol.35, No.11, pp.100-109, November 1997.
- [Ala-Laurila98] J. Ala-Laurila, J. Seppala, L. Stacey, N. Nikaein, *Designing a Wireless Broadband Access System with QoS guarantees*, to be published in the 3rd ACTS Mobile Communication Summit, Rhodes 1998.
- [Basturk97] E. Basturk et al, Design and Implementation of a QoS Capable Switch-Router, IBM Research Report, RC 20848, January 1997.
- [Hadjiefthymiades98] S. Hadjiefthymiades, S. Paskalis, G. Fankhauser, L. Merakos, *Mobility Management in an IP-based Wireless ATM Network*, to be published in the 3rd ACTS Mobile Communication Summit, Rhodes 1998.

- [Kaloxylos98] A. Kaloxylos, S. Hadjiefthymiades, L. Merakos, *Mobility Management and Control Protocol for Wireless ATM Networks*, IEEE Network Magazine, Special Issue on PCS Management, May 1998.
- [Mikkonen97] J. Mikkonen, J. Aldis, G. Awater, A. Lunn, D. Hutchinson, *The Magic WAND - Functional Overview*, submitted to the IEEE JSAC.
- [Mitts96] H. Mitts, H. Hansen, J. Immonen, S. Veikkolainen, *Lossless handover for wireless ATM*, Proceedings of ACM MobiCom, November 1996.
- [Newman97] P. Newman, G. Minshall, T. Lyon, *IP switching: ATM under IP*, Accepted for publication in IEEE/ACM Transactions (1997).
- [Seshan96] S. Seshan, H. Balakrishnan, R. Katz, *Handoffs in Cellular Wireless Networks, The Daedalus Implementation and Experience*, Kluwer International Journal on Wireless Communication Systems 1996.
- [Talukdar97] A. Talukdar, B. Badrinath, A. Acharya, *MRSVP: A reservation protocol for an Integrated Services Packet Network with Mobile Hosts*, Technical report, DCS-TR-337, Rutgers University.

Σύνοψη-Συμπεράσματα

Οι ασύρματες επικοινωνίες κινητών που βασίζονται στην τεχνολογία ATM βρίσκονται στο στάδιο της έρευνας. Το πρωτόκολλο IP είναι το πλέον εδραιωμένο πρωτόκολλο επικοινωνιών και γνωρίζει την ταχύτερη ανάπτυξη. Είναι επομένως απαραίτητη προϋπόθεση για κάθε σχεδιαζόμενο σύστημα, η αποτελεσματική υποστήριξη IP υπηρεσιών.

Με βάση αυτές τις απαιτήσεις το σχεδιαζόμενο σύστημα ασύρματου ATM σχεδιάστηκε κατάλληλα ώστε να υποστηρίζει εγγενώς υπηρεσίες IP, υπηρεσίες εγγύησης ποιότητας (QoS), αλλά και κινητικότητα χρηστών (mobility). Η κινητικότητα χρηστών μπορεί να διακριθεί σε κίνηση και μεταπομπή (handover) μεταξύ σταθμών βάσεων που ελέγχονται από τον ίδιο μεταγωγέα (intra-switch) ή μεταπομπή μεταξύ σταθμών βάσεων που ελέγχονται από διαφορετικούς μεταγωγείς (inter switch).

Στην πρώτη περίπτωση (intra-switch) δεν αλλάζει η IP διεύθυνση του κινητού και η διαδικασία της μεταπομπής είναι γενικά διαφανής έξω από το ασύρματο ATM υποδίκτυο πρόσβασης.

Στη δεύτερη περίπτωση (inter-switch) αλλάζει η IP διεύθυνση του κινητού, αφού ελέγχεται από διαφορετικό δρομολογητή. Τότε χρησιμοποιούνται τεχνικές του πρωτοκόλλου Mobile IP για ενημέρωση των κόμβων με τους οποίους επικοινωνεί το κινητό. Ακόμη χρειάζεται επαναδέσμευση των πόρων, που είχαν παλαιότερα δεσμευθεί για την υποστήριξη για την υποστήριξη επικοινωνίας QoS, χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο RSVP.

Στον σχεδιασμό του συστήματος έγινε προσπάθεια να χρησιμοποιηθούν πρωτόκολλα τυποποιημένα από τους διεθνείς οργανισμούς αλλά και διαθέσιμα. Σε μερικά σημεία είναι απαραίτητη η επέκταση των πρωτοκόλλων ώστε να γίνει αποτελεσματικότερη η διαδικασία των μεταπομπών. Ωστόσο, το σύστημα σχεδιάστηκε να λειτουργεί με τα υπάρχοντα πρωτόκολλα και προτείνονται ορισμένες επεκτάσεις για καλύτερη πραγματοποίηση του inter-switch handover.

Θα πρέπει να τονιστεί η ανάγκη για αναλυτική και συντονισμένη διερεύνηση των τεχνικών προβλημάτων που σχετίζονται με την υποστήριξη IP σε ασύρματα ATM δίκτυα τώρα που το IPv6 δεν έχει πλήρως τυποποιηθεί. Είναι η καλύτερη ευκαιρία για την προσαρμογή των αναπτυσσόμενων πρωτοκόλλων για την υποστήριξη ασύρματων, κινητών υπηρεσιών με εγγύηση ποιότητας.