

**Α ΤΕΙ ΜΕΣΟΛΟΓΓΙΟΥ**  
**ΣΧΟΛΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ**  
**ΤΜΗΜΑ ΕΦ/ΓΩΝ ΠΛΗΡ/ΚΗΣ ΣΤΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗ & ΤΗΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΘΕΜΑ:**

**Asynchronous Transfer Mode**  
**(Κατάσταση Ασύγχρονης Μεταφοράς)**

**ΑΡΓΥΡΗΣ ΚΙΤΣΑΚΗΣ (ΑΜ: 7655)**  
**ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ ΠΑΛΛΑ (ΑΜ: 7883)**

**ΕΠΙΒΛΕΨΗ:**  
**ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΗΣ**

**ΜΕΣΟΛΟΓΓΙ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2005**

# Πίνακας Περιεχομένων

## Πρόλογος

### Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup> : Τι είναι το ATM

- 1.1 Ιστορική αναδρομή-Σύγκριση με STM .
  - 1.1.1 Η ανάγκη για ATM .
- 1.2 Video on ATM .
  - 1.2.1 Ορισμός .
  - 1.2.2 Μετάδοση Video .
  - 1.2.3 Αρχιτεκτονική συστήματος ATM για Video κατόπιν ζήτησης .
- 1.3 Κύριοι οργανισμοί που ωθούν την έρευνα στο ATM .

### Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup> : Πρωτόκολλα λειτουργίας του ATM .

- 2.1 Κεντρική ιδέα του ATM .
- 2.2 Το μοντέλο αναφοράς ATM .
  - 2.2.1 Η σχέση του προτύπου OSI και το ATM μοντέλο αναφοράς .
  - 2.2.2 Το ATM μοντέλο αναφοράς .
- 2.3 Το επίπεδο ATM .
  - 2.3.1 Το φυσικό επίπεδο του ATM .
  - 2.3.2 ATM cell .
  - 2.3.3 ATM Μεταγωγή .
    - 2.3.3.1 Νοητά κανάλια και συνδέσεις νοητών καναλιών .
    - 2.3.3.2 Νοητά μονοπάτια και συνδέσεις νοητών μονοπατιών .
    - 2.3.3.3 Σύνοψη .
- 2.4 Το επίπεδο προσαρμογής (AAL) του ATM .
  - 2.4.1 Υπηρεσίες του AAL .
    - 2.4.1.1 Class A .
    - 2.4.1.2 Class B .
    - 2.4.1.3 Class C .
    - 2.4.1.4 Class D .
    - 2.4.1.5 Class X .
    - 2.4.1.6 Class Y .
  - 2.4.2 Υποεπίπεδα του AAL .
  - 2.4.3 Τύποι του AAL .
    - 2.4.3.1 AAL1 .
    - 2.4.3.2 AAL2 .
    - 2.4.3.3 AAL3/4 .
    - 2.4.3.4 AAL5 .

### Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup> : Μηχανισμοί ελέγχου .

- 3.1 Οι έλεγχοι ως τροπος διασφάλισης ποιότητας υπηρεσιών .
- 3.2 Μηχανισμοί ελέγχου κίνησης και συμφόρησης στα ATM δίκτυα .
  - 3.2.1 Βαθμίδες και μηχανισμοί ελέγχου – έλεγχοι αντίδρασης και πρόληψης .
  - 3.2.2 Σχολιασμός των παραμέτρων Qos .

### Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup> : Έλεγχοι κίνησης και συμφόρησης .

- 4.1 Γενική περιγραφή μηχανισμών ελέγχου .

- 4.1.1 Έλεγχος αποδοχής κλήσης .
- 4.1.2 ATM-Διακοπτικό σύστημα .
  - 4.1.2.1 Αρχιτεκτονική ATM διακοπτικών στοιχείων .
- 4.2 Παράμετροι ελέγχου χρήστη .
  - 4.2.1 Αστυνόμηση κίνησης (Traffic Policing) .
  - 4.2.2 Μορφοποίηση κίνησης .
- 4.3 Διαχείριση πόρων του δικτύου .
  - 4.3.1 Απλή διαχείριση πόρων .
  - 4.3.2 Ταχεία διαχείριση πόρων .
  - 4.3.3 Έλεγχος συμφόρησης .
    - 4.3.3.1 Άμεση ένδειξη συμφόρησης προς τα πρόσω .
    - 4.3.3.2 Παράμετροι απο τον έλεγχο παραμέτρων χρήσης.
- 4.4 Προτεραιότητες-Καθυστερήσεις .
- 4.5 Παρεμπόδιση κλήσεων (call blocking) .
- 4.6 Μέθοδοι ελέγχου ροής για την αποφυγή συμφόρησης .
  - 4.6.1 Επανάκαμψη απο κατάσταση συμφόρησης .

#### Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup> : Έλεγχος δρομολόγησης .

- 5.1 Ο έλεγχος δρομολόγησης .
- 5.2 Δυναμικοί αλγόριθμοι δρομολόγησης .
  - 5.2.1 Αλγόριθμος δρομολόγησης διανύσματος αποστάσεων .
  - 5.2.2 Δρομολόγηση κατάστασης ζεύξεων .
  - 5.2.3 Ιεραρχική δρομολόγηση .
- 5.3 Εφαρμογή πολιτικών δρομολόγησης στα ATM δίκτυα .
  - 5.3.1 Διαχείριση VPC Bandwidth .
  - 5.3.2 Η διαχείριση δρομολόγησης .
  - 5.3.3 Διαχείριση των παραμέτρων επιλογής διαδρόμων .
- 5.4 Εφαρμογή δρομολόγησης στο PNNI πρωτόκολλο του ATM .
  - 5.4.1 Τα βασικά συστατικά της ιεραρχίας PNNI .
  - 5.4.2 Πως εργάζεται η καθοδήγηση μιας κλήσης .

#### Κεφάλαιο 6<sup>ο</sup> : Δίκτυα ATM

- 6.1 Χρήσεις ATM .
- 6.2 ATM και LAN .
  - 6.2.1 Βασικά στοιχεία LAN και ATM .
  - 6.2.2 Ανάγκη συνδιασμού ATM με τα υπάρχοντα LANs .
  - 6.2.3 Συγκρίσεις τεχνολογιών .
- 6.3 Μέθοδος εξομοίωσης τοπικών δικτύων σύμφωνα με το ATM Forum .
  - 6.3.1 Δομικά στοιχεία εξομοίωσης ενός LAN απο ATM και απαιτούμενες συνδέσεις .
  - 6.3.2 Μηχανισμός εξομοίωσης τοπικού δικτύου σύμφωνα με το ATM Forum .
  - 6.3.3 Δομή εξομοιούμενου τοπικού δικτύου .
  - 6.3.4 Διαδικασία σύνδεσης με ένα ATM-LAN .
    - 6.3.4.1 Αρχικοποίηση (initialization) .
    - 6.3.4.2 Ρύθμιση (configuration) .
    - 6.3.4.3 Σύνδεση (joining) .
    - 6.3.4.4 Καταχώριση και αρχικοποίηση του BUS (Registration and BUS initialization) .
    - 6.3.4.5 Μεταφορά των δεδομένων (data movement) .
  - 6.3.5 Δομή πλαισίων .
  - 6.3.6 Διασύνδεση εξομοιούμενων τοπικών δικτύων .
  - 6.3.7 Σχολιασμός μεθόδων εξομοίωσης .

- 6.4 Ασύρματα δίκτυα .
  - 6.4.1 Ανάπτυξη της ATM τεχνολογίας .
  - 6.4.2 Ασύρματα LANs και ATM τεχνολογία .
  - 6.4.3 Ανάγκη για ασύρματα ATM .
  - 6.4.4 Ασύρματα ATM μοντέλα αναφοράς .
    - 6.4.4.1 Σταθερά ασύρματα συστατικά στοιχεία .
    - 6.4.4.2 Κινητοί τελικοί χρήστες .
    - 6.4.4.3 Κινητοί μεταγωγοί με σταθερούς τελικούς χρήστες .
    - 6.4.4.4 Κινητοί μεταγωγοί και τελικοί χρήστες .
    - 6.4.4.5 Διασύνδεση με PCS .
    - 6.4.4.6 Ασύρματα Ad-Hoc δίκτυα .
- 6.5 Ασύρματα ATM επίπεδα .
  - 6.5.1 Radio Access Layer .
  - 6.5.2 Mobile ATM Management Layer .
- 6.6 Παράδειγμα ATM δικτύου .
  - 6.6.1 Ασύρματα ATM πρωτότυπα .
  - 6.6.2 Προτυποποίηση .
  - 6.6.3 Συγκριτική παρουσίαση του ATM με άλλες τεχνολογίες .
    - 6.6.3.1 Μισθωμένες γραμμές (TDM) .
    - 6.6.3.2 Τεχνολογία μεταγωγής πακέτων X.25 .
    - 6.6.3.3 Τεχνολογία μεταγωγής πακέτων Frame Relay .
    - 6.6.3.4 Τεχνολογίες τοπικών δικτύων (TokenRing,Ethernet,Fddi) .

Επίλογος

Βιβλιογραφία

# Πρόλογος

Η ιδέα των Ασύρματων ATM δικτύων, γεννήθηκε πρώτη φορά το 1980 και το 1992 προτάθηκε να γίνει η εφαρμογή του. Η δημιουργία του ATM είχε ως κίνητρο την αντικατάσταση του προγόνου του STM. Σκοπός των ασύρματων δικτύων και του ATM (Ασύγχρονος Τρόπος Μεταφοράς) , από το ATM Forum είναι να προωθεί την ανάπτυξη αυτής της τεχνολογίας βασιζόμενο πάντα στα επίσημα πρότυπα-κανόνες των ITU-T και ANSI. Έρευνες πραγματοποιούνταν για την ανάπτυξη ενός πρωτοκόλλου, το οποίο θα τρέχει σε ασύρματο μέσο χωρίς πολλή καθυστέρηση και λάθη. Βασικός στόχος των ερευνητών ήταν η δημιουργία ενός ενιαίου δικτύου το οποίο και θα υποστήριζε ένα ευρύ φάσμα υπηρεσιών όπως : φωνή ,πακέτα δεδομένων ,video ,εφαρμογές εικόνας και εξομοίωση κυκλωμάτων . Τα Ασύρματα ATM δίκτυα θα παίζουν έναν σημαντικό ρόλο στα broadband communications δίκτυα στο μέλλον. Ο κύριος σκοπός του Ασύρματου ATM δικτύου είναι να προσφέρει ελευθερία στην κινητικότητα και στη φορητότητα με την υποστήριξη υπηρεσιών πολυμέσων και με την εγγύηση της Ποιότητας Υπηρεσιών στον τελικό χρήστη. Ο τρόπος ασύγχρονης μεταφοράς (ATM) έχει συλλήφθει ως μια πολλαπλών χρήσεων τεχνολογία. Η εισαγωγή νέων κατηγοριών υπηρεσιών μέσα στο στρώμα του ATM καθιστά το ATM κατάλληλο για μια απεριόριστη σειρά των εφαρμογών. Με τη χρησιμοποίηση αυτών των υπηρεσιών, σε σχέση με τις εικονικές συνδέσεις πορειών του ATM (VPCs) ή τις εικονικές συνδέσεις καναλιών (VCCs), οι χρήστες έχουν εύκαμπτη πρόσβαση στους πόρους δικτύων και μπορούν να επιτύχουν έναν ικανοποιητικό συμβιβασμό μεταξύ της απόδοσης και κόστους. Έτσι το ATM είναι σε θέση να υποστηρίξει ένα ευρύ φάσμα δικτυακών εφαρμογών όπως είναι : η τηλεσυνδιάσκεψη , η συνδιάσκεψη από γραφείο σε γραφείο , το εικονοτηλέφωνο ,να προσφέρει εικόνα / ήχο κατά παραγγελία ,εικονικά τοπικά δίκτυα (VLAN: Virtual LANs) και επικοινωνίες ATM μεγάλης χωρητικότητας με κινητούς κόμβους .

Το πρώτο κεφάλαιο αυτής της πτυχιακής εργασίας είναι μία εισαγωγή στο σημαντικό θέμα των Ασύρματων ATM δικτύων. Γίνεται μια ιστορική αναδρομή για το πως ξεκίνησε η ιδέα των Ασύρματων ATM δικτύων και επίσης γίνεται σύγκριση με το προγονό του STM, αναφέρεται επίσης και στο video κατόπιν ζήτησης και αναλύει την αρχιτεκτονική του.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται, η εξέλιξη προς τα Ασύρματα ATM δίκτυα. Παρουσιάζονται το μοντέλο αναφοράς του ATM , η σχέση ανάμεσα στο πρότυπο OSI και του ATM μοντέλου αναφοράς .Επίσης γίνεται αναφορά στο επίπεδο προσαρμογής (AAL) του ATM καθώς στις υπηρεσίες και στους τύπους του AAL.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά, στον έλεγχο διασφάλισης Ποιότητας Υπηρεσιών, στους μηχανισμούς ελέγχου κίνησης και συμφόρησης στα ATM δίκτυα και επίσης γίνεται σχολιασμός των παραμέτρων Qos .

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στην γενική περιγραφή των μηχανισμών ελέγχου καθώς και στις παραμέτρους ελέγχου χρήστη και τέλος παρουσιάζεται η διαχείριση πόρων χρήστη και μέθοδοι ελέγχου ροής για την αποφυγή συμφόρησης.

Το πέμπτο κεφάλαιο αναφέρεται στον έλεγχο δρομολόγησης , στους δυναμικούς αλγόριθμους , στην εφαρμογή πολιτικών δρομολόγησης στα ATM και τέλος στην εφαρμογή στο PNNI πρωτόκολλο του ATM.

Στο εκτο κεφαλαιο, η ανάπτυξη της ATM τεχνολογίας εξετάζεται, τα ασύρματα LANs σε σχέση με την ATM τεχνολογία παρουσιάζεται και εξηγείται η ανάγκη για τα Ασύρματα ATM δίκτυα ,επίσης δίνονται πληροφορίες για τα Ασύρματα ATM πρωτότυπα και την προτυποποίηση αντιστοιχα.

# Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup> : Τι είναι το ATM

## 1.1 Ιστορική αναδρομή – Σύγκριση με STM

Το ATM γεννήθηκε στα εργαστήρια της A.T&T στη πόλη Νάπερβιλ του Ιλλινόις των ΗΠΑ το 1980, σαν μία τεχνική μεταγωγής η οποία θα εξυπηρετούσε τη μετάδοση φωνής και δεδομένων με τη μορφή πακέτου. Το 1986 ο οργανισμός ITU-T (πρώην CCITT) σε ένα συνέδριο στη Σεούλ της Ν.Κορέας εισήγαγε την ATM τεχνολογία στο BISDN. Το καθοριστικό γεγονός όμως στην ανάπτυξή του είναι η δημιουργία του ATM Forum το 1991 από τις εταιρείες Cisco Systems NET/ADAPTIVE, North Telecom and Sprint, που το 1993 το Forum αριθμούσε περί τα 350 μέλη. Σκοπός του ATM Forum είναι να προωθεί την ανάπτυξη αυτής της τεχνολογίας βασιζόμενο πάντα στα επίσημα πρότυπα-κανόνες των ITU-T και ANSI.

### THE HISTORY OF ATM TECHNOLOGY



Η δημιουργία του ATM είχε ως κίνητρο την ανάγκη αντικατάστασης του προγόνου του, **STM (Synchronous transfer mode)**. Το STM χρησιμοποιείται στα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα υποδομής (backbone) για τη μεταφορά πακέτων δεδομένων και φωνής σε μακρινές αποστάσεις. Είναι ένας μηχανισμός μεταγωγής κυκλώματος στον οποίο μια σύνδεση αρχίζει μεταξύ δύο τελικών σημείων, ακολουθεί η μεταφορά δεδομένων και στο τέλος η σύνδεση μεταξύ των δύο αυτών σημείων κλείνει. Κατά τη διάρκεια της επικοινωνίας, το εύρος ζώνης έχει προκαθοριστεί και παραμένει κατειλημμένο καθ' όλη τη διάρκεια της σύνδεσης, ανεξάρτητα με το αν διακινείται ή όχι πληροφορία. Το συνολικό εύρος ζώνης διαιρείται σε **στοιχειώδη κομμάτια χρόνου (time-slots ή buckets)** και τα πακέτα των δεδομένων οργανώνονται σε μια ουρά που περιέχει ένα σταθερό αριθμό πακέτων. Ένα bucket περιέχει N πακέτα, ένα για κάθε σύνδεση, και υπάρχουν M διαφορετικά buckets που επαναλαμβάνονται κάθε T δευτερόλεπτα. Έτσι, ο ολικός αριθμός συνδέσεων που μπορεί να εξυπηρετήσει

ικανοποιητικά ένα STM τηλεπικοινωνιακό σύστημα είναι  $N \times M$ , και βέβαια στην ιδανικότερη περίπτωση, αφού το γεγονός ότι κάθε σύνδεση καταλαμβάνει “a priori” ένα πακέτο σε κάθε bucket δεν σημαίνει αναγκαστικά ότι θα χρησιμοποιηθεί για μεταφορά χρήσιμων δεδομένων. Αυτό σημαίνει ότι μια σύνδεση που δεν χρησιμοποιεί όλο το εύρος που της προσφέρεται δεν μπορεί να «δανείσει» το περισσευούμενο εύρος σε μια άλλη σύνδεση που παρουσιάζει συμφόρηση και έχει άμεση ανάγκη από εύρος.

Σε ένα σύνδεσμο STM, μία σύνδεση έχει μια καθορισμένη θέση πακέτου, 1 έως N, σε ένα καθορισμένο bucket, 1 έως M. Εάν ανάμεσα στα δύο άκρα της σύνδεσης μεσολαβούν δύο ή περισσότεροι σύνδεσμοι STM, οι αριθμοί αυτοί αλλάζουν από κόμβο σε κόμβο, αλλά δεν παύουν να δεσμεύουν ένα στοιχειώδες κομμάτι χρόνου (timeslot) σε κάθε M buckets για κάθε σύνδεση. Όπως γίνεται φανερό, η συμπεριφορά ενός συστήματος STM είναι γενικά προβλέψιμη, εφ’ όσον κάθε σύνδεση έχει καταλάβει ένα μέρος του διαθέσιμου εύρους, και δεν την απελευθερώνει για όλη τη διάρκεια της σύνδεσης. Οι αριθμοί N και M γενικά διαφέρουν από υλοποίηση σε υλοποίηση, αλλά η χρονική περίοδος T είναι ίδια, μιας και προέρχεται από το θεώρημα του Nyquist για τη μη απώλεια πληροφορίας για δειγματοληπτημένο σήμα φωνής συχνότητας μέχρι και 4 kHz:  $1/(2 \times 4000) = 125 \mu\text{sec}$ . (Αυτή η περίοδος είναι μία από τις πιο ουσιώδεις στη θεωρία των τηλεπικοινωνιών και δεν αναμένεται να αλλάξει για πολλά χρόνια ακόμα.).

Το γεγονός λοιπόν ότι αφενός μία σύνδεση STM δεν κατανέμει δίκαια το διαθέσιμο εύρος στις επιμέρους συνδέσεις και δεν επιδέχεται παραπάνω από  $N \times M$  ταυτόχρονες συνδέσεις, και αφετέρου ότι η μορφή των δεδομένων που διακινούνται στα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα αλλάζει σταδιακά από φωνή και μονόδρομα κινούμενη εικόνα (τηλεόραση) σε ένα μίγμα από φωνή, δεδομένα υπολογιστών, video και audio-on-demand, web σελίδες πλούσιες σε γραφικά κ.λ.π., ωθούν στην ανάγκη εύρεσης ενός νέου προτύπου. Το νέο αυτό πρωτόκολλο ήταν το ATM. Βασικός στόχος του, ήταν η δημιουργία ενός ενιαίου δικτύου το οποίο θα υποστηρίζει ένα ευρύ φάσμα υπηρεσιών όπως:

- Φωνή
- Πακέτα δεδομένων (SMDS, IP, FR)
- Video
- Εφαρμογές εικόνας (imaging)
- Εξομοίωση κυκλωμάτων (circuit emulation)

Έτσι λοιπόν η τεχνολογία ATM είναι σε θέση να υποστηρίζει ένα ευρύ φάσμα δικτυακών εφαρμογών ανάμεσα στις οποίες μπορούμε να διακρίνουμε τις ακόλουθες:

- Τηλεσυνδιάσκεψη (Video Conferencing)
- Συνδιάσκεψη από γραφείο σε γραφείο (Desktop Conferencing)
- Εικονοτηλέφωνο (Videophone)
- Εικόνα / Ηχος κατά παραγγελία (Audio/Video On Demand)
- Εικονικά τοπικά δίκτυα (VLAN: Virtual LANs)
- Επικοινωνίες ATM μεγάλης χωρητικότητας με κινητούς κόμβους (συνήθως με δορυφορικές ζεύξεις)



Το ATM προσφέρει κάποια πλεονεκτήματα τα οποία κανένα άλλο από τα προαναφερθέντα πρωτόκολλα δεν προσέφερε:

1. Ταχύτητα : υποστηρίζει ρυθμούς μεταφοράς μέχρι και 622 Mbps.
2. Επεκτασιμότητα : επιτρέπει το αυξημένο εύρος ζώνης μέσα στις ήδη υπάρχουσες αρχιτεκτονικές.
3. Αποκλειστικό εύρος ζώνης : εγγυάται το ρυθμό μεταφοράς για μία υπηρεσία.
4. Παγκόσμια εφαρμογή : προσφέρει τη δυνατότητα μίας λύσης από άκρο-σε-άκρο, από τοπικό επίπεδο μέχρι WAN.

Ένα άλλο σημαντικό πλεονέκτημα του ATM είναι ότι είναι μια εύκολα αναβαθμιζόμενη τεχνολογία. Είναι χαρακτηριστικό ότι οι αρχικές προδιαγραφές του μιλούν για βασική χαμηλή ταχύτητα 1,544 Mbps που μπορεί να φτάσει τα 10 Gbps και πάνω (σχεδόν 4 τάξεις μεγέθους!).

Παράλληλα με αυτό, το ATM έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί με την ίδια ευκολία τόσο σε κοντινές αποστάσεις (π.χ. ένα γραφείο ή ένα κτίριο) όσο και σε μακρινές (διεθνείς και υπερηπειρωτικές συνδέσεις). Αυτό υπονοεί ότι μεγάλο μέρος της δουλειάς υποδομής που απαιτείται σήμερα για να συνεργάζονται αρμονικά τα τοπικά δίκτυα (LAN) με τα δίκτυα μεγάλων αποστάσεων (WAN) ή και τα μητροπολιτικά δίκτυα (MAN), μπορεί να εξαλειφθεί.

Ένα τελευταίο και πολύ σημαντικό επακόλουθο της ενοποίησης των δικτύων φωνής και δεδομένων είναι η λεγόμενη ενοποίηση τηλεφωνικών και δικτύων δεδομένων σε μεγάλες και μικρές επιχειρήσεις (CTI : Computer and Telephony Integration). Με τη δυνατότητα του ATM να χειρίζεται με την ίδια ευκολία το φορτίο που του αναθέτουν, είναι δυνατό να ενοποιηθούν τα συνήθως ανεξάρτητα δύο εσωτερικά δίκτυα των οργανισμών αυτών σε ένα, μειώνοντας το κόστος συντήρησης και επένδυσης. Η αναβαθμισιμότητα του ATM, όπως διαφάνηκε παραπάνω, αφήνει δε πολλά περιθώρια για επέκταση του ενιαίου δικτύου, τόσο σε χωρητικότητα, όσο και σε απόσταση.

### 1.1.1 Η Ανάγκη για ATM

Κοινή αίσθηση στις τηλεπικοινωνιακές εταιρείες είναι ότι η ενοποίηση των δικτύων δεδομένων και φωνής θα είναι η πιο βιώσιμη και οικονομική λύση για τα ερχόμενα χρόνια, τόσο από πλευράς κόστους απόσβεσης όσο και από πλευράς κόστους συντήρησης. Ήδη, έννοιες όπως CTI (Computer & Telephony Integration) έχουν αρχίσει να αποκτούν όλο και μεγαλύτερη σημασία για την τηλεπικοινωνιακή υποδομή επιχειρήσεων και οργανισμών. Αναμενόμενη είναι επίσης η αύξηση των αναγκών της ανθρωπότητας σε διαθέσιμο εύρος ζώνης, καθώς έχουμε αρχίσει και μιλάμε για συνδέσμους της τάξης των Gigabit / sec.

Φυσικό λοιπόν είναι τα ερευνητικά τους τμήματα να ρίχνουν βάρος προς τη προσπάθεια εύρεσης του βέλτιστου τρόπου συγχώνευσης δύο φαινομενικά διαφορετικών «κόσμων» : φωνής και δεδομένων.

Ενας σημαντικός αρωγός στην έρευνα για το ATM είναι και η **ανάδραση από την αγορά** (market feedback). Αξίζουν να σημειωθούν εδώ κάποια στοιχεία από το κόσμο του marketing : η ετήσια αύξηση σε ζήτηση υπηρεσιών φωνής είναι κατά μέσο όρο περίπου 2% - 5%. Η αντίστοιχη αύξηση ζήτησης σε υπηρεσίες δεδομένων είναι αυτή τη στιγμή περίπου 20% - 33% (!).

Μέσα στην προσπάθεια αυτή ολοκλήρωσης των υπηρεσιών, πρέπει να αναφερθούμε στις διαφορές των δύο κόσμων και στη λύση την οποία προσπαθεί να επιβάλλει το ATM. Έτσι λοιπόν, συνδέσεις φωνής ή και κινούμενης εικόνας (απλή τηλεόραση) έχουν μικρή ανοχή σε χρονικές καθυστερήσεις (προβλήματα συγχρονισμού), ενώ έχουν σχετικά μεγάλη ανοχή σε αλλοιώσεις του σήματος και χαμένα πακέτα. Αντίθετα, οι συνδέσεις δεδομένων

υπολογιστών (ηλεκτρονικό ταχυδρομείο, μεταφορά αρχείων) έχουν μεγάλη ανοχή σε χρονικές καθυστερήσεις, αλλά όχι και στα χαμένα πακέτα.

Το προφίλ των συνδέσεων φωνής και δεδομένων διαφέρει επίσης ως προς το ρυθμό ροής των δεδομένων. Τα σήματα φωνής περιέχουν εν γένει μικρές χρονικές στιγμές έντονης ροής πληροφορίας (bursts) και μεγάλα χρονικά διαστήματα κενά πληροφορίας. Ο χρόνος ανάμεσα στις στιγμές έντονης ροής (bursts) μπορεί να είναι αρκετά μεγάλος και τυχαία κατανεμημένος. Έτσι, θα ήταν σημαντική σπατάλη εύρους ζώνης να παρακρατείται μία στοιχειώδης μονάδα χρόνου (μέσα σε ένα bucket) ακόμα και αν μόνο 1 στις 10 θα μετέφερε πραγματικά δεδομένα, ενώ οι άλλες 9 θα έμεναν κενές. Θα ήταν επίσης επιθυμητό να μπορεί ένα αχρησιμοποίητο πακέτο να χρησιμοποιηθεί για μεταφορά δεδομένων κάποιας άλλης σύνδεσης που αναμένει.

Έτσι το πρότυπο STM για μεταφορά δεδομένων (γενικά πάντα) αποδεικνύεται αντιποδοτικό όταν αυξάνονται :

- 1) ο μέγιστος ρυθμός μεταφοράς (peak transfer rate),
- 2) το μέγιστο εύρος ζώνης του φυσικού μέσου μεταφοράς και
- 3) το «καταρρακτώδες» (burstiness) του ρυθμού ροής δεδομένων. Σύμφωνα με όλες τις ενδείξεις από τον κόσμο των υπολογιστών και ειδικότερα των πολυμέσων (multimedia), έτσι θα διαμορφωθούν τα προφίλ των συνδέσεων δεδομένων για τα επερχόμενα χρόνια.

## **1.2 VIDEO ON ATM**

Η πιο ίσως σημαντική λειτουργία στο ATM είναι η μεταφορά αρχείων video το οποίο ονομάζεται Video on Demand δηλαδή video κατόπιν ζήτησης .

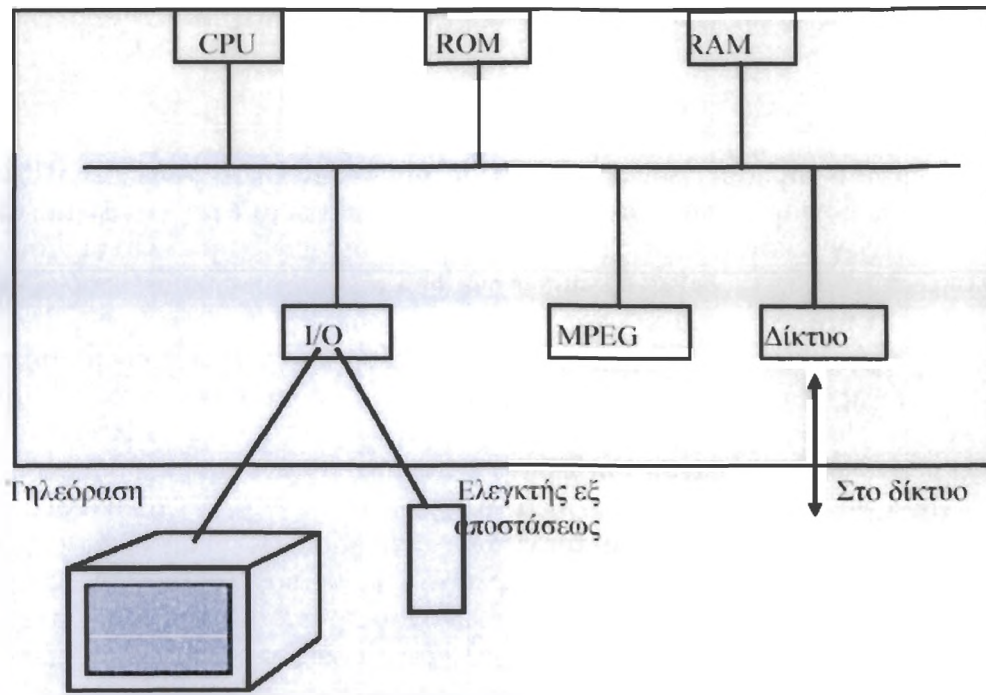
### **1.2.1 Ορισμός**

Το video κατόπιν ζήτησης ( video on demand ή VOD ) είναι ένα σύστημα το οποίο δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη να ζητήσει ταινίες από απομακρυσμένες ηλεκτρονικές αποθήκες ταινιών. Εκεί, θα πρέπει να υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός ταινιών που είναι διαθέσιμες για τον χρήστη οποιαδήποτε ώρα, έτσι ώστε να μπορεί να διαλέξει μία ταινία η οποία θα του μεταδοθεί απευθείας αποκλειστικά σ' αυτόν (όχι ραδιοφωνικά εκπεμπόμενη ) το ταχύτερο δυνατό. Άλλες ενδεικτικές εφαρμογές προγραμμάτων κατόπιν ζήτησης είναι οι αγορές από το σπίτι ( home shopping ), η βιντεοτηλεφωνία, και η υποστήριξη εκπαιδευτικών διαδικασιών. Τα video κατόπιν ζήτησης συστήματα θα πρέπει να επιτρέπουν στον χρήστη να αλληλεπιδρά με τον αποστολέα, τουλάχιστον με την δυνατότητα να σταματά την μετάδοση κατά την διάρκεια της εξέλιξης της ταινίας. Βέβαια, αυτή η αλληλεπίδραση μπορεί να διευρυνθεί επιτρέποντας στον χρήστη να σταματά και να ξαναρχίζει την μετάδοση της ταινίας, όπως επίσης να δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να παίζει την ταινία από μία συγκεκριμένη στιγμή ή να αλλάξει τη θέση στην οποία βρίσκεται το έργο όσες φορές θέλει. Πιο πολύπλοκα συστήματα μπορούν να συμπεριλάβουν και το γύρισμα μπροστά ή πίσω γρήγορα ή σε βήματα της ταινίας κατά την διάρκεια που παίζει. Έτσι, από την πλευρά του χρήστη το σύστημα θα αντιπροσωπεύει μία νοητή συσκευή video, όπου όλες οι πράξεις αλλαγής κασετών δε θα είναι ορατές από τους χρήστες. Η αρχιτεκτονική του video κατόπιν ζήτησης μπορεί να αποτελείται από πολλούς χρήστες και πολλούς αποστολείς, έτσι ώστε ο χρήστης να μπορεί να επιλέξει εκείνον τον αποστολέα που είναι πιο εύκολα προσεγγίσιμος ή αυτόν με τα πιο ενδιαφέροντα περιεχόμενα.

## 1.2.2 Μετάδοση video

Είναι φανερό πως η μετάδοση μιας ταινίας γίνεται σε συμπιεσμένη μορφή. Το **MPEG (Motion Picture Experts Group)** είναι ένα πρότυπο που περιγράφει μια τεχνική συμπίεσης για αλληλουχία κινουμένων εικόνων. Για την συμπίεση των ταινιών χρησιμοποιούνται τα πρότυπα MPEG-1 αλλά κυρίως το MPEG-2 που έγινε διεθνές πρότυπο και αποτελεί τον διάδοχο του MPEG-1. Έτσι, όταν φτάνει στον χρήστη μία ροή από το ζητούμενο βίντεο χρειάζεται να αποκωδικοποιηθεί και έτσι να αποσυμπιεστεί. Δύο προσεγγίσεις είναι εφικτές εδώ. Σύμφωνα με την πρώτη προσέγγιση, οι χρήστες μπορούν να χρησιμοποιούν τους προσωπικούς υπολογιστές τους για να αποκωδικοποιούν και να βλέπουν τις ταινίες. Για να γίνει αυτό θα πρέπει να αγοράσουν και να συνδέσουν ένα ειδικό πίνακα που περιέχει ειδικά chips και ένα μηχανήμα σύνδεσης (connector) για να αλληλεπιδρούν με το τοπικό δίκτυο. Η ταινία τότε θα προβάλλεται στην οθόνη του υπολογιστή πιθανώς ακόμη και σ' ένα παράθυρο. Προφανώς αυτή η προσέγγιση είναι αρκετά οικονομική και προσφέρει την δυνατότητα στον χρήστη να αλληλεπιδρά με την βοήθεια του ποντικιού. Συνήθως όμως οι υπολογιστές έχουν μικρή οθόνη και εκπέμπουν αρκετά λιγότερο φως από ότι οι τηλεοράσεις. Σύμφωνα με την δεύτερη προσέγγιση ο υπεύθυνος του τοπικού δικτύου νοικιάζει ή πουλάει σε κάθε χρήστη έναν προσαρμογέα (set-top box) στο οποίο συνδέονται το δίκτυο και η τηλεόραση. Οι βασικές λειτουργίες του προσαρμογέα είναι η αλληλεπίδραση με το τοπικό δίκτυο, η αποκωδικοποίηση του MPEG σήματος, ο συγχρονισμός της ροής της φωνής με την εικόνα, η παραγωγή ενός σύνθετου σήματος για την τηλεόραση, η παρακολούθηση του εξ αποστάσεως ελέγχου και η διαχείριση της αλληλεπίδρασης του χρήστη. Αυτή η προσέγγιση είναι η επικρατέστερη γιατί σε κάθε σπίτι υπάρχει τηλεόραση ενώ υπολογιστής δεν υπάρχει σε κάθε σπίτι. Ακόμη, πολλοί υπολογιστές είναι παλιοί ή δεν είναι κατάλληλοι για MPEG αποκωδικοποίηση.

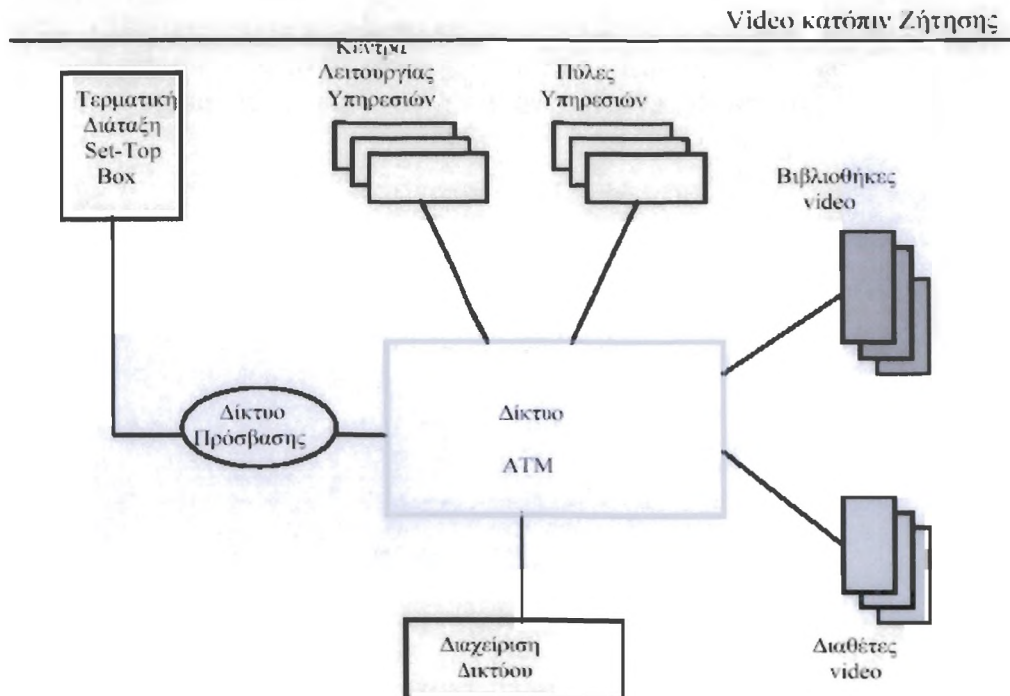
Μια πιθανή αρχιτεκτονική του προσαρμογέα είναι αυτή που φαίνεται στο Σχήμα 1. Αυτό αποτελείται από Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας (CPU), Μνήμη Μόνο διαβάσματος (ROM), Μνήμη Τυχαίας Προσπέλασης (RAM), εκλεκτή εισόδου/εξόδου (I/O), MPEG αποκωδικοποιητή και αλληλεπίδραση με το δίκτυο. Επιπλέον μπορεί να προστεθεί ένα chip ασφαλείας για να αποκρύπτονται τα εξερχόμενα μηνύματα όπως οι αριθμοί πιστωτικών καρτών κ.α.



σχήμα 1.α : Αρχιτεκτονική προσαρμογέα.

### 1.2.3 Αρχιτεκτονική συστήματος ATM για VIDEO κατόπιν ζήτησης

Στο σχήμα 1.β παρουσιάζεται διαγραμματικά η αρχιτεκτονική του συστήματος για την υποστήριξη video κατόπιν ζήτησης, με βασικό δίκτυο τεχνολογίας ATM.



σχήμα 1.β : Αρχιτεκτονική συστήματος ATM για VIDEO on DEMAND

Οι βασικές δομικές μονάδες της αρχιτεκτονικής του σχήματος 1.β είναι:

- Οι **Πύλες υπηρεσιών ( Service Gateways )**, που παρέχουν στον χρήστη τη δυνατότητα σύνδεσης με ένα διαθέτη video, ενός παροχέα υπηρεσιών που αυτός επιλέγει. Οι πύλες μπορεί να είναι ανεξάρτητα στοιχεία του δικτύου ή να ενσωματώνονται σε ήδη υπάρχοντα δικτυακά στοιχεία.
- Το **Κέντρο Λειτουργίας Υπηρεσιών( Service Operation Center )** που επιτρέπει στους παροχείς υπηρεσιών να διαχειρίζονται το πληροφοριακό υλικό τους και να εξυπηρετούν συγκεκριμένες ομάδες χρηστών. Ανάλογα με το μέγεθος του υλικού και την έκταση του δικτύου, ένα Κέντρο Λειτουργίας Υπηρεσιών μπορεί να είναι μια ανεξάρτητη μονάδα ή να ενσωματώνεται σε ένα διαθέτη video.
- Οι **Βιβλιοθήκες video ( Video libraries )** είναι τα συστήματα αρχειοθέτησης, στα οποία αποθηκεύεται συμπιεσμένο υλικό ( π.χ. ταινίες, video ).
- Οι **Διαθέτες video ( Video Servers )**, που παρέχουν τα video και το υπόλοιπο υλικό το οποίο μπορούν να ζητήσουν οι συνδρομητές/χρήστες. Το δίκτυο πρόσβασης ( **Access Network** ), που αναφέρεται στη διασύνδεση μεταξύ δικτύου και διατάξεων συνδρομητή. Υπάρχουν διάφοροι τύποι δικτύων πρόσβασης ανάλογα με το είδος μετάδοσης, τη χρησιμοποιούμενη τεχνολογία και το φυσικό μέσο μετάδοσης.
- Η **συνδρομητική διάταξη ( CPE-Customer Premises Equipment )**, που περιλαμβάνει τον προσαρμογέα ( **set-top box** ) που συνδέεται με την τηλεόραση, τη συσκευή video και το σύστημα του εξ αποστάσεως ελέγχου.

Η χρήση της τεχνολογίας ATM παρέχει μια σειρά από πλεονεκτήματα, στην μετάδοση εφαρμογών video κατόπιν ζήτησης, όπως:

- Μπορούν να υποστηριχθούν επικοινωνιακά πολλαπλοί τύποι υπηρεσιών, οι οποίες παράγουν διαφορετικούς ρυθμούς δεδομένων και οι οποίοι πιθανόν να πρέπει να αναμιχθούν και να ενοποιηθούν, στα πλαίσια μιας πολυμεσικής εφαρμογής.
- Το δίκτυο παρέχει ένα επαρκές σύστημα σηματοδότησης και, λόγω των προδιαγραφών λειτουργίας του, είναι ιδιαίτερα κατάλληλο για την παράδοση σημάτων video, σε μεγάλο αριθμό συνδρομητών.
- Οι υπάρχοντες και χρησιμοποιούμενοι ταυτοποιητές νοητών συνδέσεων ( μονοπατιών ή /και καναλιών ) μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για την ταυτοποίηση των διαφόρων προγραμμάτων ( ταινίες, μουσική κ.α. ).

Είναι δυνατόν να γίνεται χρήση αποκλειστικά τεχνολογίας ATM ή χρήση τεχνολογίας ATM μόνο μέχρι το δίκτυο πρόσβασης. Στην πρώτη περίπτωση οι διαθέτες video παρέχουν, κατόπιν ζήτησης και μέσω του δικτύου ATM, ένα αντίγραφο από το video που ζητήθηκε. Τα προγράμματα που είναι αποθηκευμένα σε κωδικοποιημένη μορφή MPEG ανακαλούνται από το μέσο αποθήκευσης, ενθυλακώνονται σε κυψελίδες ATM και μεταφέρονται μέσω του δικτύου του συνδρομητή. Η αποκλειστική χρήση της τεχνολογίας ATM χαρακτηρίζεται και ως αρχιτεκτονική ATMH (ATM-to-the-Home). Η δεύτερη περίπτωση απαιτεί μετατροπή των κυψελίδων ATM σε ρεύμα μετάδοσης ( TS-

Transport Stream ), που έχει ορισθεί για το MPEG-2 και εξαρτάται από την χρησιμοποιούμενη τεχνολογία στο δίκτυο πρόσβασης.

### **1.3 Κύριοι Οργανισμοί που Ωθούν Την Έρευνα στο ATM**

Έτσι γεννήθηκε το ATM. Αρχικά προτάθηκε σαν πρότυπο από την Bellcore, τη ερευνητικό τμήμα της AT&T, αλλά και από άλλες μεγάλες Ευρωπαϊκές τηλεπικοινωνιακές εταιρείες, και γι'αυτό μπορεί να μιλάμε για δύο πιθανές προτυποποιήσεις στο μέλλον. Στην Ευρώπη, το ATM υποστηρίζεται και εξελίσσεται από το ETSI (European Telecommunications Standard Institute), η οποία είναι υποεπιτροπή της ITU-T (πρώην CCITT - ευρωπαϊκή επιτροπή τηλεπικοινωνιακών προτύπων). Η ITU-T αρχικά όρισε το ATM σαν μέρος του φακέλου συστάσεων για το B-ISDN (Broadband ISDN).

Στις Ην. Πολιτείες ο υπεύθυνος οργανισμός για την προτυποποίηση του ATM είναι μια υποεπιτροπή του γνωστού ANSI (American National Standards Institute), την T1S1, που είναι υπεύθυνη για νέα πρότυπα τηλεπικοινωνιών. Ίσως όμως το πιο σημαντικό γκρουπ στο ATM αυτή τη στιγμή να είναι το ATM Forum που συνίσταται από πολλές εταιρείες κατασκευής υλικού (hardware) και παροχής υπηρεσιών (service providers), το οποίο αν και δεν είναι επίσημος οργανισμός προτυποποίησης καθοδηγεί τις εξελίξεις στο νέο και ταχύτατα αναπτυσσόμενο τομέα του ATM.

Όπως προαναφέρθηκε, υπάρχουν μικρές διαφορές ανάμεσα στις προτυποποιήσεις που προτείνουν αυτές οι δύο επιτροπές, αλλά οι διαφορές είναι μικρές και το πιθανότερο είναι κάποια συγγώνευση των σε ένα ενιαίο standard.

# Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup> : Πρωτόκολλα λειτουργίας του ATM

## 2.1 Κεντρική ιδέα του ATM

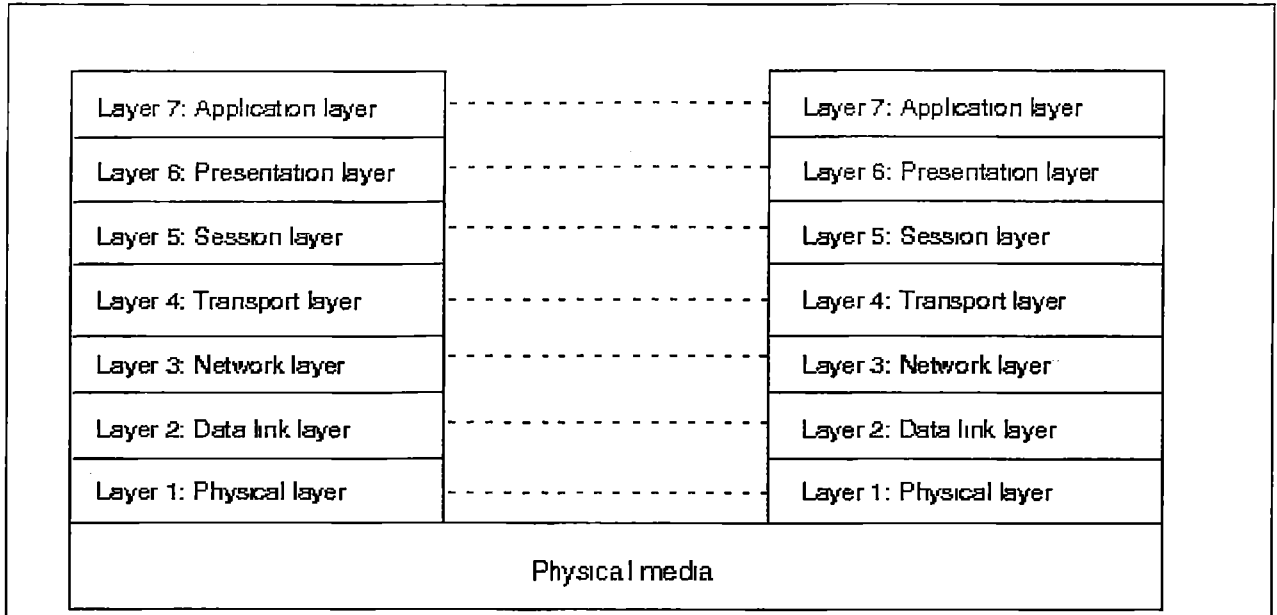
Το ATM λοιπόν αποτελεί μία ενιαία μέθοδο μεταφοράς, πολυπλεξίας και μεταγωγής (switching) πληροφορίας πολλών ειδών (data, video, audio) μέσω ενός πολύ απλού μηχανισμού μετάδοσης και μεταγωγής. Από την τεχνική μεταγωγής πακέτων χρησιμοποιεί την διαδικασία πολυπλεξής διάφορων ροών κίνησης από διάφορες πηγές πάνω από συγκεκριμένες φυσικές γραμμές. Από την τεχνική μεταγωγής κυκλώματος έχει κρατήσει την γρήγορη επεξεργασία των πακέτων – κελιών (cells), αποδίδοντας τον ρόλο του ελέγχου και διόρθωσης σφαλμάτων στα δύο άκρα επικοινωνίας. Τα κελιά αυτά έχουν μήκος 53 byte, εκ των οποίων τα 5 είναι η επικεφαλίδα και τα υπόλοιπα 48 είναι το ωφέλιμο φορτίο (payload). Η επιλογή αυτή για το μέγεθος του κελιού προήλθε από την επιθυμία των εταιρειών να κρατήσουν σταθερή τη ποιότητα των φωνητικών επικοινωνιών όπως στα δίκτυα STM, γιατί σε συνδέσεις που ο χρόνος μεταφοράς πακέτου πρέπει να είναι μικρός (όπως στη κλασική τηλεφωνία), η πιθανότητα να χαθούν πακέτα αυξάνεται, αλλά αφού το μέγεθος του πακέτου είναι πολύ μικρό, αυτό δεν συνεπάγεται αισθητή απώλεια στη φυσική ροή της ομιλίας.

Το ATM είναι ένα πρωτόκολλο με ελάχιστο έλεγχο λαθών και ροής. Για αυτό το λόγο μειώνεται η επιπλέον πληροφορία ανά κελί με αποτέλεσμα να επιτυγχάνονται μεγάλες ταχύτητες μεταφοράς. Στο φυσικό επίπεδο του πρωτοκόλλου ορίζονται συγκεκριμένα ταχύτητες μεταφοράς στα 155,52 Mbps και 622,08 Mbps. Η ταχύτητα των 155 Mbps επιλέχθηκε, επειδή είναι περίπου αυτή που χρειάζεται για να μεταδοθεί η τηλεόραση υψηλής ευκρίνειας. Η ακριβής επιλογή των 155,52 Mbps έγινε για να είναι συμβατή με το σύστημα μετάδοσης SONET της AT&T. Η ταχύτητα των 622,08 Mbps επιλέχθηκε έτσι ώστε με αυτή να μπορούν να σταλλούν τέσσερα κανάλια των 155,52 Mbps. Θα πρέπει ωστόσο να αναφέρουμε ότι το ATM πρωτόκολλο είναι ανεξάρτητο από το μέσο μετάδοσης. Έτσι ενώ στο άμεσο μέλλον προετοιμάζονται ταχύτητες της τάξης που αναφέραμε, το ίδιο πρωτόκολλο θα χρησιμοποιηθεί για να φθάσουμε τα 2Gbps. Στα υπόλοιπα πρωτόκολλα δεν υπάρχει αυτή η ελευθερία αύξησης της ταχύτητας αφού η τεχνολογική υποδομή και ο ρυθμός μετάδοσης είναι αλληλένδετοι. Το πλεονέκτημα αυτό αποκτά μεγαλύτερο βάρος, όταν ξέρουμε ότι η τεχνολογία πολυμέσων γρήγορα δεν θα αρκείται ούτε στα 155Mbps, και τέτοια εξέλιξη μπορεί να στηριχτεί με τα σημερινά δεδομένα μόνο στο ATM. Στην συνέχεια παρουσιάζεται το μοντέλο αναφοράς του ATM.

## 2.2 Το μοντέλο αναφοράς ATM

### **2.2.1 Η σχέση του προτύπου OSI και το ATM μοντέλο αναφοράς**

Εκκινώντας την περιγραφή του μοντέλου αναφοράς του ATM πρωτοκόλλου, θα πρέπει να αναφέρουμε ποια είναι η σχέση ανάμεσα στα επίπεδα λειτουργιών στα οποία απευθύνεται το ATM μοντέλο και στο OSI μοντέλο. Στο ακόλουθο σχήμα (σχήμα 2.α) μπορείτε να δείτε την αρχιτεκτονική του OSI πρωτοκόλλου.

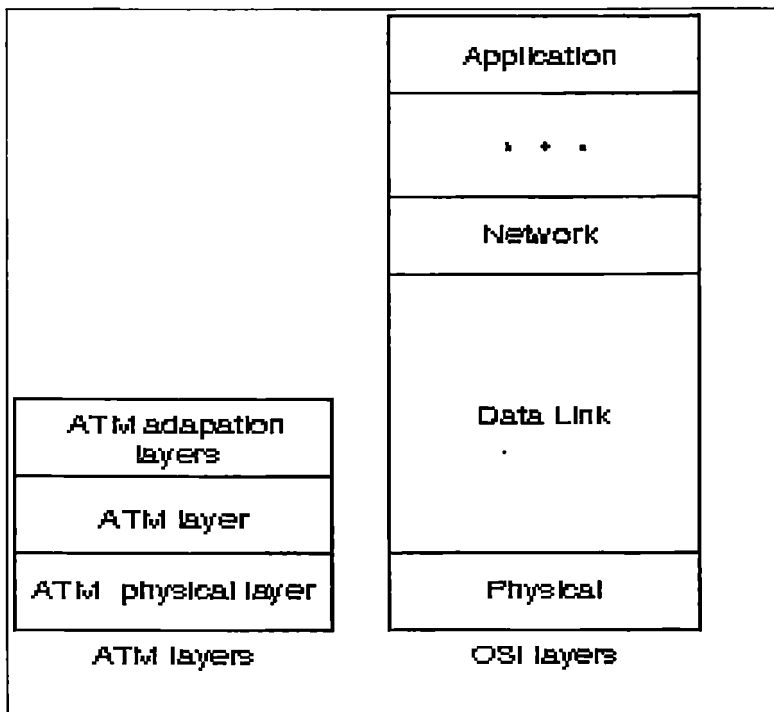


Σχήμα 2.α : Το OSI μοντέλο

Σε σχέση λοιπόν με το OSI μοντέλο, οι λειτουργίες του ATM οριοθετούνται στο επίπεδο 2 ( data link layer) του μοντέλου αυτού, το οποίο ασχολείται με την μετάδοση δεδομένων μεταξύ δύο σημείων στο δίκτυο, ωστόσο το ίδιο το ATM αποτελείται από τρία επίπεδα:

- Το ATM Adaptation Layer (AAL)
- Το ATM Layer
- Το ATM physical Layer

Η ακριβής σχέση ανάμεσα στα επίπεδα του ATM και του OSI φαίνονται στο σχήμα 2.β.



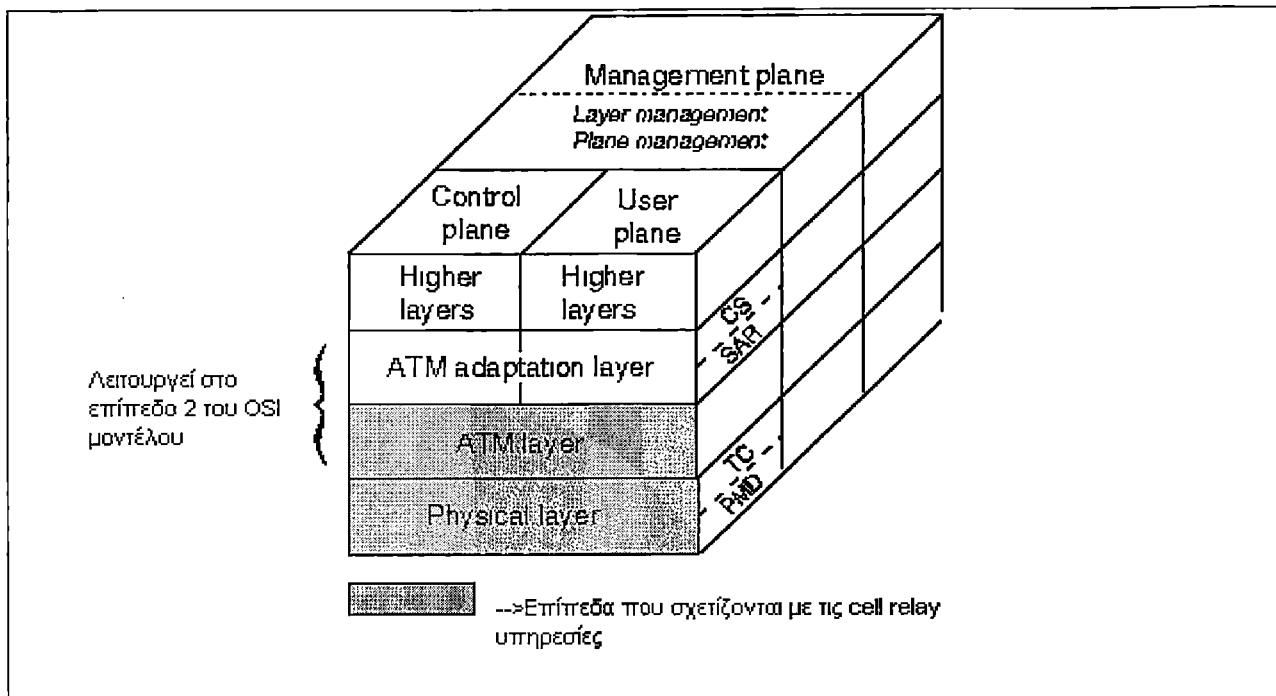
Σχήμα 2.β: Σχέση ATM και OSI



Το συνολικό όμως μοντέλο αναφοράς πρωτοκόλλων ATM διαφέρει από αυτό του OSI. Γι αυτό προχωρούμε στην ξεχωριστή μελέτη του ATM μοντέλου.

## 2.2.2 Το ATM μοντέλο αναφοράς

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται το ATM μοντέλο αναφοράς.



Σχήμα 2.γ: Το μοντέλο αναφοράς του ATM

Από το σχήμα αυτό μπορούμε να διακρίνουμε τα εξής επίπεδα στο ATM:

- **User plane (Επίπεδο χρήστη)**

Το επίπεδο αυτό ασχολείται με την μεταφορά πληροφορίας των χρηστών (end-user) διαμέσου του δικτύου. Αυτό το επίπεδο έχει άμεσα σχέση με το ATM Layer και το Physical Layer, επίπεδα πολύ σημαντικά για να πραγματοποιήσουν το cell relay σε ένα ATM δίκτυο. Επιπλέον, ασχολείται και με το ATM Adaptation Layer και με το higher layer protocol.

- **Control plane (Επίπεδο ελέγχου)**

Φροντίζει για την ανταλλαγή πληροφορίας σηματοδοσίας μεταξύ ATM τελικών σημείων (αποστολέα και παραλήπτη ATM δεδομένων) ώστε να πραγματοποιηθούν οι ρυθμίσεις για την σύνδεση. Το Control Plane παρέχει επίσης λειτουργίες βασικές για τις υπηρεσίες μεταγωγής. Μετέχει στις διαδικασίες σηματοδοσίας και δρομολόγησης, που είναι απαραίτητες για την διευθέτηση (set-up), διαχείριση και την αποδέσμευση συνδέσεων τύπου SVCs (switched virtual connection) μεταξύ δύο σημείων στο δίκτυο. Ακόμα, το Control Plane μοιράζεται με το User Plane τις διευκολύνσεις που παρέχουν το ATM Layer και το Physical Layer.

- **Management Layer (Επίπεδο διαχείρισης)**  
Έχει λειτουργικό και διαχειριστικό χαρακτήρα και την δυνατότητα να ανταλλάσσει πληροφορία μεταξύ του user plane και control plane. Το management plane πραγματοποιεί δύο βασικές λειτουργίες:
  - 1) layer management, για συγκεκριμένες λειτουργίες όπως η ανίχνευση αποτυχίας και δυσλειτουργίας των πρωτοκόλλων στα layer
  - 2) plane management, για διαχείριση και συντονισμό όλων των λειτουργιών του ATM οικοδομήματος.
- **Higher Layer Applications and Protocols**  
Είναι τα επίπεδα πάνω από το ATM adaptation layer (AAL) που έχουν σχέση με συγκεκριμένες επικοινωνιακές εφαρμογές που οι χρήστες έχουν διαλέξει να αναπτύξουν στο δικτυακό περιβάλλον του ATM, όπως TCP/IP, OSI, Advanced Peer-to-Peer Networking APPN κ.α
- **ATM adaptation Layer (AAL)**  
Αυτό το επίπεδο τροποποιεί τα δεδομένα που έρχονται από τα παραπάνω επίπεδα σε ATM cell. Επίσης απομονώνει τα πρωτόκολλα των ανώτερων επιπέδων από τις διεργασίες του ATM.
- **ATM Layer**  
Αυτό το επίπεδο παρέχει την ATM cell relay υπηρεσία για το δίκτυο. Επίσης παραδίδει στο φυσικό επίπεδο τα ATM cell για την μεταφορά τους μέσα στο δίκτυο.
- **Physical Layer**  
Χρησιμοποιείται για να περνάει τα ATM cells που έρχονται από το ATM layer στο φυσικό μέσο μετάδοσης και ανάποδα ανάλογα με την κατεύθυνση της ροής της πληροφορίας.

Από τα επίπεδα που αναφέραμε, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν το επίπεδο ATM καθώς και το ATM Adaptation Layer. Γι'αυτό το λόγο θα αφιερώσουμε τα επόμενα δύο εδάφια στην μελέτη αυτών.

## **2.3 Το επίπεδο ATM**

Το ATM επίπεδο έχει σχεδιαστεί ώστε να κάνει το ATM δίκτυο πιο αξιόπιστο, πιο προσαρμοστικό και πιο φιλικό στο χρήστη από τους άλλους τύπους δικτύων. Ασχολείται με την μετάδοση δεδομένων μεταξύ δύο γειτονικών σημείων, φέρνει στη μορφή των 53-Bytes cell τα δεδομένα και καθορίζει το περιεχόμενο της κεφαλής του ATM cell.

Το ATM Layer εκτελεί τις εξής λειτουργίες:

- 1) Μεταβιβάζει τα εξερχόμενα ATM cells από το AAL στο φυσικό επίπεδο ώστε να μεταφερθούν μέσω του δικτύου στο τελικό ATM σημείο προορισμού.
- 2) Μεταβιβάζει τα εισερχόμενα ATM cells από το φυσικό επίπεδο στο AAL κάθε φορά που λαμβάνονται cells από ένα τελικό ATM σημείο “πηγή”.

Ουσιαστικά το ATM επίπεδο κάνει cell πολυπλεξία, δημιουργεί την κεφαλή του cell ή την απομακρύνει και μεταφράζει τις τιμές των VPI/VCI. Παρ'όλο που οι ATM λειτουργίες είναι γενικά ομοιόμορφες σ'όλο το δίκτυο ωστόσο εξαρτώνται από το εάν το ATM layer βρίσκεται εντός ενός ATM τελικού σημείου ή εντός ενός ATM switch. Για παράδειγμα, το ATM layer πρέπει να δημιουργήσει ή να απομακρύνει τις κεφαλές των ATM cells όταν πρόκειται για τελικό σημείο του δικτύου (δηλαδή σημείο προορισμού ή πηγής). Όταν όμως πρόκειται για μεταγωγέα το ATM layer πρέπει συγχρόνως να πολυπλέξει (multiplex/demultiplex) τα ATM cells που ανήκουν σε αρκετές διαφορετικές συνδέσεις και να εξετάσει τα VPI/VCI της κεφαλής ώστε να τα δρομολογήσει στον επόμενο προορισμό.

Σε ένα ATM τελικό σημείο πηγής, το ATM layer ανταλλάσσει μια ροή από cells με το φυσικό επίπεδο, εάν δεν έχει πληροφορία από τα ανώτερα επίπεδα να βάλει τότε εισάγει αδρανή cells ή κενά τα οποία χρειάζονται σύμφωνα με τις QoS (Quality of Service) παραμέτρους. Από τα cells τα οποία εισάγονται μέσω του φυσικού επιπέδου στο ATM επίπεδο, προωθούνται μόνο τα 48-Bytes ωφέλιμο φορτίο του cell στο AAL μαζί με κάποιες παραμέτρους όπως τη PTI (payload type indicator) εάν κατά την πορεία τους τα cells βρέθηκαν σε συνωστισμό και CLP (cell loss priority) εάν τα cells ακολουθούν κάποια κυκλοφοριακή πολιτική (leaky bucket algorithm).

Επίσης το ATM επίπεδο:

- 1) Παρέχει λειτουργίες διαχείρισης στη κυκλοφορία των cells.
- 2) Έχει μηχανισμούς για επαρκή buffering και αντιμετώπισης των κυκλοφοριακών συμφορήσεων.

Στη συνέχεια και στα πλαίσια ανάλυσης του επιπέδου ATM, παρουσιάζεται η δομή των κυψελίδων ATM και ο μηχανισμός δημιουργίας και μεταγωγής νοητών μονοπατιών και καναλιών στο ATM.

### 2.3.1 Το φυσικό επίπεδο του ATM .

Το φυσικό επίπεδο στο ATM περιλαμβάνει τέσσερις λειτουργίες: τα bits μετατρέπονται σε cells, ελέγχεται η μετάδοση και λήψη των bits πάνω στο φυσικό μέσο, ελέγχονται τα όρια του κάθε ATM cell και τα cells "συσκευάζονται" στους κατάλληλους τύπους frames για την μετάδοσή τους στο φυσικό μέσο.

Το φυσικό επίπεδο στο ATM διαιρείται σε δύο υποεπίπεδα, το Physical Medium-Dependent (PMD) υποεπίπεδο και το Transmission-Convergence (TC) υποεπίπεδο. Το PMD υποεπίπεδο υποστηρίζει δύο κρίσιμες λειτουργίες. Πρώτον, συγχρονίζει τη μετάδοση και τη λήψη στέλνοντας και λαμβάνοντας μια συνεχή ροή από bits που μεταφέρει πληροφορία χρονισμού. Δεύτερον, καθορίζει τα φυσικά μέσα για το μέσο μετάδοσης που χρησιμοποιείται, συμπεριλαμβανομένων των τύπων των καλωδίων και των συνδετήρων (connectors). Παραδείγματα για πρότυπα που υπάρχουν σχετικά με το φυσικό μέσο μετάδοσης περιλαμβάνουν το Synchronous Optical Network / Synchronous Digital Hierarchy (SONET/SDH), DS-3/E3, 155Mbps πάνω από πολύτροπη οπτική ίνα (MMF) χρησιμοποιώντας 8B/10B σχήματα κωδικοποίησης, και 155Mbps 8B/10B πάνω από Shielded Twisted - Pair (STP) καλωδίωση.

Το TC υποεπίπεδο υποστηρίζει τέσσερις λειτουργίες: Cell Delineation, Header Error-Control (HEC), Cell-Rate Decoupling και Transmission-Frame Adaptation.

Η λειτουργία του **Cell Delineation** είναι βασικά να διατηρεί τα όρια του cell επιτρέποντας στις συσκευές να εντοπίζουν cell, δηλαδή την αρχή και το τέλος τους, μέσα σε μία ακολουθία από bits. Η λειτουργία του **Header Error-Control(HEC)** είναι να παράγει και να ελέγχει τον κωδικό ελέγχου της ακεραιότητας του header και να επιβεβαιώνει την ορθότητα των δεδομένων. Το **Cell-Rate Decoupling** διατηρεί το συγχρονισμό και εισάγει ή αφαιρεί ανενεργά ATM cells ώστε να προσαρμόσει το ρυθμό μεταφοράς των έγκυρων ATM cells στην ωφέλιμη χωρητικότητα του συστήματος μετάδοσης. Η λειτουργία του **Transmission-Frame Adaptation** είναι να “συσκευάζει” ATM cells μέσα σε frames αποδεκτά από την συγκεκριμένη υλοποίηση στο φυσικό μέσο.

### 2.3.2 ATM cell

Το ATM cell αποτελεί το σημαντικότερο δομικό στοιχείο του ATM πρωτοκόλλου, καθώς είναι η βασική μονάδα μεταφοράς πληροφορίας. Όπως είπαμε και νωρίτερα, αποτελείται από 53 bytes από τα οποία τα 48 χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά πληροφορίας του χρήστη (user information), ενώ τα υπόλοιπα 5 bytes αποτελούν την κεφαλή (header) του ATM cell. Υπάρχουν δύο τυποποιημένες δομές για τις κυψελίδες του ATM, που αναφέρονται στην προσαρμογή χρήστη με δίκτυο (User to Network Interface - UNI) και δικτύου με δίκτυο (Network to Network Interface - NNI). Οι δομές αυτές, παρουσιάζουν διαφορές ως προς τον τρόπο δόμησης του header του ATM cell.

Τα πεδία που συνθέτουν το header στις δύο αυτές δομές cell είναι τα ακόλουθα :

#### 1) Πεδίο γενικού ελέγχου ροής (GFC)

Κύρια λειτουργία του είναι ο έλεγχος της πρόσβασης στο φυσικό μέσο (physical access control), ενώ μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την μείωση του cell jitter των υπηρεσιών σταθερού ρυθμού μετάδοσης (CBR), το δίκαιο καταμερισμό χωρητικότητας στις υπηρεσίες μεταβλητού ρυθμού μετάδοσης (VBR), καθώς και για τον έλεγχο της ροής πληροφορίας των τελευταίων.

#### 2) Κωδικοί Αναγνώρισης Νοητού Μονοπατιού και Κυκλώματος (VPI/VCI)

Τα δύο πεδία VPI και VCI αποτελούν το λεγόμενο πεδίο δρομολόγησης. Η δρομολόγηση μιας κυψελίδας γίνεται σύμφωνα με τις τιμές των πεδίων VPI και VCI, που υπάρχουν στην επικεφαλίδα της. Η διαδικασία δρομολόγησης περιλαμβάνει τη μετάφραση της τιμής VPI στους κόμβους μεταγωγής νοητών μονοπατιών και τη μετάφραση τόσο του VPI όσο και του VCI στους κόμβους μεταγωγής νοητών καναλιών. Σύμφωνα με τον αριθμό των δυαδικών ψηφίων των δύο πεδίων, το πεδίο VCI με τα 16 δυαδικά ψηφία του παρέχει την δυνατότητα υποστήριξης 216 νοητών καναλιών σε ένα νοητό μονοπάτι, 28 νοητών μονοπατιών σε ένα UNI και 212 νοητών μονοπατιών σε ένα NNI. Ορισμένες τιμές VPI/VCI έχουν κρατηθεί για ειδικές χρήσεις. Οι κωδικοί αναγνώρισης (αυτοποιητές) νοητού μονοπατιού (VPI) και νοητού κυκλώματος (VCI) έχουν μόνο τοπική σημασία και καθορίζουν τον προορισμό.

### 3) Τύπος πεδίου πληροφορίας (PT)

Ο "Τύπος πεδίου πληροφορίας" (PT) δείχνει εάν η κυψελίδα περιέχει δεδομένα χρήστη, δεδομένα σηματοδότησης ή λειτουργικές πληροφορίες. Στην παρούσα φάση αποτελείται από δύο δυαδικά ψηφία, αλλά στο άμεσο μέλλον θα επεκταθεί σε 3 με την προσθήκη του πεδίου RES που έχει κρατηθεί.

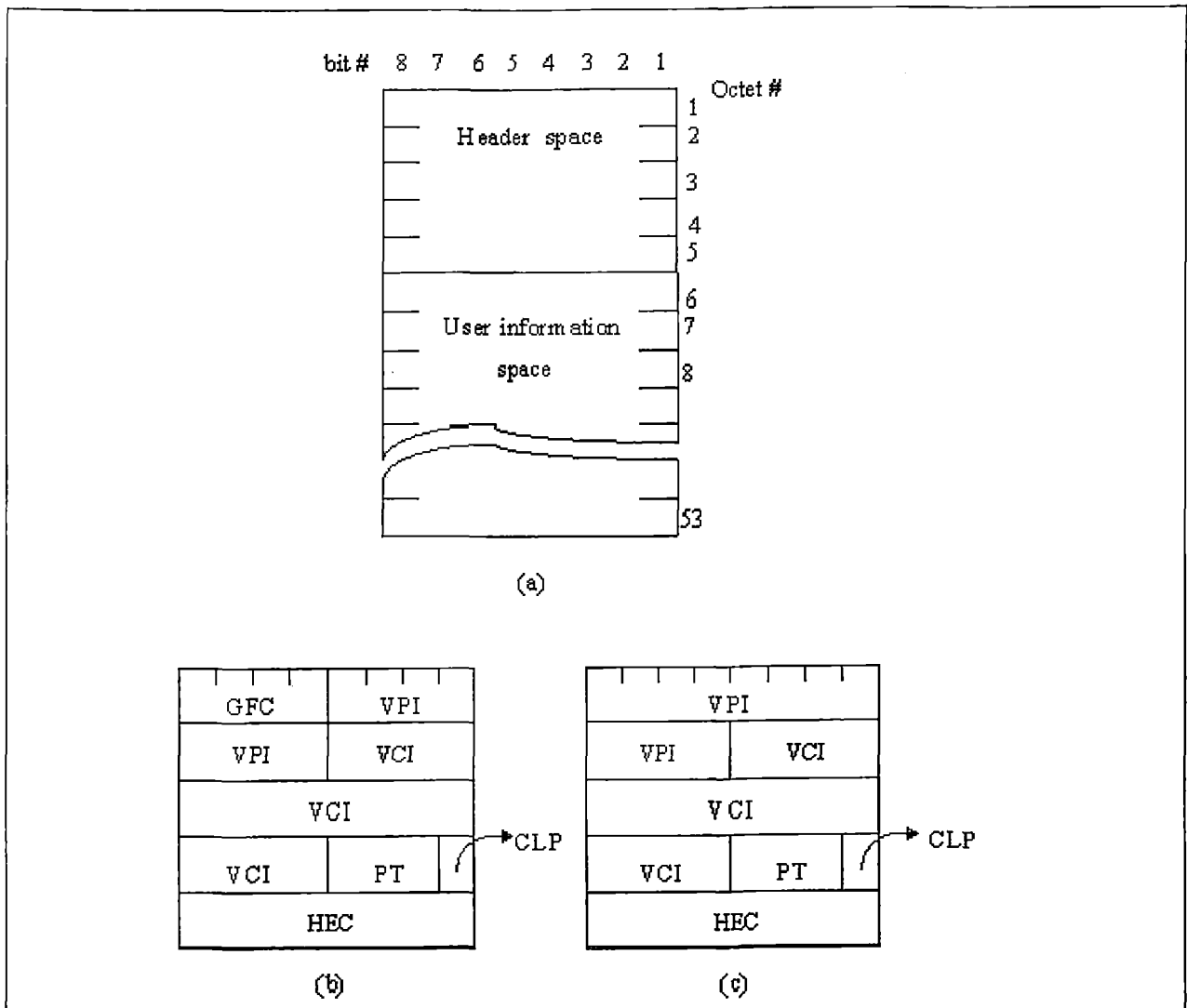
### 4) Προτεραιότητα Απώλειας Κελλιών (CLP)

Το δυαδικό ψηφίο "Προτεραιότητας απώλειας κυψελίδων" (CLP) καθορίζει τη σχετική προτεραιότητα της κυψελίδας. Σε περιπτώσεις συμφόρησης απορρίπτονται πρώτα κυψελίδες χαμηλότερης προτεραιότητας.

### 5) Έλεγχος Σφάλματος επικεφαλίδας (HEC)

Επειδή ο ρόλος της επικεφαλίδας είναι ιδιαίτερα κρίσιμος στην όλη διαδικασία, υπάρχει ιδιαίτερο πεδίο που ανιχνεύει και διορθώνει τυχόν λάθη της. Το πεδίο αυτό είναι γνωστό ως "έλεγχος σφάλματος επικεφαλίδας" (HEC). Σε αντίθεση με την επικεφαλίδα, το πεδίο πληροφορίας δεν υπόκειται σε διαδικασία ελέγχου και διόρθωσης λαθών. Το έργο αυτό ανατίθεται σε ανώτερα στρώματα.

Στο επόμενο σχήμα (σχήμα 2.δ), μπορείτε να δείτε την δομή του ATM cell, καθώς και την δομή του header για τις δύο διαφορετικές δομές των cells.



Σχήμα 2.δ:  
 ATM cell structure (a) header structure at UNI (b)  
 header structure at NNI ©

### 2.3.3 ATM Μεταγωγή

Η ATM τεχνολογία χρησιμοποιεί μια τεχνική μεταγωγής για δυναμική δρομολόγηση και μεταφορά του cell στο ATM δίκτυο. Αυτό γίνεται μέσα από την:

- 1) Εγκατάσταση υποθετικών καναλιών VC (virtual channel) και συνδέσεων υποθετικών καναλιών.
- 2) Εγκατάσταση υποθετικών διαδρομών VP (virtual paths) και συνδέσεων υποθετικών διαδρομών.
- 3) Εκτέλεση virtual channel και virtual path μεταγωγή.

Οι ATM τεχνικές μεταγωγής βασίζονται στα δύο πεδία που περιέχει η κεφαλή του ATM cell, δηλαδή στο VPI (Virtual Path Identifier) και VCI (Virtual Channel Identifier). Αυτά τα πεδία παρέχουν την απαραίτητη πληροφορία για τη δημιουργία της σύνδεσης και για τη δρομολόγηση δεδομένων έτσι ώστε τα ATM cells να μεταφέρονται διαμέσου αρκετών κόμβων του δικτύου στο τελικό προορισμό.

Ουσιαστικά το ATM λειτουργεί ως εξής:

1. Ένας μεταγωγέας διαβάζει ένα εισερχόμενο ATM cell που φτάνει σε μία συγκεκριμένη πόρτα και το οποίο έχει σταλεί από έναν άλλο μεταγωγέα του δικτύου. Το εισερχόμενο cell περιέχει πληροφορία δρομολόγησης στα δύο πεδία VCI και VPI.
2. Η συσκευή που δέχεται το cell χρησιμοποιεί το συνδυασμό της πόρτας εισόδου και της πληροφορία των VCI/VPI πεδίων για να καθορίσει ποια θα είναι η επόμενη πορεία του. Ο μεταγωγέας ενεργεί κατά αυτό το τρόπο με βάση τον εσωτερικό του πίνακα όπου περιέχονται οι αντιστοιχίες των ζευγών μεταξύ πορτών εισόδου-πεδία VCI/VPI και πορτών εξόδου-πεδία VPI/VCI.
3. Ο μεταγωγέας αντικαθιστά τα εισερχόμενα VCI/VPI με τα εξερχόμενα VCI/VPI και στέλνει το ATM cell μέσω της πόρτα εξόδου στην επόμενη συσκευή μεταγωγής. Δηλαδή κατά την έξοδο του από ένα μεταγωγέα, το cell έχει καινούργιες τιμές στα πεδία VCI/VPI που χρησιμοποιούνται για λόγους δρομολόγησης της επόμενης ATM σύνδεσης.
4. Ο επόμενος μεταγωγέας που δέχεται το cell το εξετάζει και κάνει την αντιστοίχιση μεταξύ των ζευγών μεταξύ πορτών εισόδου-πεδία VCI/VPI και πορτών εξόδου-πεδία VPI/VCI.
5. Η διαδικασία συνεχίζεται έως ότου το ATM cell φτάσει στο τελικό του προορισμό.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται αναλυτικά οι έννοιες του υποθετικού καναλιού, της υποθετικής σύνδεσης καναλιών, του υποθετικού μονοπατιού και της σύνδεσης υποθετικών μονοπατιών.

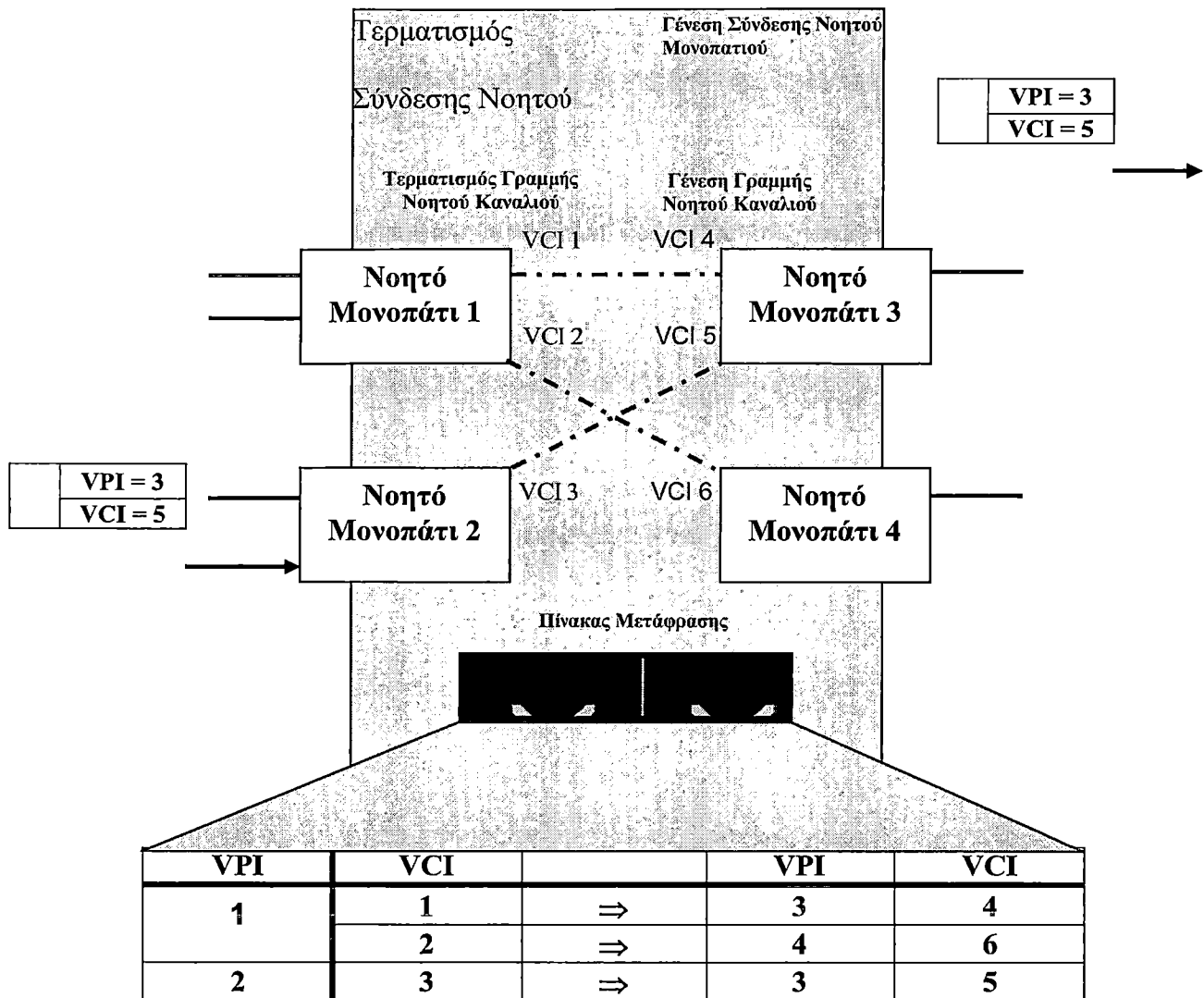
### **2.3.3.1 Νοητά κανάλια και συνδέσεις νοητών καναλιών**

#### **A. Νοητά κανάλια**

Επειδή η τεχνολογία ATM είναι connection-oriented καμία πληροφορία δεν μπορεί να μεταφερθεί από ένα τελικό σημείο σε ένα άλλο εάν πρώτα δεν έχει δημιουργηθεί μεταξύ τους σύνδεση. Το Virtual Channel (νοητό κανάλι ) είναι ένα λογικό κύκλωμα που εξασφαλίζει αξιόπιστη επικοινωνία μεταξύ δύο σημείων σ'ένα

ATM δίκτυο. Για τον προσδιορισμό ενός virtual channel απαιτείται τόσο το VPI όσο και το VCI πεδίο του εισερχόμενου cell, κι αυτό γιατί οι τιμές του VCI, που χρησιμοποιούνται σε ένα νοητό μονοπάτι, χρησιμοποιούνται και σε άλλα μονοπάτια. Κάθε φορά που ένα νοητό κανάλι μετάγεται, αποδίδεται μια συγκεκριμένη τιμή του ταυτοποιητή νοητού καναλιού. Οι τιμές VPI και VCI στην επικεφαλίδα μιας εισερχόμενης κυψελίδας αλλάζουν σύμφωνα με τον πίνακα μετάφρασης του κόμβου μεταγωγής. Στο επόμενο σχήμα μπορείτε να δείτε έναν τέτοιο πίνακα μετάφρασης.

## ΚΟΜΒΟΣ ΜΕΤΑΓΩΓΗΣ ΝΟΗΤΟΥ ΚΑΝΑΛΙΟΥ



Σχήμα 2.ε:  
Κόμβος μεταγωγής νοητού καναλιού

Ένας τέτοιος κόμβος μεταγωγής που λαμβάνει υπόψη του την τιμή του VCI ονομάζεται κόμβος μεταγωγής νοητών καναλιών (VC switching) ή χειριστής νοητών καναλιών (VC handler).

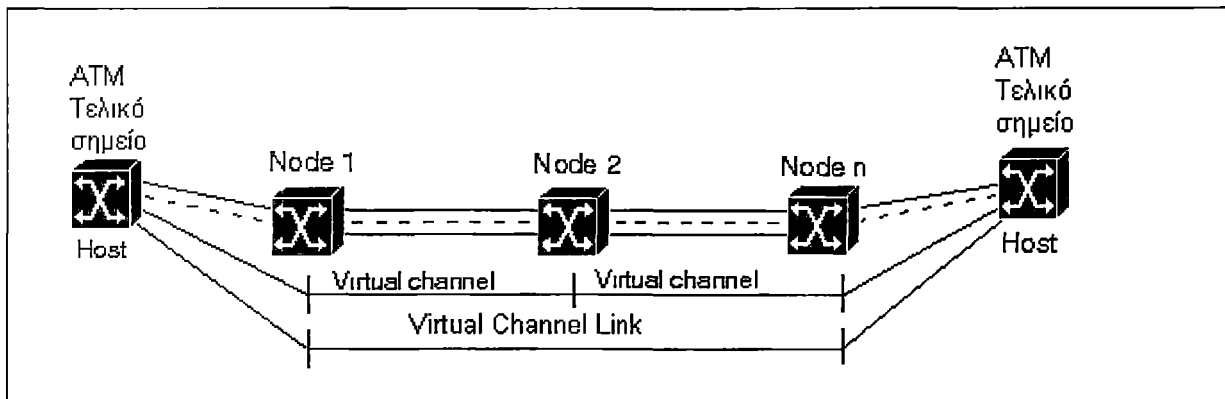
### B. Συνδέσεις Νοητών Καναλιών (VCL)

Τα VCC (Virtual Channel Connections) δημιουργούνται από τη συνένωση νοητών καναλιών (VCs) και έχουν τα άκρα τους στα σημεία εκείνα του δικτύου στα οποία το κομμάτι του cell που περιέχει την πληροφορία του χρήστη περνάει από το ATM επίπεδο στο AAL επίπεδο ή



αντίστροφα. Αυτού του είδους οι συνδέσεις γίνονται όταν χρειάζονται (on demand), γεγονός που είναι σύνηθες για υπηρεσία ATM μεταγωγής σε ένα ιδιωτικό δίκτυο. Στα δημόσια δίκτυα αυτές οι συνδέσεις έχουν προβλεφτεί ποιες θα είναι και συνήθως φτιάχνονται προκαταβολικά.

Όλη η επικοινωνία ανάμεσα σε δύο σημεία του δικτύου μπορεί να γίνει διαμέσου του VCL. Αυτού του είδους η σύνδεση προστατεύει την σειρά μεταξύ των ATM cells κατά την μεταφορά τους μεταξύ δύο τελικών σημείων και εγγυάται κάποιο βαθμό ποιοτικής υπηρεσίας QoS. Στο επόμενο σχήμα μπορείτε να δείτε ένα τέτοιο είδος σύνδεσης.

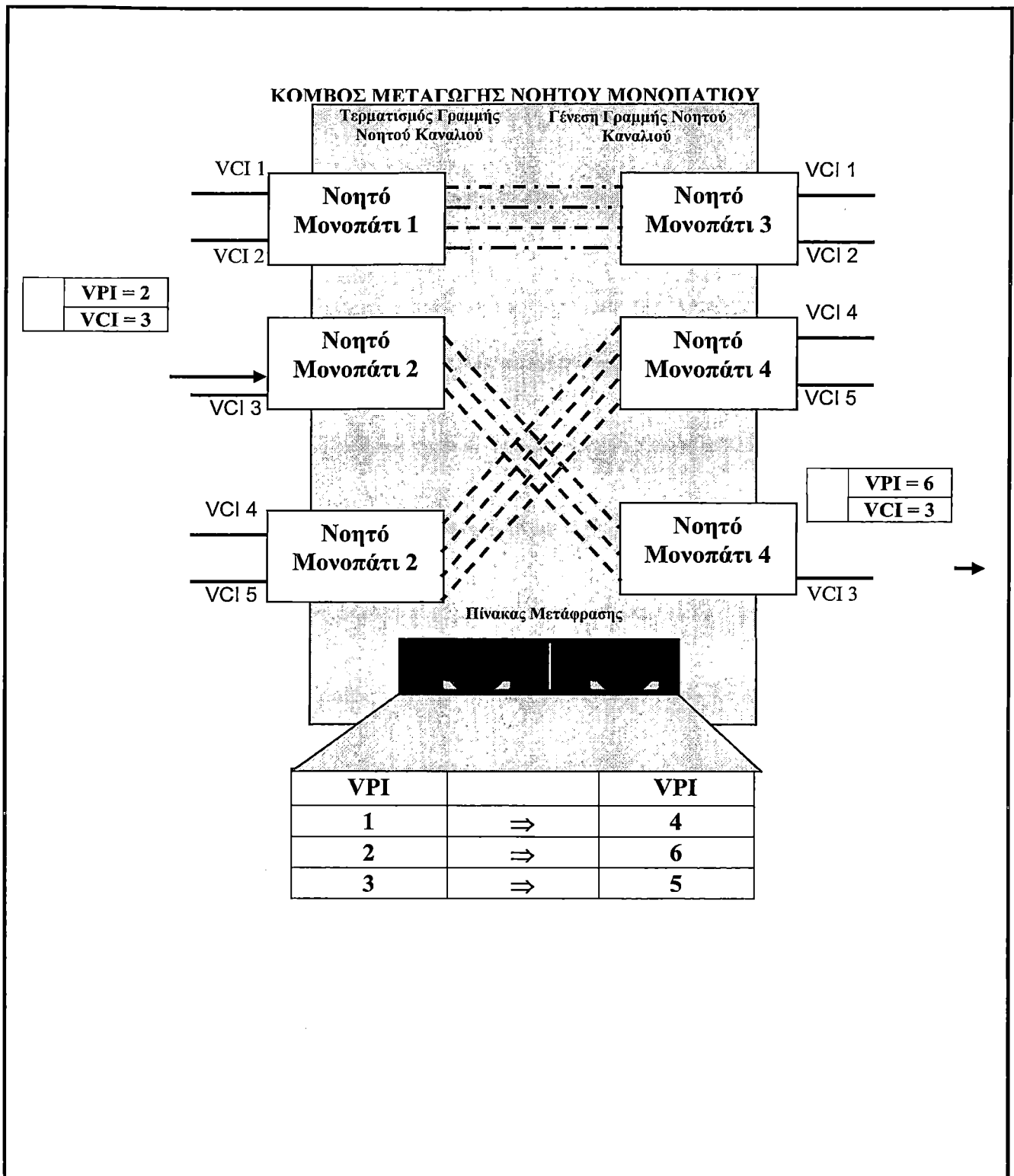


Σχήμα 2.στ:  
Τρόπος σύνδεσης σε ATM δίκτυα

### 2.3.3.2 Νοητά μονοπάτια και συνδέσεις νοητών μονοπατιών

#### A. Νοητά μονοπάτια

Ένα virtual path (VP) είναι μία δέσμη από virtual channels η οποία κατευθύνεται σ'ένα ATM τελικό σημείο. Το VP είναι σαν ένας αγωγός που περιέχει μία ομάδα από υποθετικές συνδέσεις μεταξύ δύο θέσεων του ATM δικτύου. Το VP προσδιορίζεται μόνο από το VPI πεδίο της κεφαλής του ATM cell, ενώ το VCI πεδίο αγνοείται. Νοητά κανάλια που μοιράζονται το ίδιο νοητό μονοπάτι έχουν την ίδια τιμή VPI. Κάθε φορά που ένα νοητό μονοπάτι μετάγεται στο δίκτυο, αποδίδεται μια συγκεκριμένη τιμή του VPI. Η τιμή VPI αλλάζει σύμφωνα με τον πίνακα μετάφρασης του κόμβου μεταγωγής. Ένας κόμβος μεταγωγής που λαμβάνει υπόψη του την τιμή του VPI ονομάζεται κόμβος μεταγωγής νοητών μονοπατιών ή χειριστής νοητών μονοπατιών ή κόμβος διασταυρούμενης σύνδεσης (cross-connect). Στο επόμενο σχήμα μπορείτε να δείτε ένα παράδειγμα πίνακα μετάφρασης κόμβου μεταγωγής.



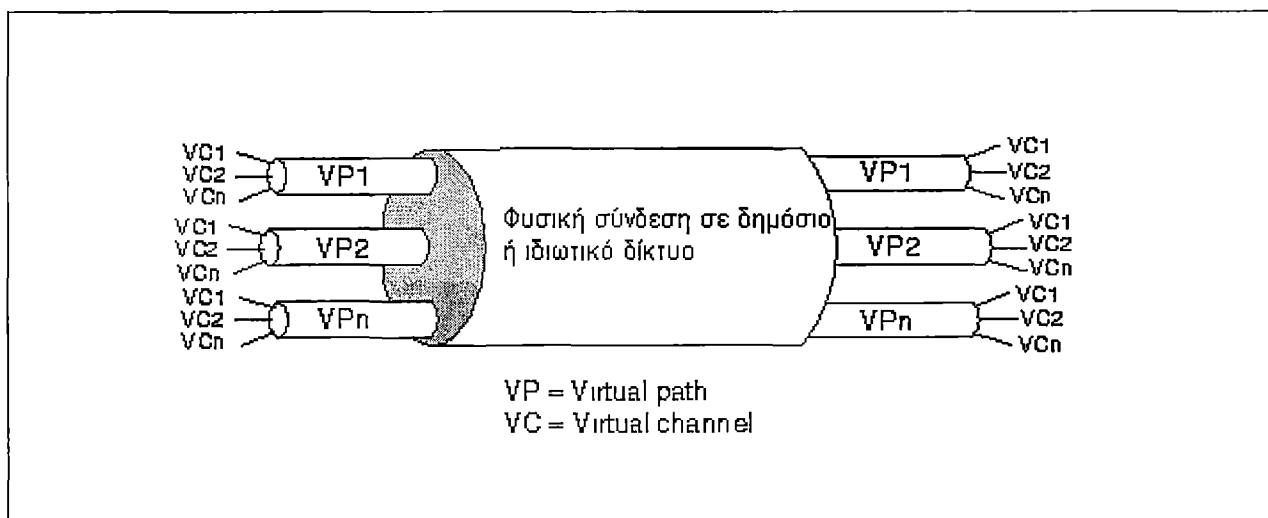
Σχήμα 2.ζ: Κόμβος μεταγωγής νοητού μονοπατιού

Δύο πλεονεκτήματα προέρχονται από τα VPs στο δίκτυο:

- Ο δικτυακός χρήστης (end-user) μπορεί να διαχειριστεί κάποια ATM cells με ένα αποκλειστικό τρόπο ανεξάρτητα του δικτυακού παροχέα υπηρεσιών (service provider).
- Στη περίπτωση που ο χρήστης μεταδίδει πληροφορία προς τον ίδιο προορισμό με την χρήση πολλών VCs, ο φόρτος του δικτύου μπορεί να μειωθεί εάν μεταφέρουμε αυτή την πληροφορία σε μία λογική μετάδοση παρά σε πολλές μεταδόσεις. Έτσι το VP εξαλείφει το βάρος της μεταγωγής των πολλών VCs.

Το πρακτικό κέρδος της χρήσης VPs σε ένα ATM δίκτυο είναι η δυνατότητα συσσώρευσης των cells πολλών χρηστών για μεταφορά στο δίκτυο μέσα από μία φυσική σύνδεση με σήμα υψηλού ρυθμού (high rate signal).

Έτσι τα VPs παρέχουν ένα αποτελεσματικό τρόπο μεταφοράς πληροφορίας που κατευθύνεται στον ίδιο προορισμό. Επίσης τα VPs είναι χρήσιμα για μετάδοση πληροφορίας που απαιτεί σταθερά QoS (καθόλη την διάρκεια -απόσταση).



**Σχήμα 2.η:**  
**Virtual Paths και Virtual Channels**

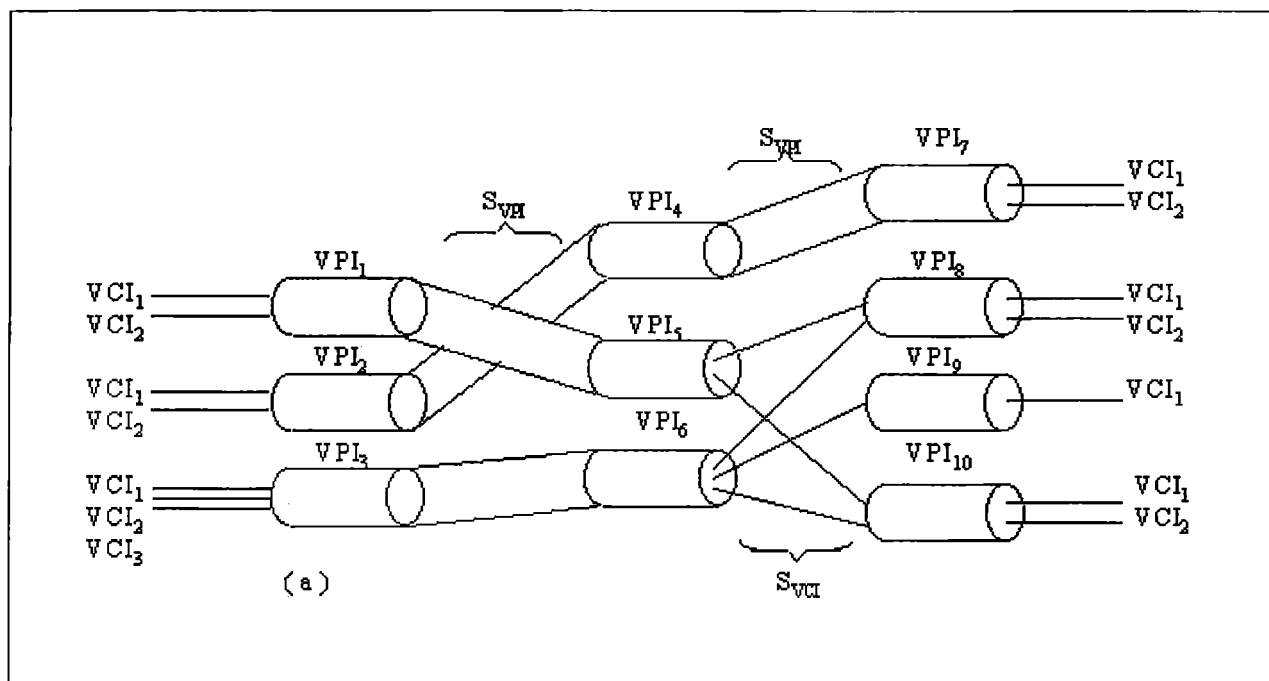
## **B. Συνδέσεις Νοητών Μονοπατιών (VPL)**

Οι συνδέσεις νοητών μονοπατιών (VPLs) δημιουργούνται από τη συνένωση νοητών μονοπατιών (VPs) και έχουν άκρα τους τα σημεία εκείνα που αποτελούν άκρα των VCLs αλλά και τα σημεία όπου τα νοητά κανάλια (VCs) του μονοπατιού οδηγούνται σε διαφορετικά νοητά μονοπάτια λόγω ύπαρξης μεταγωγέα νοητών καναλιών.

### **2.3.3.3 Σύννοψη**

Το ακόλουθο σχήμα (σχήμα 2.θ) παρουσιάζει με παραστατικό τρόπο όσα προαναφέρθηκαν. Τα νοητά κανάλια παραστώνται με ευθύγραμμα τμήματα και τα νοητά

μονοπάτια με κυλίνδρους. Φαίνεται για παράδειγμα ότι το νοητό μονοπάτι με αριθμό  $VPI_1$  αποτελείται από τα νοητά κανάλια με αριθμούς  $VCI_1$  και  $VCI_2$ . Επίσης, φαίνεται ότι ο αριθμός  $VCI_1$  δεν προσδιορίζει μονοσήμαντα ένα νοητό κανάλι, αφού υπάρχουν και άλλα νοητά μονοπάτια εκτός του  $VPI_1$  που έχουν νοητά κανάλια με αριθμό  $VCI_1$ . Για να προσδιορισθεί επομένως ένα νοητό κανάλι μονοσήμαντα πρέπει - όπως έχει ήδη αναφερθεί - να δοθεί και το νοητό μονοπάτι στο οποίο ανήκει. Το  $S_{VPI}$  συμβολίζει την ύπαρξη μεταγωγέα νοητών μονοπατιών (ο οποίος δεν αλλάζει τα  $VCI$  παρά μόνο τα  $VPI$ ) και το  $S_{VCI}$  συμβολίζει την ύπαρξη μεταγωγέα νοητών καναλιών (ο οποίος αλλάζει τόσο τα  $VCI$  όσο και τα  $VPI$ ). Τέλος, ως παράδειγμα σύνδεσης νοητών μονοπατιών (VPC) δίνεται η σύνδεση που αποτελείται από τα νοητά μονοπάτια  $VPI_1$ ,  $VPI_5$  και ως παράδειγμα σύνδεσης νοητών καναλιών (VCC) δίνεται η σύνδεση που αποτελείται από τα νοητά κανάλια  $VCI_2(VPI_1)$ ,  $VCI_2(VPI_5)$ ,  $VCI_1(VPI_{10})$ .



Σχήμα 2.θ: Ένα απλό παράδειγμα

## 2.4 Το επίπεδο προσαρμογής (AAL) του ATM

Το επίπεδο αυτό τοποθετείται μεταξύ του ATM layer και των ανώτερων επιπέδων. Είναι υπεύθυνο για την μετατροπή της πληροφορίας που προέρχεται από τον χρήστη (η οποία παρουσιάζει μεγάλη ποικιλία στην μορφή της) σε μια μορφή που είναι αποδεκτή από το ATM επίπεδο. Ασχολείται δηλαδή με την μετατροπή της πληροφορίας που έρχεται από τον χρήστη σε 48άδες από bytes που στην συνέχεια θα σχηματίσουν τα ATM cells. Εκτός όμως από την παραπάνω μετατροπή, το AAL επίπεδο ασχολείται και με:

- την ανίχνευση και την διόρθωση των λαθών μετάδοσης.
- την επεξεργασία των χαμένων, λανθασμένων και με λάθη στο header cells.
- την αποστολή και την αξιοποίηση πληροφορίας συγχρονισμού.

- τον έλεγχο ροής πληροφορίας για την εξασφάλιση της απαιτούμενης ποιότητας υπηρεσίας (QoS).

### 2.4.1 Υπηρεσίες του AAL

Υπάρχουν διάφοροι τύποι AAL. Οι υπηρεσίες που παρέχουν οι τύποι αυτοί εξαρτώνται από τα ανώτερα επίπεδα και τις εφαρμογές των χρηστών. Δηλαδή κάθε τύπος του AAL παρέχει συγκεκριμένες υπηρεσίες για συγκεκριμένη κλάση διακίνησης πληροφορίας (Class). Τα χαρακτηριστικά με βάση τα οποία γίνεται ο διαχωρισμός των υπηρεσιών σε κλάσεις είναι τα εξής :

#### α) Χρονική σχέση των δύο επικοινωνούντων σημείων

Μερικές ATM μεταδόσεις απαιτούν κάποια χρονική σχέση μεταξύ των επικοινωνούντων σημείων. Για παράδειγμα στη 64-Kbps PCM μετάδοση φωνής υπάρχει μία συγκεκριμένη χρονική σχέση μεταξύ της πηγής της πληροφορίας και του προορισμού, με αποτέλεσμα την άμεση μετάδοση πληροφορίας (real time). Αντιθέτως η απλή μεταφορά δεδομένων μεταξύ δύο χρηστών ενός δικτύου δεν βασίζεται σε ειδική χρονική σχέση.

#### β) Bit rate

Μερικές υπηρεσίες μετάδοσης παρέχουν σταθερό bit rate, ενώ άλλες παρέχουν μεταβλητό.

#### γ) Τρόπος σύνδεσης (Connection Mode)

Η μετάδοση είναι είτε connection oriented είτε connectionless.

- Στον επόμενο πίνακα μπορείτε να δείτε την αντιστοίχιση ανάμεσα στις κλάσεις πληροφορίες και τους διάφορους τύπους AAL

	Κλάση A	Κλάση B	Κλάση C	Κλάση D
Συγχρονισμός	Απαιτείται		Δεν απαιτείται	
Ροή Bit	Σταθερή	Μεταβλητή		
Σύνδεση	Προσανατολισμός στη σύνδεση			Ασύνδετη
Πρωτόκολλο	AAL1	AAL2	AAL <sup>3/4</sup> AAL 5	AAL <sup>3/4</sup>

Ας δούμε τώρα όμως λίγο πιο αναλυτικά τα χαρακτηριστικά της κάθε κλάσης.

#### 2.4.1.1 Class A

Παρέχει circuit emulation και υπηρεσίες video με σταθερό bit rate που ξεκινά από μερικά kilobits και φτάνει στα 10 megabits. Αυτή η υπηρεσία στηρίζεται σε συνεχές αναλογικό σήμα.

#### 2.4.1.2 Class B

Παρέχει υπηρεσίες μετάδοσης φωνής/video έχοντας μεταβλητό bit rate. Υπάρχει συγχρονισμός μεταξύ αποστολέα και παραλήπτη στη μετάδοση δεδομένων.

#### **2.4.1.3 Class C**

Παρέχει point-to-point ή point-to-multipoint ATM cell relay, κάνοντας συνδέσεις “on the fly” μεταξύ αποστολέα-παραλήπτη. Διαχειρίζεται διαφορετικά είδη πληροφορίας (data, voice, video) την οποία μέσω των ATM cell μεταφέρει σε δίκτυα LAN-WAN. Έχει απώλεια σε δεδομένα (data loss) αλλά δεν υπάρχει καθυστέρηση.

#### **2.4.1.4 Class D**

Παρέχει πολύ υψηλών ταχυτήτων μεταγωγή πακέτων, υπηρεσίες μετάδοσης (LAN) ή Frame Relay (WAN) στις οποίες τα packets/frames φέρουν την απαραίτητη πληροφορία διευθυνσιοδότησης για την αποστολή στο προορισμό τους χωρίς προηγούμενος να πραγματοποιηθούν συνδέσεις μεταξύ αποστολέα και παραλήπτη.

#### **2.4.1.5 Class X**

Υπηρεσία μεταβλητού ρυθμού δυαδικών ψηφίων (VBR), χωρίς απαίτηση χρονισμού μεταξύ των δύο άκρων που επικοινωνούν, μπορεί να είναι προσανατολισμένη προς τη σύνδεση ή χωρίς σύνδεση.

#### **2.4.1.6 Class Y**

Η κλάση αυτή υπηρεσίας εισήχθη με σκοπό να επιτρέψει την πιθανή αλλαγή των χαρακτηριστικών μεταφοράς του επιπέδου ATM, που παρέχονται από το δίκτυο, μετά την εγκατάσταση της σύνδεσης. Η κλάση Y παρέχει την δυνατότητα υποστήριξης στα δίκτυα ATM, κίνησης που μεταβάλλεται χρονικά.

### **2.4.2 Υποεπίπεδα του AAL**

Όπως είδαμε και στην περιγραφή του ATM μοντέλου αναφοράς, στο AAL επίπεδο μπορούμε να διακρίνουμε δύο υποεπίπεδα. Τα υποεπίπεδα αυτά είναι τα εξής:

- Το υποεπίπεδο σύγκλισης παρέχει λειτουργίες που υποστηρίζουν ορισμένες εφαρμογές που χρησιμοποιούν το επίπεδο προσαρμογής. Κάθε χρήστης του επιπέδου συνδέεται με το επίπεδο στο σημείο πρόσβασης που είναι απλά η διεύθυνση της εφαρμογής. Το υποεπίπεδο αυτό είναι λοιπόν εξαρτημένο από την υπηρεσία.
- Το υποεπίπεδο αυτό είναι υπεύθυνο για την συλλογή της πληροφορίας από το υποεπίπεδο σύγκλισης σε κυψελίδες για εκπομπή και να ανασυνθέτει την πληροφορία στο άλλο άκρο. Το επίπεδο ATM περιλαμβάνει κυψελίδες που αποτελούνται από 5-bytes επικεφαλίδα και 48-bytes στο πεδίο πληροφορίας. Άρα το υποεπίπεδο κατακερματισμού και ανασύνθεσης πρέπει να μαζεύει τις επικεφαλίδες του και ό,τι ακολουθεί μαζί με την πληροφορία σύγκλισης σε μπλοκ των 48-bytes.

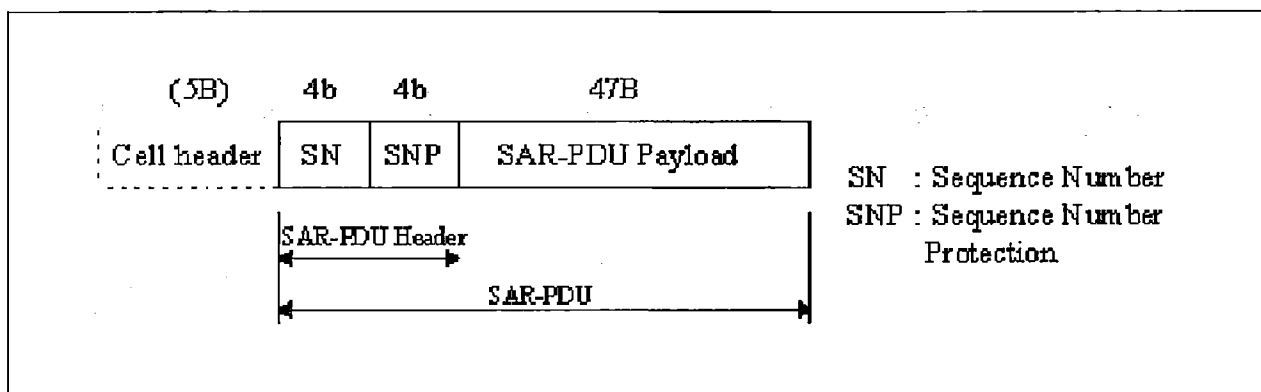
### 2.4.3 Τύποι του AAL

Όπως αναφεράμε και παραπάνω, υπάρχουν διάφοροι τύποι AAL. Στην συνέχεια περιγράφουμε αυτούς τους τύπους AAL.

#### 2.4.3.1 AAL1

- SAR Υποεπίπεδο

Η λειτουργία του AAL-1 SAR υποεπιπέδου είναι να τεμαχίζει τις CS-PDUs, να προσθέτει ένα header και να στέλνει τις SAR-PDUs που προκύπτουν στο ATM επίπεδο, καθώς και να εκτελεί την αντίστροφη διαδικασία . Το μέγεθος του ωφέλιμου φορτίου (payload space) της SAR-PDU είναι 47 bytes. Στο επόμενο σχήμα (σχήμα 2.1) μπορείτε την δομή του SAR-PDU.



Σχήμα 2.1 : Η δομή της SAR-PDU

Το μέγεθος του ωφέλιμου φορτίου (payload space) της SAR-PDU είναι 47 bytes. Το πεδίο αύξοντα αριθμού (SN) χρησιμεύει για ανίχνευση χαμένων cells (cell loss) και ανίχνευση cells που έχουν προστεθεί ενδιάμεσα (cell insertion), ενώ το πεδίο προστασίας αύξοντα αριθμού (SNP) χρησιμεύει στην προστασία του SN από λάθη . Τέλος , το πεδίο αύξοντα αριθμού περιέχει ένα bit που δηλώνει την παρουσία ή την μη παρουσία της CS λειτουργίας (CSI bit -CS Indication bit).

- CS Υποεπίπεδο

Οι λειτουργίες του AAL-1 CS υποεπιπέδου περιλαμβάνουν τη διόρθωση λαθών για σήματα βίντεο και ήχου υψηλής ποιότητας και ανάλογα με την υπηρεσία , την αποστολή πληροφορίας σχετικής με συγχρονισμό (μέσα από την CS-PDU) και την αξιοποίηση αυτής της πληροφορίας μέσω μεθόδων όπως η εποπτεία της πλήρωσης του buffer. Τέλος, ασχολείται και με την περίπτωση χαμένων και με λάθη στο header cells (lost and misinserted cells).

#### 2.4.3.2 AAL2

- SAR Υποεπίπεδο

Η λειτουργία του AAL-2 SAR υποεπιπέδου είναι να τεμαχίζει τις CS-PDUs,

να προσθέτει έναν header και ένα trailer και να στέλνει τις SAR- PDUs που προκύπτουν στο ATM επίπεδο, καθώς και να εκτελεί την αντίστροφη διαδικασία . Αφού το AAL-2 επίπεδο υποστηρίζει υπηρεσίες πραγματικού χρόνου (real-time) όπως και το AAL-1 επίπεδο, η δομή της AAL-2 SAR-PDU θα είναι παρόμοια με τη δομή της AAL-1 SAR-PDU.

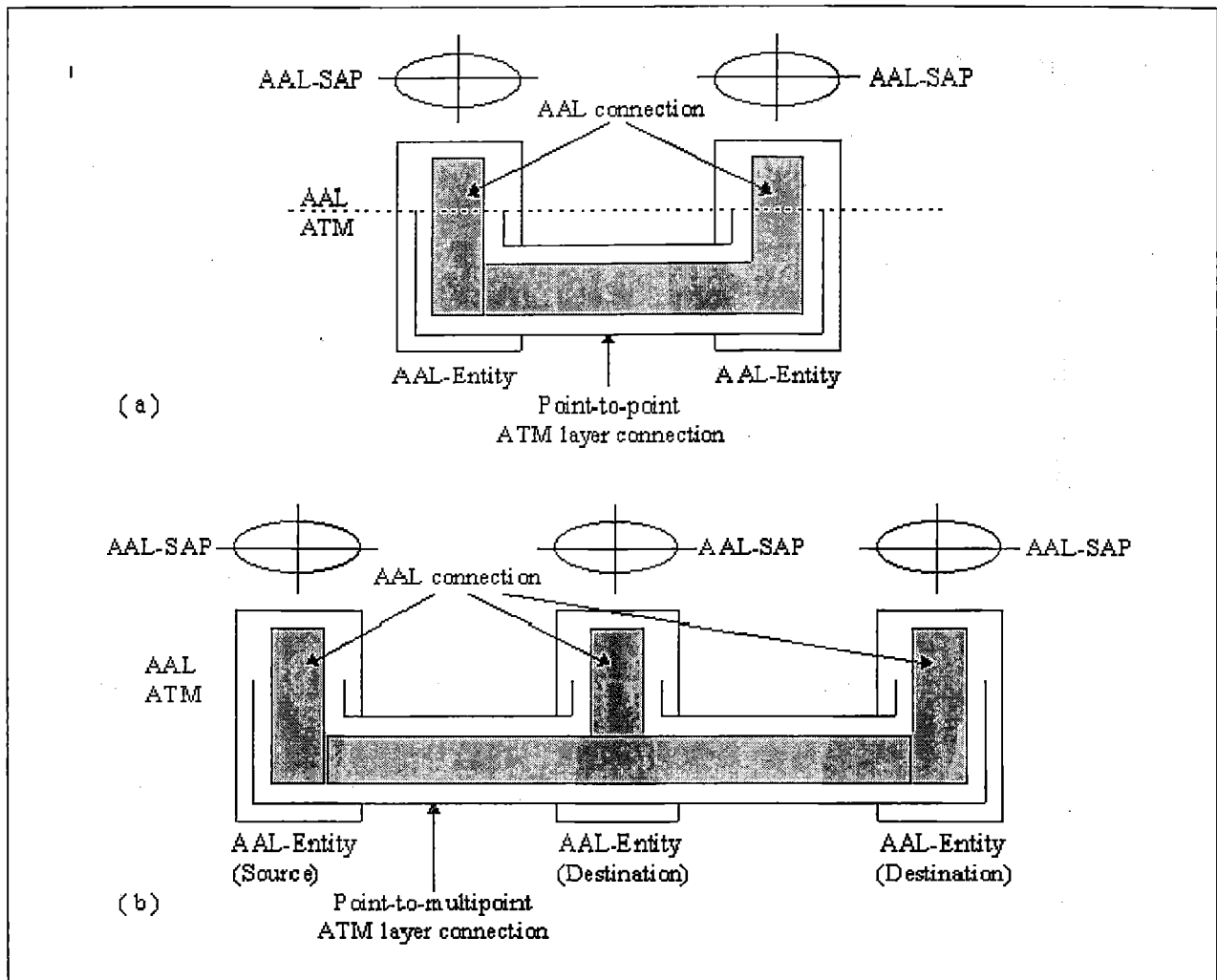
- CS Υποεπίπεδο

Το υποεπίπεδο αυτό, όπως και το AAL-1 CS υποεπίπεδο, παρέχει λειτουργίες διόρθωσης λαθών για σήματα βίντεο και ήχου και λειτουργίες αντιμετώπισης απωλειών cells ή ύπαρξης λαθών στο header (lost and misinserted cells). Όμως, από τις πιο σημαντικές λειτουργίες του (από τη στιγμή που τα σήματα που επεξεργάζεται το AAL-2 υποεπίπεδο είναι σήματα μεταβλητού ρυθμού), είναι η αποστολή πληροφορίας σχετικής με το συγχρονισμό πηγής και δέκτη, καθώς και η αξιοποίηση αυτής της πληροφορίας για την επίτευξη συγχρονισμού. Για παράδειγμα, μπορεί να εισαχθεί στην CS-PDU πληροφορία αυτού του είδους με τη μορφή ενός αριθμού TS (Time Stamp) ή μιας λέξης συγχρονισμού πραγματικού χρόνου (real-time synchronization word), χωρίς όμως να είναι αυτές οι μόνες μέθοδοι που μπορούν να χρησιμοποιηθούν.

### 2.4.3.3 AAL3/4

Οι υπηρεσίες που υποστηρίζονται από το AAL-3 επίπεδο χωρίζονται σε υπηρεσίες τύπου μηνύματος (message-mode) και τύπου ροής (streaming-mode). Στις πρώτες, μια AAL-SDU περνάει μέσα από τον AAL προσαρμογέα (AAL interface) με ακριβώς μία μονάδα πληροφορίας προσαρμογέα (AAL-IDU –AAL Interface Data Unit), ενώ στις δεύτερες περνάει με μία ή και με περισσότερες AAL-IDUs. Και οι δύο παραπάνω τύποι υποστηρίζουν τόσο τον βέβαιο όσο και τον αβέβαιο τρόπο λειτουργίας (assured/nonassured operation). Στον βέβαιο τρόπο λειτουργίας, όλες οι SDU μεταδίδονται επακριβώς με τη σειρά με την οποία λαμβάνονται από το ATM επίπεδο, τα χαμένα και τα φθαρμένα (corrupted) cells αναμεταδίδονται, ενώ ο έλεγχος ροής (flow control) αποτελεί αναπόσπαστη λειτουργία. Ο βέβαιος τρόπος λειτουργίας εφαρμόζεται μόνο σε συνδέσεις του ATM επιπέδου από σημείο σε σημείο (point to point ATM layer connections). Στον αβέβαιο τρόπο λειτουργίας, τα χαμένα και τα φθαρμένα (corrupted) cells δεν αναμεταδίδονται . Όταν παρουσιασθεί ανάγκη, οι φθαρμένες SDUs μεταφέρονται σε ανώτερα επίπεδα, ενώ ο έλεγχος ροής παρέχεται για συνδέσεις από σημείο σε σημείο και όχι για συνδέσεις από σημείο σε πολλά σημεία. Επιπλέον, το AAL3/4 επίπεδο παρέχει τη δυνατότητα να μεταφέρονται οι AAL-SDUs από ένα AAL-SAP (AAL Service Access Point) σε ένα AAL-SAP, ή από ένα AAL-SAP σε πολλά AAL-SAPs. Οι σχέσεις αυτές φαίνονται στο επόμενο σχήμα (σχήμα 2.1α).





Σχήμα 2.1α:  
Point to Point και Point to Multipoint Συνδέσεις

Κατά τη μεταφορά των AAL-SDUs, οι χρήστες έχουν τη δυνατότητα να διαλέξουν εκείνο το AAL-SAP που ικανοποιεί τις απαιτήσεις τους όσον αφορά την ποιότητα της παρεχόμενης υπηρεσίας.

- SAR Υποεπίπεδο

Η λειτουργία του AAL3/4 SAR υποεπιπέδου είναι να λαμβάνει από το CS υποεπίπεδο τις μεταβλητού μήκους CS-PDUs, να τις τεμαχίζει, να προσθέτει ένα header και ένα trailer και να στέλνει τις SAR-PDUs που προκύπτουν στο ATM επίπεδο, καθώς και να εκτελεί την αντίστροφη διαδικασία.

- CS Υποεπίπεδο

Το AAL3/4 CS υποεπίπεδο χωρίζεται σε CPCS (Common Part Convergence Sublayer) και SSCS (Service Specific Convergence Sublayer) κομμάτια. Οι λειτουργίες του AAL3/4 CS υποεπιπέδου περιλαμβάνουν τη διάφανη μετάδοση (transparent delivery) των AAL-SDUs, τη δρομολόγηση των AAL-SAPs (AAL Service Access Points) στις κατάλληλες συνδέσεις του ATM επιπέδου, την ανίχνευση και διόρθωση λαθών, τον τεμαχισμό και την επανα-συναρμολόγηση των μηνυμάτων,

τη δέσμευση χώρου στον buffer του δέκτη (buffer allocation), καθώς και άλλες ειδικές λειτουργίες σχετικές με τις υπηρεσίες κλάσης C, τον τεμαχισμό και την επανασυναρμολόγηση των μηνυμάτων, τη δέσμευση χώρου στον buffer του δέκτη (buffer allocation), την ανίχνευση και διόρθωση λαθών καθώς και τη δρομολόγηση των AAL-SAPs στις κατάλληλες συνδέσεις του ATM επιπέδου (mapping between ATM-SAPs and the ATM layer connections).

#### 2.4.3.4 AAL5

Το AAL5 είναι ένα απλούστερο σε υλοποίηση «lightweight» επίπεδο, το οποίο όμως υποστηρίζει VBR, connectionless και connection-oriented. Σχεδόν όλα τα υπόλοιπα πρωτόκολλα χρησιμοποιούν το AAL5 και όχι το AAL3/4 (LAN, IP). Αποτελείται και αυτό από 1 SAR sublayer το οποίο απλά ανιχνεύει το τέλος μιας ακολουθίας cells και 1 CPCS (Common Part Convergence Sublayer).

Το AAL5 εισάχθηκε για να:

1. Μειώσει τον επιπλέον χρόνο επεξεργασίας πρωτοκόλλων.
2. Μειώσει τον επιπλέον χρόνο εκπομπής
3. Διασφαλίσει προσαρμοστικότητα στα υπάρχοντα πρωτόκολλα μεταφοράς.

- CS Υποεπίπεδο

Για να καταλάβει κανείς το AAL 5 ξεκινά από το υποεπίπεδο σύγκλισης. Η μονάδα δεδομένων περιλαμβάνει ένα trailer με τα ακόλουθα πεδία:

- Ένδειξη από χρήστη σε χρήστη (1 byte). Χρησιμοποιείται για να μεταφέρει πληροφορία από χρήστη σε χρήστη.
- Έλεγχος λαθών CRC (4 bytes). Χρησιμοποιείται για την ανίχνευση λαθών στη μονάδα δεδομένων.
- Ένδειξη κοινού μέρους (1 byte). Υποδεικνύει τη μετατροπή των εναπομενόντων πεδίων του trailer της μονάδας δεδομένων. Προς το παρόν μόνο ενός είδους μετατροπή είναι ορισμένη.
- Μήκος (2 bytes). Το μήκος του ωφέλιμου φορτίου της μονάδας δεδομένων του υποεπιπέδου σύγκλισης.

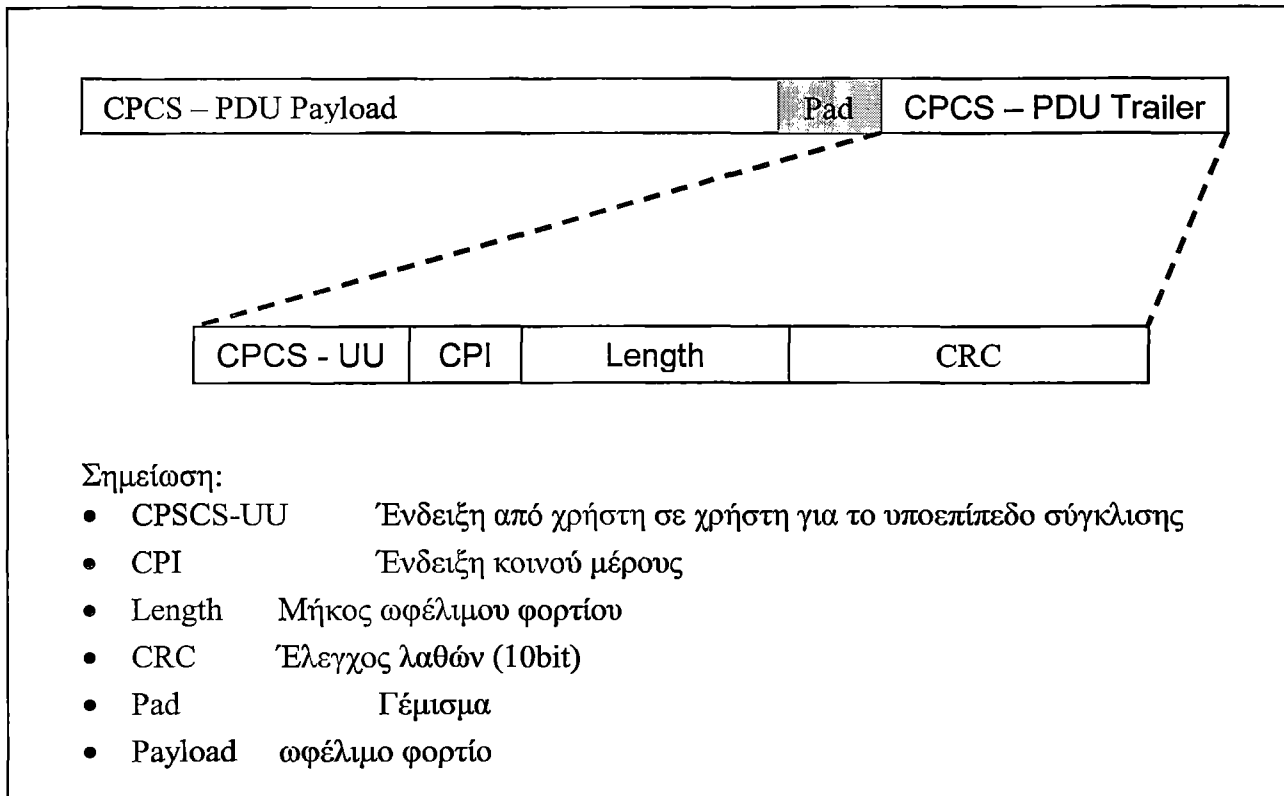
Το ωφέλιμο φορτίο από το παραπάνω επίπεδο προσγεμίζεται ώστε η μονάδα δεδομένων του υποεπιπέδου σύγκλισης να είναι πολλαπλάσια 48 bytes.

- SAR Υποεπίπεδο

Η μονάδα δεδομένων του υποεπιπέδου κατακερματισμού και ανασύνθεσης περιλαμβάνει μόνο 48 bytes ωφέλιμου φορτίου. Η απουσία επιπλέον φόρτου του πρωτοκόλλου έχει τα εξής αποτελέσματα:

- Επειδή δεν υπάρχει καμία ακολουθία αριθμών, ο αποδέκτης πρέπει να υποθέσει ότι όλα τα πακέτα δεδομένων του υποεπιπέδου κατακερματισμού και ανασύνθεσης τα αποδέχεται στη σωστή σειρά για ανασύνθεση. Το πεδίο CRC χρησιμοποιείται για αυτόν ακριβώς το λόγο.
- Η απουσία του πεδίου αναγνώρισης πολυπλεξίας σημαίνει ότι δεν είναι δυνατόν να παρεμβάλει κανείς κυψελίδες από διαφορετικά πακέτα δεδομένων του υποεπιπέδου σύγκλισης. Για το λόγο αυτό κάθε νέο πακέτο δεδομένων ανασύνθεσης περιέχει ένα μέρος του τρέχοντος πακέτου δεδομένων του

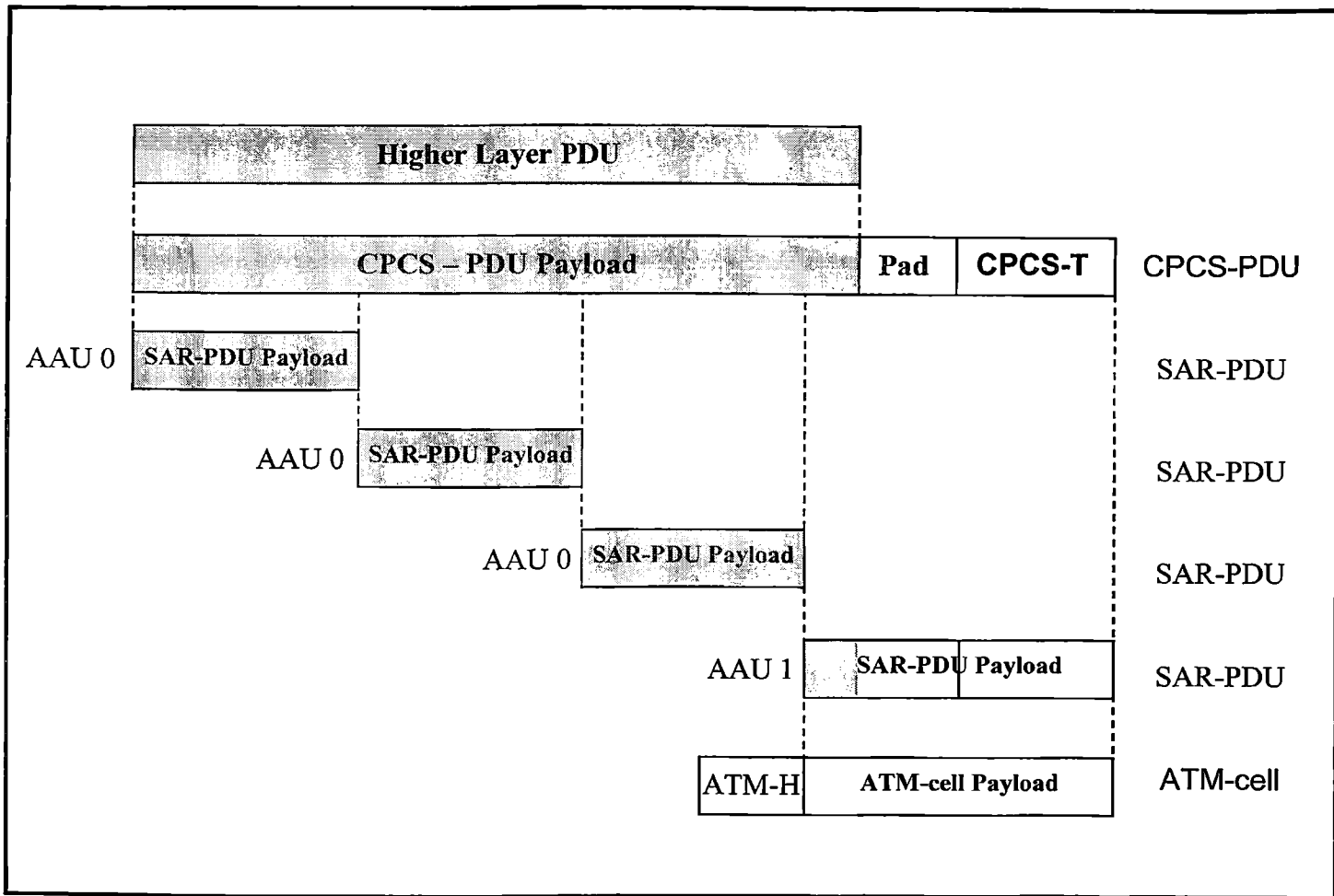
υποεπιπέδου σύγκλισης ή το πρώτο μπλοκ του επόμενου. Για να μπορεί να διαχωρίζει τις δύο αυτές περιπτώσεις το ATM πεδίο με την ένδειξη από χρήστη σε χρήστη χρησιμοποιείται. Ένα πακέτο δεδομένων σύγκλισης περιλαμβάνει μηδέν ή περισσότερα συνεχόμενα πακέτα δεδομένων ανασύνθεσης με το πεδίο ένδειξης χρήστη σε χρήστη στο μηδέν ακολουθούμενο αμέσως από ένα πακέτο δεδομένων ανασύνθεσης με το ίδιο πεδίο ορισμένο στο ένα.



**Σχήμα 2.1β:**  
**Πακέτο δεδομένων υποεπιπέδου**  
**σύγκλισης για Τύπο 5**

Η απουσία ενός πεδίου ένδειξης μήκους σημαίνει ότι δεν υπάρχει τρόπος ώστε το υποεπίπεδο ανασύνθεσης κατακερματισμού να διακρίνει τις bytes του πακέτου δεδομένων σύγκλισης που είναι ενσωματωμένες στο τελευταίο πακέτο δεδομένων ανασύνθεσης. Για το λόγο αυτό δεν υπάρχει τρόπος για το υποεπίπεδο κατακερματισμού και ανασύνθεσης να βρει το trailer του πακέτου δεδομένων σύγκλισης στο τελευταίο πακέτο δεδομένων ανασύνθεσης. Για την αποφυγή αυτής της κατάστασης χρειάζεται το ωφέλιμο φορτίο του πακέτου δεδομένων σύγκλισης να παραγεμιστεί ώστε το τελευταίο bit του trailer του πακέτου δεδομένων σύγκλισης να έρχεται ως τελευταίο bit του τελευταίου πακέτου δεδομένων ανασύνθεσης. Το παρακάτω σχήμα, σχήμα ιδ παρουσιάζει ένα παράδειγμα μετάδοσης με πρωτόκολλο τύπου 5 Το πακέτο δεδομένων σύγκλισης περιλαμβανομένου και του

παραγεμίσματος και του trailer χωρίζεται σε μπλοκ 48 bytes. Κάθε μπλοκ μεταδίδεται σε μία ATM κυψελίδα.



Σχήμα γ

# Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup> : Μηχανισμοί ελέγχου

## 3.1 Οι Έλεγχοι ως τρόπος διασφάλισης Ποιότητας Υπηρεσιών

Οι απαιτήσεις ποιότητας υπηρεσιών του B-ISDN παρουσιάζουν σημαντική ποικιλία. Κάποιες υπηρεσίες είναι ευαίσθητες στις καθυστερήσεις, άλλες είναι ευαίσθητες στις απώλειες, ενώ κάποιες άλλες στη διακύμανση της καθυστέρησης (delay variation, jitter). Για το λόγο αυτό η παρεχόμενη ποιότητα υπηρεσίας (QoS-Quality of service) γίνεται ένα όλο και πιο σημαντικό θέμα στον τομέα των τηλεπικοινωνιών.

Με τον όρο ποιότητα υπηρεσίας (QoS) εννοούμε τον βαθμό ικανοποίησης του χρήστη για μια υπηρεσία, όπως αυτός διαμορφώθηκε από την απόδοση της υπηρεσίας σε όλη τη διάρκειά της. Η ποιότητα υπηρεσίας είναι ένα σημαντικό θέμα για τα ATM δίκτυα, εξαιτίας του ότι χρησιμοποιούνται για μεταφορά πληροφορίας σε πραγματικό χρόνο όπως ο ήχος και το βίντεο. Όταν ένα νοητό κύκλωμα εγκαθίσταται, τότε το στρώμα μεταφοράς και το ATM στρώμα πρέπει να συμφωνήσουν σε ένα συμβόλαιο το οποίο να ορίζει τις υπηρεσίες. Το συμβόλαιο αυτό ονομάζεται **συμβόλαιο κίνησης**. Στην περίπτωση ενός δημοσίου δικτύου, αυτό το συμβόλαιο πρέπει να έχει νομότυπες διαδικασίες. Έτσι για παράδειγμα, εάν ο μεταφορέας συμφωνήσει σε απώλεια μιας κυψελίδας σε μεταφορά πλήθους ενός δισεκατομμυρίου κυψελίδων, τότε αν χαθούν δύο από αυτές, έχουμε καταπάτηση του συμβολαίου. Το συμβόλαιο ανάμεσα στα δύο άκρα μεταφοράς σε ένα δίκτυο **απαρτίζεται** από τρία τμήματα:

- Δείκτες κίνησης
- QoS απαιτήσεις
- Κατηγορία υπηρεσίας

Το πρώτο μέρος του συμβολαίου (δείκτες κίνησης), χαρακτηρίζει το φορτίο που μπορεί να εξυπηρετηθεί στο δίκτυο. Το δεύτερο μέρος (QoS), καθορίζει την ποιότητα των υπηρεσιών. Το τρίτο μέρος δηλώνει την κατηγορία της υπηρεσίας που έχουμε και εξαρτάται από τα δύο προηγούμενα μέρη του συμβολαίου.

Οι δείκτες που δίνουν πληροφορίες για την κίνηση είναι οι ακόλουθοι:

- Μέγιστος ρυθμός κυψελίδων (PCR - Peak Cell Rate)
- Υποστηρίξιμος ρυθμός κυψελίδων (SCR - Sustainable Cell Rate)
- Ελάχιστος ρυθμός κυψελίδων (MCR – Minimum Cell Rate)
- Ανοχή απόκλισης καθυστέρησης κυψελίδων (CDVT – Cell Delay Variation Tolerance)

Το πρώτο μέρος του συμβολαίου (δείκτες κίνησης), χαρακτηρίζει το φορτίο που μπορεί να εξυπηρετηθεί στο δίκτυο. Το δεύτερο μέρος (QoS), καθορίζει την ποιότητα των υπηρεσιών. Το τρίτο μέρος δηλώνει την κατηγορία της υπηρεσίας που έχουμε και εξαρτάται από τα δύο προηγούμενα μέρη του συμβολαίου.

Οι δείκτες που δίνουν πληροφορίες για την κίνηση είναι οι ακόλουθοι:

- Μέγιστος ρυθμός κυψελίδων (PCR - Peak Cell Rate)
- Υποστηρίξιμος ρυθμός κυψελίδων (SCR - Sustainable Cell Rate)
- Ελάχιστος ρυθμός κυψελίδων (MCR – Minimum Cell Rate)

- Ανοχή απόκλισης καθυστέρησης κυψελίδων (CDVT – Cell Delay Variation Tolerance)

Η παράμετρος PCR είναι ο μέγιστος ρυθμός στον οποίο ο αποστολέας σχεδιάζει να στείλει κυψελίδες. Αυτή η παράμετρος μπορεί να είναι μικρότερη απ'ότι η συχνότητα των καναλιών επιτρέπει. Εάν ο αποστολέας σχεδιάζει να στέλνει κυψελίδες κάθε 4μsec, τότε το PCR είναι 250.000 κυψελίδες / sec, ακόμη και αν ο πραγματικός χρόνος μετάδοσης κυψελίδων είναι 2,7 μsec.

Η δεύτερη παράμετρος (SCR) αποτελεί τον αναμενόμενο ή τον απαιτούμενο μέσο ρυθμό κυψελίδων από ένα μεγάλο χρονικό διάστημα μετάδοσης.

Η τρίτη παράμετρος (MCR) υποδηλώνει τον μικρότερο αριθμό του λόγου κυψελίδες / sec όπου ο χρήστης θεωρεί αποδεκτό. Εάν ο φορέας δεν μπορεί να εγγυηθεί την παροχή αυτής της συχνότητας (ελαχίστου ρυθμού κυψελίδων), τότε διακόπτει την σύνδεση.

Το CVDT μας ενημερώνει σχετικά με την διακύμανση που θα υπάρξει κατά την μεταφορά των κυψελίδων. Η παράμετρος αυτή ελέγχει το πλήθος της αποδεκτής διακύμανσης, χρησιμοποιώντας έναν απλό αλγόριθμο για να την περιγράψει.

Κατά την εγκατάσταση της κλήσης, όταν παραληφθεί το μήνυμα από ένα διακοπτικό στοιχείο, μια συνάρτηση αποδοχής της κλήσης αποφασίζει εάν το δίκτυο μπορεί να υποστηρίξει τη σύνδεση χωρίς να υποβαθμίσει την λειτουργία των υπάρχοντων συνδέσεων. Κάθε εγκατάσταση κλήσης δηλώνει την κατηγορία υπηρεσιών της (σταθερού ρυθμού δυαδικών ψηφίων (Constant Bit Rate - CBR), μεταβλητού ρυθμού δυαδικών ψηφίων (VBR), διαθέσιμου ρυθμού δεδομένων (Available Bit Rate - ABR), μη προσδιορισμένου ρυθμού δεδομένων (Unspecified Bit Rate- UBR)), καθώς και τα χαρακτηριστικά της κίνησης των μηνυμάτων της. Αυτές οι παράμετροι στο μήνυμα εγκατάστασης κλήσης χρησιμοποιούνται από το διακοπτικό στοιχείο (switch) για να χαρακτηρίσουν τα δεδομένα για να χαρακτηρίσουν και να προσδιορίσουν εάν υπάρχουν ικανοποιητικοί πόροι για να παρέχουν την απαιτούμενη ποιότητα υπηρεσιών. Οι παράμετροι κίνησης μηνυμάτων χρησιμοποιούνται και μετά την εγκατάσταση κλήσης για να καταγράψουν την καταπάτηση του συμβολαίου που ορίστηκε κατά την κλήση.

Ένα από τα σπουδαιότερα ζητήματα στα πλαίσια της παρεχόμενης ποιότητας υπηρεσίας είναι ο μηχανισμός μετατροπής των QoS παραμέτρων του χρήστη σε ένα σύνολο παραμέτρων που θα προσδιορίζουν την πρόσβαση στο δίκτυο μέσω του προσαρμογέα χρήστη δικτύου (UNI), καθώς και ποια θα πρέπει να είναι η απόδοση του δικτύου (NP- Network Performance), ώστε να επιτυγχάνεται η ποιότητα της υπηρεσίας που ο χρήστης προσδιορίζει με τις QoS παραμέτρους. Ως απόδοση του δικτύου ορίζεται η ικανότητα που έχει το δίκτυο να παρέχει τις λειτουργίες που σχετίζονται με την επικοινωνία μεταξύ των χρηστών και συνίσταται στην απόδοση των δομικών του στοιχείων (NEP – Network element performance), π.χ. των ATM διακοπών. Αυτός ο μηχανισμός μετατροπής ονομάζεται μετάφραση παραμέτρων ποιότητας υπηρεσιών (QoS parameter translation). Οι QoS παράμετροι του χρήστη είναι δυνατόν να αποτελούν ένα συνδυασμό απαιτήσεων καθυστέρησης, ρυθμού μετάδοσης και αξιοπιστίας και μεταβάλλονται όχι μόνο με την πάροδο του χρόνου, αλλά και με βάση τον χρήστη και την εφαρμογή. Οι παράμετροι που χαρακτηρίζουν την ποιότητα υπηρεσιών και συνεπώς την απόδοση του δικτύου είναι οι εξής:

- Λόγος απώλειας κυψελίδας (CLR – Cell Loss Ratio)

Προσδιορίζεται από το ποσοστό των κυψελίδων που επιτυγχάνουν να μετακινηθούν στο ATM δίκτυο από την πηγή στον προορισμό και προκύπτει από το λόγο των χαμένων κυψελίδων προς τις συνολικές κυψελίδες που διακινήθηκαν. Η απώλεια αυτή των κυψελίδων μπορεί να προκληθεί από σφάλματα μεταφοράς στην σύνδεση, από συμφόρηση, από μη κατευθυνόμενη κίνηση, ή από αποτυχία ενός διακοπτικού στοιχείου. Οι περισσότερες από αυτές τις αιτίες είναι δύσκολο να αποφευχθούν.

Τα πακέτα δεδομένων στα τοπικά δίκτυα τεμαχίζονται σε κυψελίδες προτού διανεμηθούν. Όταν οι κυψελίδες χάνονται σε ένα ATM δίκτυο, ολόκληρο το πακέτο πρέπει να απορριφθεί. Ωστόσο όμως τα πρωτόκολλα στα υψηλότερα στρώματα εντοπίζουν την απώλεια και ζητούν να επαναληφθεί η μετάδοση δεδομένων. Εάν το δίκτυο παραμένει σε μία κατάσταση συμφόρησης, η αναμετάδοση επιβαρύνει την υπάρχουσα συμφόρηση και μπορεί με αυτό τον τρόπο να χαθεί η πληροφορία. Επιπρόσθετα, πολλαπλές πηγές που έχουν χάσει δεδομένα και έχουν ζητήσει την επανάληψη της μετάδοσης μπορούν να συγχρονιστούν εάν τη ζητήσουν ταυτόχρονα. Όταν οι πηγές συγχρονιστούν τότε το δίκτυο φορτώνεται από μία μεγάλη κλίμακα ακαταλαβίστικων on/off πακέτων.

$$CLR = \frac{\text{Χαμένα Κελιά}}{\text{Συνολικός Αριθμός Κελιών Που Μεταφέρθηκαν}}$$

Καθυστέρηση μεταφοράς κυψελίδων (CTD – Cell Transfer Delay)

Ως καθυστέρηση μεταφοράς κυψελίδων ορίζεται ο χρόνος που μεσολαβεί ανάμεσα στην είσοδο και στην έξοδο μιας κυψελίδας από δύο σημεία μέτρησης. Το CTD είναι ο συνολικός χρόνος που απαιτείται για να ταξιδέψει μια κυψελίδα στο δίκτυο από την πηγή στον προορισμό. Όταν το δίκτυο έχει συμφόρηση, οι κυψελίδες αποθηκεύονται στα διακοπτικά στοιχεία. Ακόμη και όταν δεν υπάρχει συμφόρηση στο διακοπτικό στοιχείο, η κυψελίδα θα καθυστερήσει σε αυτό για την επεξεργασία της από την είσοδο ως στην έξοδο από αυτό. Κατόπιν, η απόσταση της φυσικής σύνδεσης προσθέτει καθυστέρηση. Μια πρόσθετη αιτία καθυστέρησης, αποτελεί ο χρόνος που ένας υπολογιστής τεμαχίζει ένα πακέτο σε κυψελίδες προτού το διανεμίσει σε ένα ATM δίκτυο καθώς και ο χρόνος που απαιτείται από τα διακοπτικά στοιχεία για να κατευθύνουν βέλτιστα την κυψελίδα. Το CTD επιδρά αρνητικά στις αλληλειδρούμενες εφαρμογές βίντεο εξαιτίας της μεγάλης καθυστέρησης παρακωλύοντας την σημασιολογία μιας συζήτησης. Μεγάλες καθυστερήσεις είναι πιθανές όταν η σύνδεση ανάμεσα σε συμμετέχοντες σε διάσκεψη περνάει από πολλά διακοπτικά στοιχεία και διασταυρώνεται με μεγάλες συνδέσεις σε ευρείας περιοχής δίκτυα (WAN- Wide Area Networks).

Υψηλές τιμές CTD μπορούν επίσης να επηρεάσουν και την επικοινωνία με δεδομένα. Μεγάλη καθυστέρηση μπορεί να επηρεάσει αρνητικά την ροή κάποιων ενεργών πρωτοκόλλων εξαιτίας του ότι αυτά τα πρωτόκολλα έχουν αναπτυχθεί να μεταφέρουν δεδομένα και να περιμένουν για επιβεβαίωση λήψης. Το πλήθος των μη αναγνωρίσιμων δεδομένων κατά την μεταφορά υποδηλώνει το μέγεθος το μέγεθος του ανοίγματος του καναλιού. Εάν το μέγεθος του ανοίγματος είναι πολύ μικρό τότε τα πρωτόκολλα δεν θα έχουν την ευκαιρία να χρησιμοποιήσουν πλήρως τη συχνότητα της σύνδεσης. Η πηγή θα μεταδίδει κατά ριπές και μετά θα περιμένει για την επιβεβαίωση της λήψης. Εάν οι υπολογιστές προσαρμοστούν έτσι ώστε να

αντιλαμβάνονται την μεγάλη καθυστέρηση της μεταφοράς, τότε θα προσπαθήσουν να αυξήσουν το μέγεθος του ανοίγματος με σκοπό να διατηρήσουν μια σταθερή μετάδοση δεδομένων. Παρ'όλο που οι καθυστερήσεις είναι αναμενόμενες, μια χαμηλότερη τιμή καθυστέρησης υποδηλώνει υψηλότερη ποιότητα υπηρεσιών.

Λόγος εσφαλμένων κυψελίδων (CER – Cell Error –Ratio)

Ο λόγος αυτός εκφράζεται ως το πηλίκο της διαίρεσης των εσφαλμένων κυψελίδων προς τις κυψελίδες που έχουν μεταφερθεί επιτυχώς καθώς και τις εσφαλμένες κυψελίδες.

$$CER = \frac{\text{ΕσφαλμέναΚελιά}}{\text{ΕπιτυχημέναΚελιά} + \text{ΕσφαλμέναΚελιά}}$$

Ο λόγος κυψελίδων με σοβαρά σφάλματα (SECBR - Severely Error Cell Block Ratio)

Όταν σε μία ή περισσότερες συνδέσεις μεταδίδεται μια ακολουθία κυψελίδων και στην ακολουθία αυτή διαπιστωθεί ότι ο αριθμός των εσφαλμένων, χαμένων ή λάθος εισαγμένων κυψελίδων ξεπερνάει κάποιο συγκεκριμένο αποδεκτό όριο, τότε η ακολουθία χαρακτηρίζεται συνολικά ως μπλοκ με σοβαρά σφάλματα. Ο λόγος αυτών των μπλοκ προς τον συνολικό αριθμό των μπλοκ που μεταδίδονται εκφράζει το λόγο μπλοκ κυψελίδων με σοβαρά σφάλματα.

$$SECBR = \frac{\text{ΣύνολοΕσφαλμένωνΚελιών}}{\text{ΣύνολοΜεταδιδόμενωνΕπιτυχώςΚελιών}}$$

Η μέση καθυστέρηση μεταφοράς κυψελίδων (MCTD – Mean Cell Transfer Delay)

Η παράμετρος αυτή δίνει το μέσο όρο ενός συγκεκριμένου αριθμού μετρήσεων καθυστερήσεων για μία ή περισσότερες συνδέσεις.

Μεταβολή καθυστερήσεων (CDV – Cell Delay Variation)

Εκφράζει τα αποτελέσματα της στατιστικής επεξεργασίας μιας ομάδας μετρήσεων καθυστέρησης. Η μεταβολή καθυστερήσεων έχει αρνητική επίπτωση στην απόδοση αφού μερικές εφαρμογές δεν προσαρμόζονται καλά στις αλλαγές όπως με τον ρυθμό που παραλαμβάνουν τα δεδομένα. Για παράδειγμα ένας αποκωδικοποιητής video που εμφανίζει βίντεο με 30 πλαίσια το δευτερόλεπτο, θα περιμένει να υπάρχει μια σταθερή ροή δεδομένων από το δίκτυο. Ωστόσο, εάν ο ρυθμός εισαγωγής επιβραδυνθεί, τότε ο αποκωδικοποιητής θα πρέπει να εμφανίσει περισσότερα από 30 πλαίσια το δευτερόλεπτο. Το CDV που επίσης αποκαλείται και jitter, μπορεί να έχει άλλοτε θετική ή αρνητική τιμή. Η θετική τιμή παρουσιάζεται όταν ο χρόνος ανάμεσα στις κυψελίδες ελαττώνεται. Αντιθέτως, η αρνητική τιμή προκύπτει όταν ο χρόνος ανάμεσα στις κυψελίδες αυξάνεται.

CDV = Μεγαλύτερη Χρονική Καθυστέρηση– Μικρότερη Χρονική Καθυστέρηση.



### **3.2 Μηχανισμοί ελέγχου κίνησης και συμφόρησης στα ATM δίκτυα**

Γενικά στα δίκτυα επικοινωνιών η διαχείριση των πόρων (resource management) και ο έλεγχος της κίνησης (traffic control) και της συμφόρησης (congestion control) είναι απαραίτητη για την σωστή διαχείριση των πόρων του δικτύου, την παρακολούθηση της κίνησης και την ρύθμιση της ροής έτσι ώστε να αποφεύγεται η συμφόρηση και να εγγυούνται οι παράμετροι Ποιότητας Υπηρεσίας, ενώ ταυτόχρονα να αυξάνεται η αποδοτικότητα της αξιοποίησης των πόρων του δικτύου. Με τον όρο συμφόρηση (congestion) εννοούμε την κατάσταση εκείνη του δικτύου κατά την οποία η απόδοσή του μειώνεται λόγω κορεσμού (saturation) των πόρων του δικτύου όπως για παράδειγμα των συνδέσμων επικοινωνίας (communication links), των ενταμειευτών (buffers), κτλ. Τα αποτελέσματα της κατάστασης αυτής περιλαμβάνουν μεγάλες καθυστερήσεις στην μετάδοση των πακέτων, μη σωστή αξιοποίηση των πόρων του δικτύου (waste of network resources), μείωση του throughput του δικτύου, πιθανή κατάρρευση του δικτύου (network collapse), κα. Για την αποφυγή λοιπόν της συμφόρησης, οι πόροι του δικτύου δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται από παραπάνω συνδέσεις από αυτές που πραγματικά μπορούν να εξυπηρετηθούν χωρίς μείωση της Ποιότητας Υπηρεσίας, πρέπει δηλαδή να υπάρχει ένας έλεγχος της χρησιμοποίησης (utilisation) των πόρων του δικτύου.

Στα ATM δίκτυα, οι μηχανισμοί ελέγχου χωρίζονται σε δυο κατηγορίες: Στους προληπτικούς-αποτρεπτικούς μηχανισμούς (preventive control) και στους μηχανισμούς αντίδρασης-αντιμετώπισης (reactive control). Οι προληπτικοί μηχανισμοί (ή μηχανισμοί ελέγχου κίνησης – traffic control mechanisms) παίρνουν τα απαραίτητα μέτρα ώστε να προλάβουν, δηλαδή να αποτρέψουν την συμφόρηση. Αν και η πρόληψη της συμφόρησης θα ήταν η καλύτερη λύση, οι μηχανισμοί αυτοί από μόνοι τους τελικά δεν αρκούν για να αποτρέψουν την συμφόρηση. Γι' αυτόν τον λόγο χρησιμοποιούνται και οι μηχανισμοί αντίδρασης (ή μηχανισμοί ελέγχου συμφόρησης – congestion control mechanisms), οι οποίοι ελέγχουν την κατάσταση του δικτύου και εφόσον ανιχνεύσουν ότι υπάρχει συμφόρηση, παίρνουν τα απαραίτητα μέτρα ώστε το δίκτυο να αποσυμφορηθεί. Χωρίς τους μηχανισμούς αυτούς το δίκτυο μπορεί να καταρρεύσει τελείως όταν παθαίνει συμφόρηση. Ωστόσο, το πρόβλημα στην περίπτωση αυτών των μηχανισμών είναι ότι, λόγω της μεγάλης καθυστέρησης διάδοσης (propagation delay), μερικές φορές μέχρι να ληφθούν τα απαραίτητα μέτρα είναι ήδη πολύ αργά (όπως για παράδειγμα όταν πρέπει να ειδοποιηθεί η πηγή να μειώσει τον ρυθμό μετάδοσής της).

#### **3.2.1 Βαθμίδες και Μηχανισμοί Ελέγχου - Έλεγχοι αντίδρασης και πρόληψης**

Σε ένα δίκτυο ATM, οι υπάρχουσες ροές κίνησης μπορούν να εξετασθούν σε διαφορετικές βαθμίδες, οι οποίες αναγνωρίζονται από διαφορετικές οντότητες κίνησης.

Έτσι έχουμε:

- Κλήσεις (που πιθανότατα αποτελούνται από πολλές συνδέσεις).
- Νοητές συνδέσεις μονοπατιών.
- Νοητές συνδέσεις καναλιών.
- Καταιγισμούς (που αποτελούνται από συνεχείς κυψελίδες).
- Ανεξάρτητες κυψελίδες.

Ο έλεγχος κίνησης αποτελείται από ένα σύνολο μηχανισμών ελέγχου που μπορούν να εφαρμοστούν πάνω σε διαφορετικές οντότητες κίνησης σε κάθε βαθμίδα. Επιπλέον κάθε

ένας από αυτούς τους μηχανισμούς έχει μια χαρακτηριστική κλίμακα χρόνου, σε ότι αφορά την εφαρμογή του.

Έτσι έχουμε:

- Στιγμαίους μηχανισμούς, οι οποίοι λειτουργούν με βάση μόνον τις τοπικές συνθήκες μέσα στο μεταγωγέα και οι οποίοι εφαρμόζονται σε ανεξάρτητες κυψελίδες. Η επιλεκτική απόρριψη κυψελίδων, ο προγραμματισμός κυψελίδων, η μορφοποίηση της κίνησης και ο έλεγχος των παραμέτρων χρήσης αποτελούν παραδείγματα μηχανισμών της κατηγορίας αυτής,
- Μηχανισμούς που λειτουργούν κατά μήκος του δικτύου, με χρόνο εφαρμογής που αντιστοιχεί στην καθυστέρηση μετάδοσης μεταξύ των δυο άκρων του δικτύου. Οι μηχανισμοί αυτοί αναφέρονται στη μονόδρομη μεταφορά της πληροφορίας μεταξύ δυο σημείων μιας νοητής σύνδεσης. Η άμεση ένδειξη της προς τα πρόσω συμφόρησης (Explicit Forward Congestion Indication - EFCI) και το πρωτόκολλο γρήγορης κράτησης (fast reservation protocol) αποτελούν αντιπροσωπευτικά παραδείγματα,
- Μηχανισμούς που λειτουργούν κατά μήκος του δικτύου, με χρόνο εφαρμογής που αντιστοιχεί στην αμφίδρομη ανταλλαγή μηνυμάτων και αποκρίσεων. Παράδειγμα μηχανισμού της κατηγορίας αυτής, αποτελεί ο "έλεγχος αποδοχής σύνδεσης" (Connection Admission Control - CAC). Οι βασικοί αυτοί μηχανισμοί (μορφοποίηση της κίνησης, έλεγχος των παραμέτρων χρήσης, έλεγχος αποδοχής σύνδεσης, έλεγχος συμφόρησης) θα εξετασθούν στη συνέχεια. Οι μηχανισμοί αυτοί στηρίζονται στην αποστολή πληροφορίας ανάδρασης (feedback-based) από το υπό έλεγχο δομοστοιχείο του δικτύου.

Γενικά δεν συνιστάται η εφαρμογή, σε δίκτυα ATM, μηχανισμών αυτής της φιλοσοφίας για δυο κυρίως λόγους:

1. Υπάρχει σημαντική διαφορά ανάμεσα στον χρόνο μετάδοσης μιας κυψελίδας και στους χρόνους ανίχνευσης συμφόρησης και αντίδρασης σε καταστάσεις συμφόρησης, γεγονός που περιορίζει την αποτελεσματικότητα των μηχανισμών που στηρίζονται σε πληροφορίες ανάδρασης. Συγκεκριμένα, ο χρόνος μετάδοσης μιας κυψελίδας είναι πολύ πιο μικρός από το χρόνο που απαιτείται να ανιχνευθεί η συμφόρηση και να ειδοποιηθεί η πηγή ώστε να αντιδράσει. Αυτό οδηγεί σε καταστάσεις, όπου σε ένα δίκτυο ATM πηγές με υψηλούς ρυθμούς παραγωγής κυψελίδων στέλνουν στο δίκτυο ένα μεγάλο αριθμό κυψελίδων πριν φθάσει σε αυτές η πληροφορία ανάδρασης και επομένως λειτουργούν πρακτικά χωρίς έλεγχο.
2. Ειδικά σε πηγές πραγματικού χρόνου, που δεν μπορούν να ελεγχθούν από το δίκτυο, δεν έχουν εφαρμογή οι μηχανισμοί με ανάδραση.

Συμπερασματικά, οι έλεγχοι που στηρίζονται σε πληροφορίες ανάδρασης, και οι οποίοι υλοποιούν την φιλοσοφία της αντίδρασης σε καταστάσεις συμφόρησης, έχουν περιορισμένη χρησιμότητα στα ATM δίκτυα. Αντίθετα, θεωρούνται ως πλέον κατάλληλες οι μέθοδοι που στηρίζονται στην πρόληψη (preventive methods). Οι μέθοδοι πρόληψης προσπαθούν να αποφύγουν την συμφόρηση με το να εξασφαλίζουν ότι κάθε σύνδεση παραμένει μέσα στα όρια των δυνατοτήτων (πόρων) του δικτύου που της έχουν εκχωρηθεί κατά τη φάση εγκατάστασής της. Οι μέθοδοι αυτές στηρίζονται σε δυο βασικές λειτουργίες:

- 1) Έλεγχος αποδοχής σύνδεσης (CAC)
- 2) Έλεγχος παραμέτρων χρήσης (Usage Parameter Control - UPC)

Οι παραπάνω λειτουργίες ρυθμίζουν το ποσό της κίνησης που εισέρχεται στο δίκτυο.

Στα ATM δίκτυα, οι μηχανισμοί ελέγχου χωρίζονται σε δυο κατηγορίες: Στους προληπτικούς-αποτρεπτικούς μηχανισμούς (preventive control) και στους μηχανισμούς αντίδρασης-αντιμετώπισης (reactive control). Οι προληπτικοί μηχανισμοί (ή μηχανισμοί ελέγχου κίνησης – traffic control mechanisms) παίρνουν τα απαραίτητα μέτρα ώστε να προλάβουν, δηλαδή να αποτρέψουν την συμφόρηση. Αν και η πρόληψη της συμφόρησης θα ήταν η καλύτερη λύση, οι μηχανισμοί αυτοί από μόνοι τους τελικά δεν αρκούν για να αποτρέψουν την συμφόρηση. Γι' αυτόν τον λόγο χρησιμοποιούνται και οι μηχανισμοί αντίδρασης (ή μηχανισμοί ελέγχου συμφόρησης – congestion control mechanisms), οι οποίοι ελέγχουν την κατάσταση του δικτύου και εφόσον ανιχνεύσουν ότι υπάρχει συμφόρηση, παίρνουν τα απαραίτητα μέτρα ώστε το δίκτυο να αποσυμφορηθεί. Χωρίς τους μηχανισμούς αυτούς το δίκτυο μπορεί να καταρρεύσει τελείως όταν παθαίνει συμφόρηση. Ωστόσο, το πρόβλημα στην περίπτωση αυτών των μηχανισμών είναι ότι, λόγω της μεγάλης καθυστέρησης διάδοσης (propagation delay), μερικές φορές μέχρι να ληφθούν τα απαραίτητα μέτρα είναι ήδη πολύ αργά (όπως για παράδειγμα όταν πρέπει να ειδοποιηθεί η πηγή να μειώσει τον ρυθμό μετάδοσής της). Στη συνέχεια θα παρουσιάσουμε αυτούς τους μηχανισμούς, ξεκινώντας πρώτα με τους προληπτικούς μηχανισμούς, δηλαδή τους μηχανισμούς ελέγχου κίνησης.

### 3.2.2 Σχολιασμός των Παραμέτρων QoS.

Ο υπολογισμός των ανωτέρω παραμέτρων γίνεται χρησιμοποιώντας τα πεδία των κυψελίδων μέτρησης απόδοσης. Όπως ήδη αναφέρθηκε, η ποιότητα υπηρεσίας (QoS) αναφέρεται στην εικόνα που ο χρήστης αποκτά για τις υπηρεσίες που το δίκτυο του παρέχει. Προφανώς αποτελεί ευθύνη του δικτύου να παράσχει στο χρήστη την ποιότητα υπηρεσίας που επιθυμεί. Θεμελιώδες χαρακτηριστικό ενός ευρυζωνικού ψηφιακού δικτύου ενοποιημένων υπηρεσιών (B-ISDN) αποτελεί η δυνατότητα υποστήριξης πολλών κλάσεων υπηρεσιών. Είναι επομένως λογικό να υπάρχει η απαίτηση από τα δίκτυα ATM, να υποστηρίζουν με τη σειρά τους έναν αριθμό καθορισμένων QoS κλάσεων.

Έτσι για κάθε μια από τις ακόλουθες κλάσεις υπηρεσιών:

1. Κλάση A: για προσομοίωση κυκλώματος και CBR υπηρεσίες
2. Κλάση B: για VBR video και φωνή
3. Κλάση C: για μεταφορά δεδομένων προσανατολισμένα στις συνδέσεις (connection – oriented)
4. Κλάση D: για μεταφορά δεδομένων χωρίς σύνδεση (connectionless), υπάρχουν και οι αντίστοιχες κλάσεις QoS (1, 2, 3 και 4).

Κάθε μια από τις παραπάνω κλάσεις QoS χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένες απαιτήσεις ποιότητας υπηρεσιών με συγκεκριμένες τιμές για κάθε μια παράμετρο που χρησιμοποιείται. Για παράδειγμα, η κλάση 1 απαιτεί συγκεκριμένη "οροφή" για τις καθυστερήσεις κυψελίδων και τις αποκλίσεις που αυτές παρουσιάζουν (αριθμητικά  $CLR \leq 1.7 * 10^{10}$ ,  $CTD = 150 \mu s$ ,  $CDV = 250 \mu s$ ). Εκτός από τις κλάσεις αυτές, αναμένεται και η δημιουργία νέων στο άμεσο μέλλον. Συγκεκριμένα, έχει ήδη οριστεί μια νέα υπηρεσία "διαθέσιμου ρυθμού δεδομένων" (Available Bit Rate - ABR) με ένα χαμηλό (ή ίσο με μηδέν) ρυθμό απώλειας κυψελίδων και απεριόριστη απόκλιση καθυστέρησης κυψελίδων. Επίσης, ένα δίκτυο ATM μπορεί να υποστηρίξει μια μη καθορισμένη κλάση QoS (unspecified QoS class). Για την κλάση αυτή δεν υπάρχουν συγκεκριμένες και σταθερές τιμές παραμέτρων, αλλά ο παροχέας δικτυακών υπηρεσιών καθορίζει ένα εσωτερικό σύνολο επιθυμητών τιμών για τις παραμέτρους απόδοσης.

Η διάκριση της ποιότητας υπηρεσίας σε κλάσεις είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για τη συνολική λειτουργία του δικτύου. Προφανώς χωρίς την διάκριση σε κλάσεις, θα έπρεπε το 13 δίκτυο να υποστηρίζει τις πιο αυστηρές (ακραίες) απαιτήσεις για το σύνολο της κίνησης, με αποτέλεσμα να χάνεται η ευελιξία υποστήριξης των επιμέρους απαιτήσεων. Από μια άλλη οπτική γωνία (αυτή του διαχειριστή δικτύου), η απόδοση του δικτύου περιλαμβάνει (και χαρακτηρίζεται) από ένα σύνολο παραμέτρων που ουσιαστικά μετρούν την ικανότητα του δικτύου να παρέχει τις υπηρεσίες του στους τελικούς χρήστες. Οι παράμετροι αυτές αναφέρονται στα διάφορα επίπεδα λειτουργίας του δικτύου (επίπεδο κλήσης, επίπεδο κυψελίδας) και σε διάφορα σημεία εντός του δικτύου. Για παράδειγμα, οι παράμετροι απόδοσης δικτύου μπορεί να περιλαμβάνουν στο επίπεδο κλήσης, τις καθυστερήσεις εγκατάστασης και απόλυσης σύνδεσης, πιθανότητα μπλοκαρίσματος κ.ά., ενώ στο επίπεδο κυψελίδας μπορεί να περιέχουν τον ρυθμό λανθασμένων κυψελίδων, το ρυθμό απώλειας κυψελίδων, εκτιμήσεις καθυστερήσεων κ.λ.π. Ο συναγωνισμός για πόρους του δικτύου μπορεί να οδηγήσει σε καταστάσεις συμφόρησης. Η συμφόρηση μπορεί να εμφανισθεί σε δίκτυα που στηρίζονται τόσο στη μεταγωγή κυκλώματος όσο και στη μεταγωγή πακέτων. Γενικά δημιουργείται όταν η χωρητικότητα του δικτύου (συνολικά ή σε επιμέρους δομοστοιχεία του) αδυνατεί να υποστηρίξει τις απαιτήσεις της προσφερόμενης κίνησης. Όπως σε όλα τα δίκτυα έτσι και στο ATM, η εκτός ελέγχου συμφόρηση μπορεί να οδηγήσει το δίκτυο σε κατάρρευση. Σε ένα δίκτυο ATM μπορεί να εμφανισθεί συμφόρηση τόσο στις συνδέσεις όσο και στις κυψελίδες. Για παράδειγμα, στη βαθμίδα των συνδέσεων, οι επεξεργαστές υποστήριξης κλήσεων επιβαρύνονται από το φορτίο των αποτυχημένων κλήσεων, ενώ στη βαθμίδα των κυψελίδων οι γραμμές μετάδοσης εμφανίζουν συμπτώματα κορεσμού και οι ενδιάμεσοι (προσωρινοί) καταχωρητές φαινόμενα υπερχείλισης. Ως αποτέλεσμα, μια μη ελεγχόμενη συμφόρηση θα εκδηλωθεί μέσα από μια δραματική πτώση των τιμών των παραμέτρων που περιγράφουν την απόδοση του δικτύου (αύξηση του αριθμού των κλήσεων που μπλοκάρονται ή χάνονται, αύξηση των καθυστερήσεων κ.λ.π.). Ένα δίκτυο μπορεί να υποστηρίξει έναν ή περισσότερους στόχους απόδοσης για κάθε μια από τις παραμέτρους QoS. Για κάθε μια σύνδεση, πρέπει να τηρηθεί ένα συγκεκριμένο QoS. Το δίκτυο συμφωνεί να συναντήσει ή να υπερβεί το προκαθορισμένο QoS εφ' όσον αυτό συμμορφώνεται με το Σύμβολο Κυκλοφορίας, δεδομένου ότι δεν υπάρχει κανένα όριο στη "διάρκεια" των συνδέσεων, και το δίκτυο παίρνει τις αποφάσεις βασισμένες στις πληροφορίες που είναι διαθέσιμες στο χρόνο της εγκατάστασης μιας σύνδεσης, το πραγματικό QoS μπορεί να ποικίλει. Στα παροδικά γεγονότα (συμπεριλαμβανομένων των ανεξέλεγκτων) οι βραχυπρόθεσμες παρατηρήσεις απόδοσης μπορεί να είναι χειρότερες από τη συμφωνηθείσα υποχρέωση QoS. Κατά συνέπεια, οι υποχρεώσεις QoS μπορούν μόνο να αξιολογηθούν μακροπρόθεσμα.

# Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup> : Έλεγχοι κίνησης και συμφόρησης

## 4.1 Γενική περιγραφή μηχανισμών ελέγχου

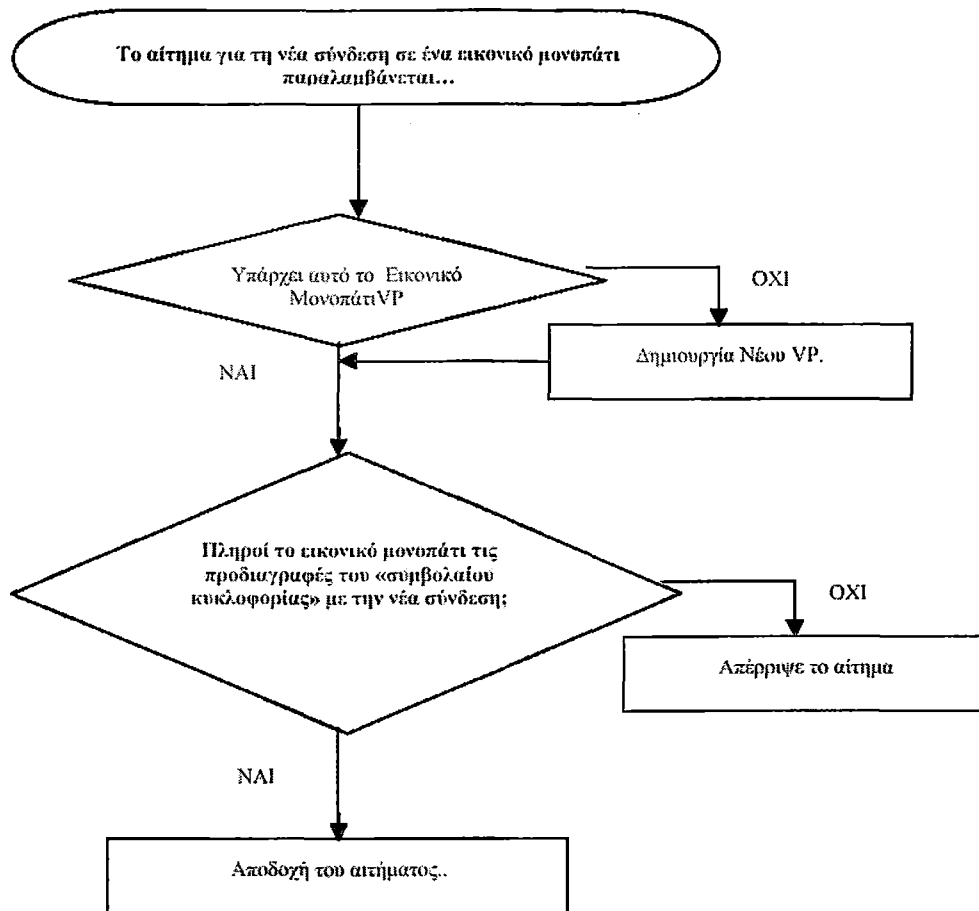
Στα ATM δίκτυα, οι μηχανισμοί ελέγχου χωρίζονται σε δυο κατηγορίες: Στους προληπτικούς-αποτρεπτικούς μηχανισμούς (preventive control) και στους μηχανισμούς αντίδρασης-αντιμετώπισης (reactive control). Οι προληπτικοί μηχανισμοί (ή μηχανισμοί ελέγχου κίνησης – traffic control mechanisms) παίρνουν τα απαραίτητα μέτρα ώστε να προλάβουν, δηλαδή να αποτρέψουν την συμφόρηση. Αν και η πρόληψη της συμφόρησης θα ήταν η καλύτερη λύση, οι μηχανισμοί αυτοί από μόνοι τους τελικά δεν αρκούν για να αποτρέψουν την συμφόρηση. Γι' αυτόν τον λόγο χρησιμοποιούνται και οι μηχανισμοί αντίδρασης (ή μηχανισμοί ελέγχου συμφόρησης – congestion control mechanisms), οι οποίοι ελέγχουν την κατάσταση του δικτύου και εφόσον ανιχνεύσουν ότι υπάρχει συμφόρηση, παίρνουν τα απαραίτητα μέτρα ώστε το δίκτυο να αποσυμφορηθεί. Χωρίς τους μηχανισμούς αυτούς το δίκτυο μπορεί να καταρρεύσει τελείως όταν παθαίνει συμφόρηση. Ωστόσο, το πρόβλημα στην περίπτωση αυτών των μηχανισμών είναι ότι, λόγω της μεγάλης καθυστέρησης διάδοσης (propagation delay), μερικές φορές μέχρι να ληφθούν τα απαραίτητα μέτρα είναι ήδη πολύ αργά (όπως για παράδειγμα όταν πρέπει να ειδοποιηθεί η πηγή να μειώσει τον ρυθμό μετάδοσής της).

### 4.1.1 Έλεγχος αποδοχής κλήσης

Ο έλεγχος αποδοχής κλήσης (CAC – Connection Admission Control) είναι ένα μέτρο που εφαρμόζεται για να αποφασισθεί αν μια νέα κλήση θα γίνει αποδεκτή ή όχι από το δίκτυο. Ο έλεγχος μπορεί να γίνει ανά κόμβο ή κεντρικά. Στην περίπτωση του ελέγχου ανά κόμβο, που είναι και η πλέον συνηθισμένη, η αίτηση για νέα σύνδεση μεταδίδεται κατά μήκος της διαδρομής και ο κάθε κόμβος αποφασίζει αν μπορεί να εκχωρήσει τους απαραίτητους πόρους. Αποδοχή της αιτήσεως γίνεται μόνον όταν αυτή γίνει αποδεκτή από το σύνολο των κόμβων της διαδρομής. Για τις αποδεκτές αιτήσεις, καθορίζονται ο έλεγχος παραμέτρου χρήσης (Usage Parameter Control - UPC) και ο έλεγχος παραμέτρου δικτύου (Network Parameter Control - NPC), η δρομολόγηση και η κατανομή πόρων (όπως εύρος ζώνης ζεύξεων, αποθηκευτικοί χώροι καταχωρητών και πόροι στο εσωτερικό των διακοπτικών στοιχείων). Αν λοιπόν υπάρχουν επαρκείς πόροι για αυτή την κλήση και αν η αποδοχή της δεν επηρεάζει την παρεχόμενη ποιότητα υπηρεσίας των άλλων κλήσεων που βρίσκονται σε εξέλιξη, τότε η κλήση γίνεται αποδεκτή. Στη συνέχεια, το δίκτυο αποφασίζει για τη διαδρομή που θα ακολουθήσουν οι κυψελίδες για να φτάσουν από την πηγή στο δέκτη. Από τη στιγμή αυτή και μετά, η πηγή μπορεί να στέλνει κυψελίδες στο δίκτυο με το ρυθμό που προσδιορίστηκε όταν έγινε η διαπραγμάτευση για την αποδοχή της κλήσης. Το δίκτυο διαθέτει μηχανισμούς ελέγχου ώστε να ελέγξει ρυθμού εκπομπής κυψελίδων από την πηγή και να διασφαλίσει ότι αυτός δεν υπερβαίνει τα προσυμφωνημένα όρια.

Όσον αφορά τη διαπραγμάτευση που προηγείται την έναρξη της κλήσης (call setup), αναφέρουμε ότι ο χρήστης πρέπει με τη χρήση μεθόδων σηματοδότησης να προσδιορίσει την παρεχόμενη ποιότητα υπηρεσίας που απαιτεί, καθώς και να παρουσιάσει τα χαρακτηριστικά της κλήσης με βάση τα οποία γίνεται η αποδοχή ή η απόρριψη μιας κλήσης. Χαρακτηριστικά περιγραφής μίας κλήσης μπορούν για παράδειγμα να είναι ο μέσος και ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης κυψελίδων και το μέσο μήκος των ενεργών περιόδων. Τα χαρακτηριστικά αυτά μπορούν να επαναδιαπραγματευθούν κατά τη διάρκεια της κλήσης μετά από απαίτηση του

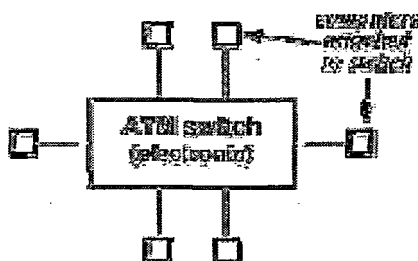
χρήστη. Στο επόμενο σχήμα (σχήμα 4.α) μπορείτε να δείτε γραφικά την διαδικασία απόφασης αποδοχής κλήσης.



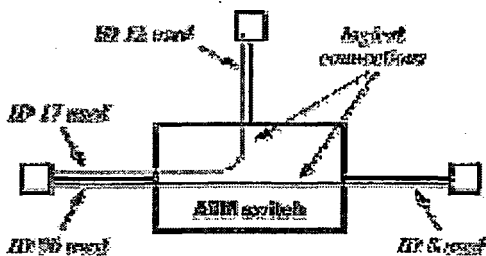
Σχήμα 4.α: Έλεγχος αποδοχής κλήσης

#### 4.1.2 ATM -Διακοπτικό Σύστημα

Ο όρος ATM διακοπτικό σύστημα (ATM switching system) αναφέρεται στη λειτουργική μονάδα η οποία διασυνδέει εξωτερικές γραμμές μεταφοράς δεδομένων και η οποία είναι υπεύθυνη για την υποδοχή των εισερχόμενων κυψελίδων, τη δρομολόγησή τους με βάση την αντίστοιχη πληροφορία που μεταφέρουν και τη μεταφορά τους σε εξερχόμενες γραμμές .

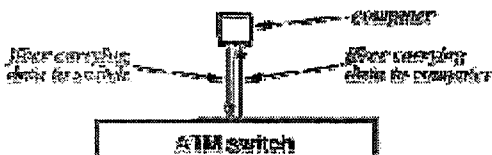


Σχήμα 4β : ATM διακοπτικό στοιχείο



Σχήμα 4γ: Λογικές συνδέσεις ATM διακοπτικού στοιχείου

Επιπρόσθετα, το σύστημα θα πρέπει να υποστηρίζει τις ανάλογες λειτουργίες που περιγράφονται στα επίπεδα ελέγχου και διαχείρισης και να υλοποιεί ένα συγκεκριμένο σύνολο από λειτουργίες ελέγχου κίνησης. Συνεπώς, τα διακοπτικά συστήματα δεν είναι απλά μονάδες μεταγωγής και αποθήκευσης κυψελίδων. Συνήθως θεωρούμε ότι μέσα στο σύστημα υπάρχει το “δίκτυο” ή ο “πυρήνας / σκελετός μεταγωγής” που εκτελεί τη δρομολόγηση, ενώ η κατανομή των διαφόρων λειτουργιών μέσα στο σύστημα περιγράφεται από την αρχιτεκτονική του. Παρακάτω βλέπουμε τη σύνδεση ανάμεσα σε ένα διακοπτικό στοιχείο και ένα υπολογιστικό σύστημα (ΥΣ). Κάθε σύνδεση αποτελείται από ένα ζεύγος οπτικών ινών. Η μία οπτική ίνα μεταφέρει τα δεδομένα από το ΥΣ στο διακοπτικό στοιχείο και η άλλη αντίστροφα.



Σχήμα 4δ

Η πρώτη λειτουργία κάθε μονάδας εισόδου αναφέρεται στον τερματισμό του εισερχόμενου σήματος και στην εξαγωγή του ρεύματος κυψελίδων ATM. Η δεύτερη λειτουργία αφορά στη προετοιμασία των κυψελίδων για μεταγωγή, από τον αντίστοιχο πυρήνα μεταγωγής (CSF - Cell Switch Fabric). Η λειτουργία των μονάδων εξόδου αναφέρεται στην προετοιμασία των κυψελίδων προς μετάδοση.

Ο πυρήνας / δίκτυο μεταγωγής κυψελίδων (CSF) αποτελεί τον πυρήνα του συστήματος μεταγωγής και είναι υπεύθυνος για τη μεταφορά των κυψελίδων μεταξύ των λειτουργικών μονάδων του. Εκτός από τη βασική λειτουργία της δρομολόγησης, ο πυρήνας μεταγωγής είναι πιθανό να αναλάβει την υποστήριξη και άλλων λειτουργιών συμφόρησης στα δίκτυα ATM (congestion), ορίζουμε την κατάσταση στην οποία το προσφερόμενο στο δίκτυο φορτίο, πλησιάζει ή / και υπερβαίνει τα όριά του. Τα όρια αυτά έχουν σχεδιαστεί για την εγγυημένη παροχή συγκεκριμένης ποιότητας υπηρεσιών (QoS), σύμφωνα με το συμβόλαιο κίνησης. Παρά το γεγονός ότι οι λειτουργίες ελέγχου αποδοχής σύνδεσης (CAC) και ελέγχου παραμέτρων χρήσης (UPC - Usage Parameter Control) έχουν ως σκοπό την αποφυγή μιας πιθανής συμφόρησης, υπάρχει πάντα η πιθανότητα δημιουργίας συμφόρησης.

#### 4.1.2.1 Αρχιτεκτονική ATM Διακοπτικών Στοιχείων

Η αρχιτεκτονική ενός ATM διακοπτικού στοιχείου περιλαμβάνει τις ακόλουθες δύο συνιστώσες:

τον **πυρήνα μεταγωγής** που είναι ένα δίκτυο διασύνδεσης υπεύθυνο για τη μεταγωγή των κυψελίδων σηματοδοσίας και διαχείρισης σε άλλες λειτουργικές μονάδες, όπως οι μονάδες ελέγχου αποδοχής κυψελίδων (CAC) και διαχείρισης συστήματος και το **περιβάλλον μεταγωγής** το οποίο περιέχει τις μονάδες εισόδου, που δέχονται τις εισερχόμενες κυψελίδες και τις προετοιμάζουν για δρομολόγηση μέσα στο δομικό στοιχείο μεταγωγής, και τις μονάδες εξόδου που προετοιμάζουν για μετάδοση τις εξερχόμενες κυψελίδες.

Τα ATM διακοπτικά στοιχεία επιβλέπονται από κάποιο λογισμικό. Η αρχιτεκτονική του λογισμικού σε ένα ATM διακοπτικό στοιχείο συνήθως διαιρείται σε τρεις κατηγορίες:

- διεκπεραίωσης της διοίκησης της κυκλοφορίας
- διεκπεραίωσης της λειτουργίας και της συντήρησης
- διεκπεραίωσης των λειτουργιών του συστήματος

Κάθε μία από αυτές τις κατηγορίες διαιρείται σε επτά άλλες συνιστώσες:

- διεκπεραίωση σύνδεσης
- διαχείριση της διάταξης
- διαχείριση λάθους
- διαχείριση της εμφάνισης
- διαχείριση του λογαριασμού
- διαχείριση της ασφάλειας
- λειτουργίες συστήματος

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό που πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά τον σχεδιασμό του λογισμικού για ένα ATM διακοπτικό στοιχείο είναι ο διαχωρισμός του λογισμικού σε εξαρτώμενο από τον εξοπλισμό (hardware) και σε ανεξάρτητο του εξοπλισμού.

## 4.2 Παράμετροι ελέγχου χρήστη (UPC)

Είναι ο μηχανισμός που εξασφαλίζει τη συμμόρφωση του χρήστη με τη συμφωνία κίνησης. Λέγεται και αστυνόμευση. Σχεδιάστηκε για να επιβλέπει την κίνηση και να επιβεβαιώνει ότι μόνο τα έγκαιρα VPIs και VCIIs εισέρχονται στο δίκτυο. Το UPC πρέπει :

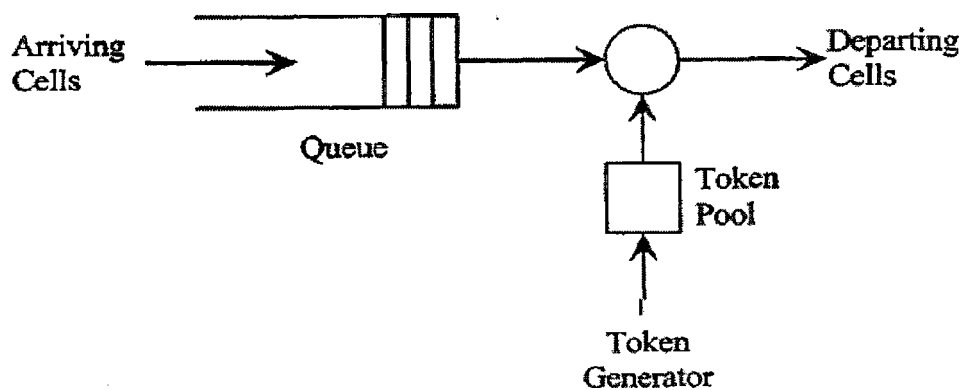
- να έχει την ικανότητα να ανακαλύπτει τη μη συμμορφωμένη κίνηση
  - να μπορεί να αλλάξει τις παραμέτρους που ελέγχθηκαν
  - να δίνει γρήγορη απάντηση στους μη συμμορφωμένους χρήστες
  - να εξασφαλίζει διαφάνεια στις λειτουργίες των συμμορφωμένων χρηστών
  - να είναι απλός στην υλοποίησή του και κατανοητός στο χρήστη
- 
- Να εμφανίζει τον ελάχιστο δυνατό αριθμό εσφαλμένων και καθυστερημένων συναγερωμένων. Ως "εσφαλμένος συναγερωμένος" χαρακτηρίζεται η επέμβαση σε κυψελίδες χωρίς να υπάρχει λόγος (δηλ. όταν η πηγή είναι συμμορφωμένη), ενώ ο όρος "καθυστερημένος συναγερωμένος" αναφέρεται στην αποτυχία πραγματοποίησης των καταλλήλων ενεργειών όταν η πηγή δε συμμορφούται με το συμβόλαιο κίνησης.



Οι πιο κοινοί UPC αλγόριθμοι περιέχουν 2 βασικούς μηχανισμούς:

- μέθοδος παραθύρου (*window method*), όπου επιλέγεται χρονικό διάστημα και μετριέται ο μέγιστος αριθμός κελιών που γίνονται δέκτες (υπάρχουν και παραλλαγές της μεθόδου , όπως *jumping window* και *moving window*)
- μέθοδος του διαρρέοντος κάδου (*Leaky Bucket*), που έχει καλύτερα αποτελέσματα από τη μέθοδο παραθύρου και είναι εύκολη στην κατανόηση, στην εφαρμογή και ευέλικτη στην παρουσίαση. Ουσιαστικά, είναι σύστημα αναμονής μονού εξυπηρετητή με σταθερό χρόνο εξυπηρέτησης. Ο κάθε host συνδέεται με το δίκτυο μέσω διεπαφής που συμπεριλαμβάνει έναν διαρρέοντα κάδο, δηλαδή μια πεπερασμένη εσωτερικά ουρά . Όταν η ουρά είναι γεμάτη και φτάσει ένα πακέτο, απορρίπτεται. Ο host τοποθετεί στο δίκτυο ένα πακέτο ανά ρυθμό ρολογιού. Αυτό το επιβάλλει η κάρτα διεπαφής ή το λειτουργικό σύστημα. Έτσι, ενώ η ροή πακέτων από χρήστη στον host είναι ανομοιογενής, η κίνηση προς το δίκτυο γίνεται ομοιογενής. Πιο συγκεκριμένα ο Leaky bucket αλγόριθμος μπορεί να θεωρηθεί σαν ένα σύστημα αποτελούμενο από ένα κάδο με permits και μία ουρά υποδοχής των προς αποστολή πακέτων. Ο κόμβος δημιουργεί permits κάθε  $1/\rho$  δευτερόλεπτο, όπου  $\rho$  ο απαιτούμενος ρυθμός αποστολής της σύνδεσης. Η διαδικασία αυτή διαρκεί  $W/\rho$  δευτερόλεπτα και παράγονται συνολικά  $W$  permits. Κατά την διάρκεια της παραγωγής των permits, τα πακέτα που περιμένουν στην ουρά του κόμβου, δεσμεύουν από ένα permit και μεταβαίνουν σε μία ουρά αναμονής για τα προς αποστολή πακέτα. Αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία παραγωγής αυτών των  $W$  permits, όσα από αυτά μείνουν αχρησιμοποίητα σβήνονται και ξεκινά πάλι από την αρχή η διαδικασία παραγωγής permits. Ωστόσο, όταν η κίνηση είναι καταιγιστική, απαιτείται ένας πιο ευέλικτος αλγόριθμος που επιτρέπει την επιτάχυνση του ρυθμού εξόδου . Ο αλγόριθμος αυτό είναι ο Token bucket algorithm.

Στο επόμενο σχήμα μπορείτε να δείτε τον τρόπο λειτουργίας του Leaky Bucket.



Σχήμα 4.δ:  
Ο Leaky bucket αλγόριθμος

#### 4.2.1 Αστυνόμευση κίνησης (Traffic Policing)

Για να επιβληθούν οι παράμετροι υπηρεσίας χρησιμοποιείται ένας άλλος μηχανισμός, που βασίζεται σε συγκεκριμένο αλγόριθμο γνωστό ως Γενικός Αλγόριθμος Ρυθμού Κελιών (*Generic Cell Rate Algorithm/GCRA*). Ελέγχει κάθε κελί για να δει αν συμμορφώνεται με τις παραμέτρους του νοητού κυκλώματος. Ο GCRA έχει δύο παραμέτρους :

- την προσαυξημένη παράμετρο (*Increment Parameter*), που αναφέρεται στο αντίστροφο του συμμορφωμένου ρυθμού
- την παράμετρο ορίου (*Limit Parameter*), που αναφέρεται στον αριθμό των κελιών που σε μεγάλο ρυθμό θα προκαλέσουν συμφόρηση.

Τα κυριότερα μέτρα τα οποία θα πρέπει να παίρνει ο μηχανισμός Ελέγχου Παραμέτρων Χρήσης κατά των πηγών που παραβιάζουν τις συμφωνημένες τιμές των παραμέτρων κίνησης έτσι ώστε να εξασφαλίζονται οι παράμετροι Ποιότητας Υπηρεσίας των νόμιμων χρηστών, είναι:

- Απόρριψη των επιπλέον πακέτων (*cell dropping*).
- Εισαγωγή κατάλληλης καθυστέρησης στα επιπλέον πακέτα (*cells*) πριν εισέλθουν στο δίκτυο (*διαμόρφωση της κίνησης, traffic shaping*).
- *Μαρκάρισμα* των επιπλέον πακέτων και απόρριψη αυτών μέσα στο δίκτυο σε περίπτωση συμφόρησης (*cell tagging*). Εφαρμόζεται μόνο στα πακέτα που έχουν το bit CLP=0.

Η τελευταία δυνατότητα είναι προαιρετική τόσο για το δίκτυο όσο και για τον χρήστη και η εφαρμογή της καθορίζεται στην φάση της εγκατάστασης της κλήσης. Όταν εφαρμόζεται, τα πακέτα με το bit CLP=0 αν χαρακτηριστούν σαν *επιπλέον πακέτα (excess cells)* σύμφωνα με τις συμφωνημένες παραμέτρους κίνησης, μετατρέπουν το bit αυτό σε CLP=1 και ονομάζονται *μαρκαρισμένα πακέτα (tagged cells)*. Τα πακέτα που έχουν ήδη CLP=1 και χαρακτηρίζονται ως «επιπλέον» πακέτα (ότι δηλαδή παραβιάζουν τις συμφωνημένες τιμές), απορρίπτονται.

Τέλος, ως επιλογή υπάρχει η επιπλέον δυνατότητα αποδέσμευσης-κατάργησης μιας εγκαταστημένης σύνδεσης όταν αυτό παραβιάζει το *συμβόλαιο κίνησης (traffic contract)*.

## 4.2.2 Μορφοποίηση Κίνησης

Η διαδικασία προσαρμογής της κίνησης ονομάζεται μορφοποίηση κίνησης. Ως σκοπό έχει την διαμόρφωση την διαχείριση των προς αποστολή κελιών, τρόπον τινά ώστε να εξασφαλίζεται η πλήρης συμμόρφωση των προς αποστολή κυψελίδων με τις παραμέτρους που καθορίζει το συμβόλαιο κίνησης. Η μορφοποίηση κίνησης μπορεί να πραγματοποιηθεί από το χρήστη πριν από την είσοδο της κίνησης στο δίκτυο ή από το δίκτυο αμέσως μετά τον μηχανισμό έλεγχου παραμέτρου χρήσης (UPC). Στα πρότυπα, η διαδικασία μορφοποίησης χαρακτηρίζεται ως προαιρετική. Παρά ταύτα, αποτελεί την απαραίτητη προϋπόθεση για την εγγύηση της ποιότητας υπηρεσίας σε ροές κυψελίδων που συμμορφώνονται στο συμβόλαιο κίνησης, αλλά και για την διασφάλιση μιας αποδεκτής λειτουργίας, όταν κίνηση προκειμένου να φθάσει στο σημείο προορισμού της, υποβάλλεται από ένα δίκτυο σε ένα άλλο δίκτυο διαφορετικών χαρακτηριστικών μετάδοσης. Στην δεύτερη αυτή περίπτωση, η μορφοποίηση γίνεται από το δίκτυο που υποβάλλει την κίνηση.

Τα υπάρχοντα πρότυπα, αλλά και η βιβλιογραφία, περιλαμβάνουν διάφορες πιθανές υλοποιήσεις της διαδικασίας μορφοποίησης κίνησης, όπως για παράδειγμα:

- **Buffering**  
Η ενδιάμεση αποθήκευση (buffering). Χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με τον αλγόριθμο διαρρέοντος κάδου. Αναφέρεται στην ενδιάμεση (προσωρινή) αποθήκευση των κυψελίδων, μέχρι να τους επιτραπεί η είσοδος από τον μηχανισμό που υλοποιεί τον αλγόριθμο του διαρρέοντος κάδου.
- **Spacing**  
Η αραίωση των κυψελίδων (spacing), ο προγραμματισμός της αναχώρησής των (scheduling) από τον τερματικό σταθμό, ο περιορισμός του μέγιστου ρυθμού κυψελίδων (peak cell rate reduction), του καταιγισμού κίνησης (burst length limiting) ή ο περιορισμός με κάποιο τρόπο του ρυθμού της πηγής (source rate limitation), που αποτελεί έμμεση μέθοδο μορφοποίησης. Όλες οι παραπάνω υλοποιήσεις στοχεύουν στη δημιουργία κίνησης με παραμέτρους μικρότερες από αυτές που αναφέρονται στο συμβόλαιο κίνησης.
- **Priority Queuing**  
Η χρήση προτεραιοτήτων αναμονής (priority queuing) στις κυψελίδες έλεγχος προτεραιότητας (priority control) όπως είναι και αλλιώς γνωστή η μέθοδος). Σ μέθοδος στηρίζεται στην υλοποίηση πολλαπλών ουρών αναμονής στα ATM διακοπτικά στοιχεία και στον ορισμό πολιτικών εξυπηρέτησης ανά νοητή σύνδεση (μονοπάτια ή κανάλια), με σκοπό την καλύτερη απόδοση προτεραιοτήτων που αναφέρονται σε καθυστερήσεις, αλλά και απώλειες κυψελίδων.
- **Framing**  
Η πλαισίωση (framing), δηλαδή η υπέρθεση μιας σύγχρονης δομής πλαίσιων στο ασύγχρονο ρεύμα κυψελίδων. Με τη μέθοδο αυτή μπορεί να προγραμματισθούν με κάποια προτεραιότητα οι αναχωρήσεις κυψελίδων, για τις οποίες απαιτείται έλεγχος στις μεταβολές καθυστέρησης (π.χ η περίπτωση εξομοίωσης κυκλώματος πάνω από δίκτυο ATM, χρησιμοποιώντας το επίπεδο προσαρμογής AAL1).

## 4.3 Διαχείριση πόρων του δικτύου

### 4.3.1 Απλή διαχείριση πόρων

Η διαδικασία αυτή επιτρέπει τον λογικό διαχωρισμό των συνδέσεων σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά των υπηρεσιών και την κλάση στην οποία ανήκουν οι συνδέσεις (traffic classification). Στα πλαίσια αυτής της λειτουργίας χρησιμοποιούνται ο προγραμματισμός κίνησης των πακέτων (cell scheduling) και η παροχή των απαραίτητων πόρων (resource provisioning) για να επιτύχουν τον απαραίτητο διαχωρισμό και την πρόσβαση στους πόρους. Ειδικότερα, κύριος στόχος του resource provisioning είναι να εξασφαλίζει αποδεκτό επίπεδο της απόδοσης του συστήματος ως προς την πιθανότητα απορρίψεως νέων αιτήσεων κλήσεων. Η χρησιμοποίηση των Νοητών Μονοπατιών (Virtual Paths) βοηθάει σημαντικά προς την κατεύθυνση αυτή, αφού οι κόμβοι ενός δικτύου μπορούν να διασυνδεθούν με νοητά μονοπάτια ικανής χωρητικότητας, με σκοπό την εύκολη μελλοντική υλοποίηση πολλών συνδέσεων νοητών καναλιών (VCCs) μέσα σε αυτά. Έτσι μειώνεται το προς επεξεργασία ποσό των πληροφοριών που απαιτεί η οργάνωση νέων VCCs και κατ' επέκταση απλοποιείται η διαχείριση πόρων σε ό,τι αφορά το εύρος ζώνης των ζεύξεων. Οι συνδέσεις νοητών καναλιών (VCCs) μπορούν να εγκατασταθούν με απλές αποφάσεις αποδοχής στα τερματικά σημεία των συνδέσεων νοητών μονοπατιών (VPC) και μόνον, αρκεί να υπάρχει η απαιτούμενη χωρητικότητα. Θα μπορούσαν να προστεθούν στα εν δυνάμει πλεονεκτήματα, η απλή (και επομένως χαμηλού κόστους) διαχείριση και αστυνόμευση ομάδων συνδέσεων νοητών καναλιών (VCCs) και η δυνατότητα εύκολων προσαρμοζόμενων αναδιατάξεων της δομής του δικτύου (με απλή τροποποίηση των πληροφοριών δρομολόγησης στα σημεία "επαφής" των συνδέσεων νοητών μονοπατιών). Επίσης θα μπορούσε να υπάρξει και λογικός διαχωρισμός των κλάσεων ποιότητας υπηρεσίας (QoS). Συνδέσεις νοητών καναλιών (VCCs) με ομοειδείς απαιτήσεις σε ποιότητα υπηρεσίας, μπορούν να συγκροτήσουν ομάδες, με μια σύνδεση νοητού μονοπατιού ανά κλάση. Γενικά για την διαχείριση πόρων, το επίπεδο των συνδέσεων νοητών μονοπατιών θεωρείται ως πιο κατάλληλο από το αντίστοιχο των νοητών καναλιών, υπό την προϋπόθεση ότι υπάρχουν αρκετά νοητά μονοπάτια (με τον αντίστοιχο χώρο διευθύνσεων) και είναι επαρκούς χωρητικότητας.

### 4.3.2 Ταχεία Διαχείριση Πόρων

Πέραν όμως από την απλή αντιμετώπιση που αναλύσαμε προηγουμένως, υπάρχουν και άλλες τεχνικές που ασχολούνται με την διαχείριση πόρων. Οι μέθοδοι αυτοί ασχολούνται με την ταχεία διαχείριση πόρων (Fast Resource Management) και πίο συγκεκριμένα ρόλος τους είναι η δυναμική διαχείριση του εύρους ζώνης και των χώρων ενδιάμεσης αποθήκευσης των κόμβων (Fast Bandwidth Reservation και Fast Buffer Reservation αντίστοιχα). Οι μέθοδοι αυτοί αντιμετωπίζουν κύρια τις περιπτώσεις, όπου η παραγόμενη κίνηση χαρακτηρίζεται από καταγισμούς, στο μέγιστο ρυθμό, μεταξύ των οποίων υπάρχουν περίοδοι αδράνειας. Παράδειγμα εφαρμογής με τα παραπάνω χαρακτηριστικά, αποτελεί η μεταφορά δεδομένων ανάμεσα σε τοπικά δίκτυα. Στις περιπτώσεις αυτές ο μέγιστος ρυθμός είναι η μόνη σημαντική παράμετρος. Έτσι αντί για την διαπραγμάτευση ενός λεπτομερούς συμβολαίου κίνησης (γεγονός που οδηγεί σε μια σχετικά μεγάλης διάρκειας φάση εγκατάστασης σύνδεσης), είναι πιο αποδοτική η χρήση μιας απλούστερης διαδικασίας εγκατάστασης που αναφέρεται σε κάθε καταγισμό χωριστά και η οποία χαρακτηρίζεται ως πρωτόκολλο ταχείας κράτησης (fast reservation protocol). Πρέπει να τονισθεί, ότι προς το παρόν το πρωτόκολλο δεν περιλαμβάνεται στα ATM πρότυπα ελέγχου κίνησης. Στη συνέχεια αναλύουμε περαιτέρω τις μεθόδους ταχείας διαχείρισης δέσμησης εύρους ζώνης και δέσμησης Buffer).

- **Fast Bandwidth Reservation**

Στη μέθοδο αυτή γίνεται κράτηση εύρους ζώνης στους κόμβους κατά μήκος μιας διαδρομής. Μπορούμε να διακρίνουμε δύο τεχνικές με τις οποίες μπορεί να γίνει η κράτηση αυτή. Η πρώτη τεχνική, εξασφαλίζει κράτηση "εγγυημένη με καθυστέρηση" (delayed guaranteed). Στην τεχνική αυτή χρησιμοποιείται μία ειδική κυψελίδα που δηλώνει την αίτηση για κράτηση εύρους ζώνης (REQ BW), σε κάθε κόμβο κατά μήκος της διαδρομής. Η κυψελίδα αυτή στέλνεται πριν την αποστολή του καταγιγισμού δεδομένων. Κάθε ενδιάμεσος κόμβος δέχεται την αίτηση ή την απορρίπτει ή ακόμη στέλνει στην αρχή (πηγή) ένα μήνυμα σφάλματος. Εάν όλοι οι ενδιάμεσοι κόμβοι απαντήσουν θετικά, ο τελευταίος κόμβος στέλνει στην πηγή μια απάντηση στην οποία δηλώνεται η κράτηση του εύρους ζώνης που ζητήθηκε (GRANT BW) και αρχίζει η μετάδοση της κίνησης καταγιγισμού. Με την ολοκλήρωση της μετάδοσης, η πηγή στέλνει ένα μήνυμα απόλυσης της κράτησης εύρους ζώνης. Το μήνυμα αυτό μεταδίδεται σε όλους τους ενδιάμεσους κόμβους χρησιμοποιώντας ένα αξιόπιστο πρωτόκολλο μεταφοράς. Το σχήμα αυτό λειτουργεί αποδοτικά στις περιπτώσεις που το μήκος καταγιγισμού είναι σημαντικά μεγαλύτερο από τους χρόνους εγκατάστασης και απόλυσης μιας σύνδεσης. Πέραν όμως της τεχνικής αυτής, υπάρχει και η τεχνική της άμεση και χωρίς εγγύηση" (immediate unguaranteed) κράτησης. Σε αυτήν η κίνηση καταγιγισμού στέλνεται, από τον χρήστη, αμέσως μετά την ειδική κυψελίδα που περιγράφει τις παραμέτρους κίνησής της. Τόσο ο κόμβος εισόδου, όσο και οι ενδιάμεσοι κόμβοι με βάση τις πληροφορίες της ειδικής κυψελίδας, αποφασίζουν για την εξυπηρέτηση ή όχι της κίνησης. Προφανώς, η διαδικασία είναι πιο γρήγορη αλλά δεν υπάρχει εγγύηση για την ακέραια παράδοση της κίνησης καταγιγισμού.

- **Fast Buffer Reservation**

Η μέθοδος αυτή (Fast Buffer Reservation) αναφέρεται στην διαχείριση του χώρου αναμονής των ενδιάμεσων κόμβων. Σύμφωνα με το χρησιμοποιούμενο πρωτόκολλο, πριν επιτραπεί η είσοδος στο δίκτυο της κίνησης καταγιγισμού, απαιτείται η κράτηση του απαραίτητου χώρου αναμονής σε κάθε κόμβο της διαδρομής. Αυτό μπορεί να γίνει με μια αίτηση (μέσω ειδικής κυψελίδας) ή προκαθορίζοντας τους χώρους αναμονής σε κάθε κόμβο, κατά την διαδικασία "εγγραφής" στο ATM δίκτυο. Μάλιστα ο προκαθορισμός γίνεται για κάθε σύνδεση νοητού μονοπατιού και καναλιού. Όταν η κίνηση φθάσει σε ένα κόμβο, ελέγχεται με βάση την αίτηση κράτησης χώρου (REQ BUF) που είχε προηγηθεί και τον υπάρχοντα διαθέσιμο χώρο. Η κίνηση καταγιγισμού γίνεται δεκτή εάν ο αιτούμενος χώρος είναι μικρότερος από τον διαθέσιμο και απορρίπτεται σε αντίθετη περίπτωση. Η αποδοχή ή μη αναφέρεται σε όλο τον καταγιγισμό και τα ανώτερα επίπεδα πρωτοκόλλων είναι υπεύθυνα για την παρακολούθηση της κίνησης καταγιγισμού που απορρίπτεται και για την επαναποστολή της.

### 4.3.3 Έλεγχος Συμφόρησης

Όπως αναφέραμε και προηγουμένως, οι μέθοδοι αυτοί αποτελούν μεθόδους αντίδρασης, αντιμετώπισης της συμφόρησης και τίθενται σε εφαρμογή στην περίπτωση όπου

εμφανίζεται ελαφριάς μορφής συμφόρησης. Ανάμεσα σε αυτές, μπορούμε να διακρίνουμε τις ακόλουθες:

#### **4.3.3.1 Άμεση Ένδειξη Συμφόρησης Προς τα Μπροσ (Explicit Forward Congestion Indication - EFCI)**

Η μέθοδος αυτή προσπαθεί να αποτρέψει την επέκταση της συμφόρησης όταν αυτή εμφανιστεί σε κάποιο σημείο του δικτύου. Έτσι, όταν παρουσιαστεί συμφόρηση σε κάποιο στοιχείο του δικτύου, τότε αυτό το στοιχείο αναλαμβάνει να ενημερώσει το υπόλοιπο δίκτυο για την κατάσταση στην οποία βρίσκεται. Για το σκοπό αυτό αλλάζει το πεδίο PT της επικεφαλίδας μιας κυψελίδας. Η κυψελίδα αυτή δεν μπορεί να απορριφθεί ή να αλλάξει εκ νέου και με τον τρόπο αυτό πληροφορεί τους άλλους κόμβους του δικτύου, στο κατερχόμενο ρεύμα, καθώς επίσης και την διάταξη που υπάρχει στο σημείο προορισμού. Το σημείο προορισμού, με βάση τις ενδείξεις συμφόρησης, μπορεί να ζητήσει από την πηγή να προσαρμόσει το ρυθμό της. Ο μηχανισμός αυτός δεν μπορεί να εμποδίσει τη δημιουργία συμφόρησης ή να αυξήσει τη χρησιμοποίηση του δικτύου, αλλά μπορεί να μετριάσει το ρυθμό απώλειας κυψελίδων κατά τη διάρκεια περιόδων συμφόρησης. Η απόφαση για την ενεργοποίηση του EFCI και η εσωτερική λειτουργία παρακολούθησης (δηλ. η χρήση του EFCI από τα πρωτόκολλα των ανώτερων επιπέδων) δεν έχουν τυποποιηθεί.

#### **4.3.3.2 Χαρακτηρισμός από τον Έλεγχο Παραμέτρων Χρήσης**

Η μέθοδος εφαρμόζεται στον έλεγχο κίνησης αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί και στην αποφυγή συμφόρησης. Αναφέρεται στον χαρακτηρισμό των κυψελίδων τοποθετώντας ετικέτες (tagging) σε αυτές. Το πλέον κλασικό παράδειγμα είναι η αλλαγή του δυαδικού ψηφίου, που αντιστοιχεί στην προτεραιότητα απόρριψης κυψελίδας, σε μονάδα (CLP=1) από τον έλεγχο παραμέτρων χρήσης. Οι κυψελίδες με CLP=1, είναι είτε σε ασυμφωνία με το συμβόλαιο κίνησης είτε έχουν χαρακτηριστεί από τον χρήστη ως μεταφέρουσες αναλώσιμα δεδομένα. Ο χαρακτηρισμός αυτός επιτρέπει την επιλεκτική απόρριψη κυψελίδων. Όταν εμφανιστεί συμφόρηση και η απώλεια κάποιων κυψελίδων είναι αναπόφευκτη, απορρίπτονται πρώτα αυτές με τη χαμηλή προτεραιότητα απώλειας.

### **4.4 Προτεραιότητες Καθυστέρησης**

Μια ανάλογη προσέγγιση αποτελεί η χρήση προτεραιοτήτων καθυστέρησης. Οι προτεραιότητες καθυστέρησης επηρεάζουν τη σειρά, με την οποία προγραμματίζονται για μετάδοση κυψελίδες που είναι αποθηκευμένες. Έχουν προταθεί διάφορα σχήματα προγραμματισμού κυψελίδων. Κυψελίδες που δεν μεταδίδονται μέσα στα χρονικά

περιθώρια που τους έχουν αποδοθεί, απορρίπτονται. Στα δίκτυα είναι δυνατή η τοποθέτηση προτεραιοτήτων καθυστέρησης σε κάθε VPC/VCC. Με τον τρόπο αυτό, κυψελίδες που ανήκουν στην ίδια VPC/VCC, έχουν την ίδια προτεραιότητα καθυστέρησης. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον υπάρχει για μηχανισμούς που εξετάζουν ταυτόχρονα τις προτεραιότητες καθυστέρησης και απώλειας.

### **4.5 Παρεμπόδιση Κλήσεων (call blocking)**

Πρόκειται απλά για τη διαδικασία παρεμπόδισης κάθε νέας αίτησης για σύνδεση, από το έλεγχο αποδοχής συνδέσεων (CAC), πριν το δίκτυο να μεταπέσει σε κατάσταση σοβαρής

συμφόρησης. Η μέθοδος έχει εφαρμογή μόνο σε υπηρεσίες που είναι προσανατολισμένες προς τη σύνδεση.

#### **4.6 Μέθοδοι Ελέγχου Ροής (flow control) για την Αποφυγή Συμφόρησης**

Η βασική ιδέα των μεθόδων αυτών είναι η παροχή ενός μηχανισμού που θα επιτρέπει το δίκτυο να λειτουργεί στην περιοχή της ήπιας συμφόρησης και ο οποίος θα περιορίζει το προσφερόμενο στο δίκτυο φορτίο, πριν σημειωθούν απώλειες κίνησης. Με άλλα λόγια το τελικώς ζητούμενο είναι ο έλεγχος του προσφερόμενου φορτίου κίνησης, έτσι ώστε οι δικτυακοί πόροι να παρουσιάζουν απόδοση που θα είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά στις λειτουργικές τους δυνατότητες, ενώ παράλληλα να υπάρχει η ελάχιστη δυνατή απώλεια κίνησης. Τρεις από τις πλέον χρησιμοποιούμενες μεθόδους είναι:

- **Window - Based**

Ο έλεγχος ροής που βασίζεται στη χρήση παραθύρων. Η μέθοδος ελέγχει το μέγεθος των δεδομένων πηγής που μπορούν να μεταδοθούν (το λεγόμενο παράθυρο), με βάση τις πληροφορίες ανάδρασης.

- **Rate - Based**

Ο έλεγχος ροής που βασίζεται στην προσαρμογή του ρυθμού, όπου ο ρυθμός μετάδοσης της πηγής προσαρμόζεται δυναμικά ως απάντηση στις πληροφορίες ανάδρασης.

- **Credits**

Ο έλεγχος ανάδρασης που βασίζεται στην παροχή άδειας αποστολής σύμφωνα με την κατάσταση του δικτύου. Οι άδειες αυτές αποτελούν τις λεγόμενες "πιστώσεις" (credits).

##### **4.6.1 Επανάκαμψη από Κατάσταση Συμφόρησης**

Η επανάκαμψη από κατάσταση συμφόρησης περιλαμβάνει όλους τους μηχανισμούς που μπορούν να θεωρηθούν ως απαντήσεις στις περιπτώσεις όπου το δίκτυο εισέρχεται στην περιοχή σοβαρής συμφόρησης ή ακόμη και παραμένει σε αυτή για μεγάλο διάστημα.

Παραδείγματα τέτοιων μεθόδων αποτελούν:

- **Selective Cell Discard**

Η επιλεκτική απόρριψη κυψελίδων (selective cell discard), Έχει ήδη πολλές φορές αναφερθεί η δυνατότητα χαρακτηρισμού των κλήσεων με βάση την προτεραιότητα απώλειας κυψελίδας (CLP), γεγονός που επιτρέπει την επιλεκτική απόρριψη κυψελίδων με CLP=1 σε περιόδους συμφόρησης.

- **Dynamic UPC**

Η δυναμική αλλαγή των παραμέτρων ελέγχου χρήσης (dynamic UPC). Αναφέρεται στην διαδικασία δυναμικής αναδιαμόρφωσης των παραμέτρων UPC, με σκοπό την

επανάκαμψη από κατάσταση συμφόρησης. Η τροποποίηση αυτή μπορεί να γίνει μέσω επαναδιαπραγμάτευσης ή μονομερώς από το δίκτυο (για συγκεκριμένους μόνον τύπους συνδέσεων).

- **Bandwidth Offer Reduction**

Η μείωση της προσφερόμενης κίνησης από τον τελικό σταθμό. Στην περίπτωση αυτή, ένα πρωτόκολλο ανωτέρου επιπέδου, αναγνωρίζει την ύπαρξη συμφόρησης και περιορίζει την εφαρμογή, μειώνοντας έτσι την προσφερόμενη κίνηση από την πηγή.

Δύο τελευταίες μέθοδοι αναφέρονται σε πλέον δραστικές απαντήσεις σε καταστάσεις συμφόρησης και περιλαμβάνουν την αποσύνδεση συγκεκριμένων συνδέσεων (οι οποίες μάλιστα μπορούν να καθορισθούν εκ των προτέρων) και την άμεση εμπλοκή των ανθρώπων που διαχειρίζονται το ή τα δίκτυο(α), όταν όλες οι αυτόματες μέθοδοι δεν έχουν αποδώσει τα αναμενόμενα.



# Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup> : Έλεγχος δρομολόγησης

## 5.1 Ο Έλεγχος δρομολόγησης

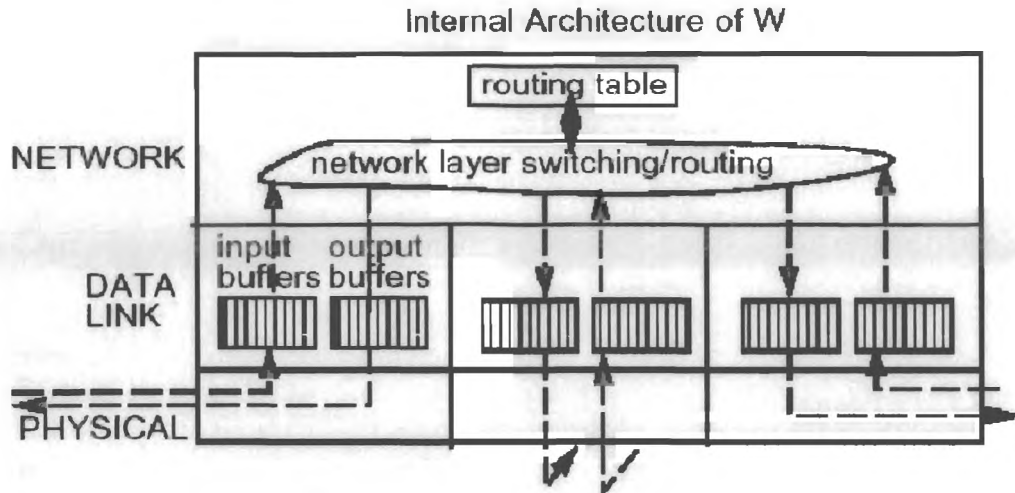
Η αποδοτική λειτουργία του δικτύου εξαρτάται από διάφορες παραμέτρους του σχεδιασμού του, με μια από τις πλέον σημαντικές να είναι η δρομολόγηση, καθώς στα περισσότερα υποδίκτυα τα πακέτα χρειάζονται πολλά βήματα για τον προορισμό.

Ο όρος δρομολόγηση (Routing) σε αυτό το έγγραφο χρησιμοποιείται για να περιγράψει:

1. Τις διαδικασίες με τις οποίες ένας (πηγαίος ή μεσάζων) κόμβος, που χρησιμοποιεί τη διεύθυνση προορισμού οργάνωσης κλήσης (αποκαλούμενη αριθμός συμβαλλόμενων μερών), καθορίζει πως η οργάνωση κλήσης πρέπει να διαβιβαστεί στη συνέχεια. Στα δίκτυα ATM αυτή η διαδικασία καθορίζει όχι μόνο τον επόμενο κόμβο, αλλά όλους τους κόμβους από την πηγή στον προορισμό ή

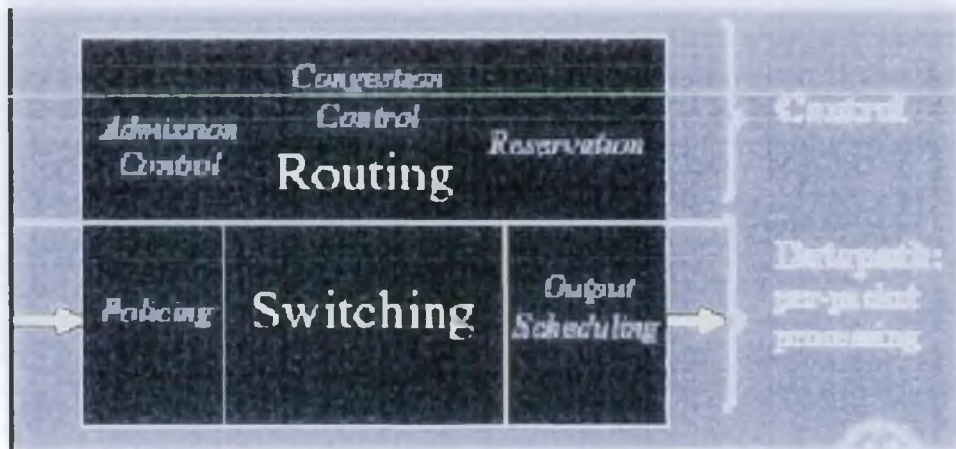
2. Το πρωτόκολλο διανομής πληροφοριών δρομολόγησης που επιτρέπει σε έναν κόμβο να διαφημίσει τα προθέματα στα οποία έχει την άμεση προσβασιμότητα (reachability). Αυτή η διαδικασία επίσης αναγγέλλει δημόσια τη θέση (και την κατανομή των πόρων) όλων των άμεσα συνδεδεμένων συνδέσεων. Αυτές οι πληροφορίες διανέμονται σε όλους τους κόμβους στο δίκτυο. Η διανομή πληροφοριών δρομολόγησης επιτρέπει σε κάθε κόμβο να κατασκευάσει έναν πίνακα δρομολόγησης που χρησιμοποιείται για να καθορίσει το μονοπάτι από έναν κόμβο πηγής στον κόμβο εξόδου που εξυπηρετεί έναν δεδομένο προορισμό (όπως καθορίζεται από ένα πρόθεμα AESA). Τα προθέματα των ποικίλων μηκών, ανάλογα με πόσο είναι απαραίτητο να διακρίνεται μια κατάλληλη διαδρομή, τηρούνται στον πίνακα δρομολόγησης. Η διαδρομή από την πηγή στον προορισμό είναι βασισμένη στο αποκαλούμενο πρόθεμα 19 octet του αριθμού συμβαλλόμενων μερών από κοινού με τον πίνακα δρομολόγησης.

Η δρομολόγηση στο ATM είναι βασισμένη στις εικονικές συνδέσεις μονοπατιών (VPCs), με μια διαδρομή να καθορίζεται ως αλληλουχία από VPCs. Ευρέως έχει γίνει αποδεκτό ότι τα VPCs προσφέρουν τα πολύτιμα χαρακτηριστικά γνωρίσματα που επιτρέπουν την κατασκευή οικονομικών και αποδοτικών δικτύων ATM, με το σημαντικότερο αυτών την διαχειριστική ευελιξία. Επειδή τα VPCs καθορίζονται από τις διαμορφώσιμες παραμέτρους του δικτύου, αυτές οι παράμετροι και στη συνέχεια οι διαδρομές που βασίζονται σε αυτές μπορούν να διαμορφωθούν και να επαναδιαμορφωθούν on-line από ένα σύστημα διαχείρισης ανάλογα με τις συνθήκες του δικτύου. Επειδή το ATM είναι προσανατολισμένο στη σύνδεση, απαιτούνται πίνακες δρομολόγησης στα τμήματα των μεταγωγέων. Οι εικονικές συνδέσεις μονοπατιών (VPCs) εγκαθίστανται με βάση τους πίνακες δρομολόγησης, όπως αυτοί έχουν διαμορφωθεί από το ξεχωριστό πρωτόκολλο δρομολόγησης. Βάσει των πινάκων αυτών δημιουργούνται και αναπροσαρμόζονται οι πίνακες μετάφρασης στον κόμβο μεταγωγής.



Σχήμα 5α : Παράσταση δρομολόγησης

Καθώς χρησιμοποιεί νοητά κυκλώματα εσωτερικά, οι αποφάσεις δρομολόγησης λαμβάνονται μόνο όταν εγκαθίστανται νέα νοητά κυκλώματα, και, από τη στιγμή αυτή και μετά, τα πακέτα απλώς ακολουθούν την διαδρομή που εγκαταστάθηκε προηγουμένως.



Σχήμα 5β : Λογικοί παράγοντες στην δρομολόγηση

Το πρότυπο ATM δεν προσδιορίζει κάποιο συγκεκριμένο αλγόριθμο δρομολόγησης, οπότε ο φορέας είναι ελεύθερος να διαλέξει αυτός τον αλγόριθμο δρομολόγησης.

## 5.2 Δυναμικοί Αλγόριθμοι δρομολόγησης

Οι αλγόριθμοι δρομολόγησης ομαδοποιούνται σε δύο βασικές κατηγορίες τους μη προσαρμοστικούς (non adaptive) οι οποίοι δεν βασίζονται τις αποφάσεις δρομολόγησης ή εκτιμήσεις της τρέχουσας κίνησης του δικτύου και τους προσαρμοστικούς (adaptive) οι

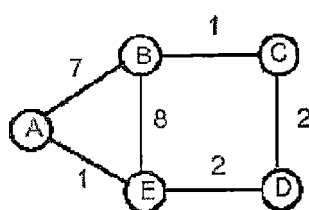
οποίοι αλλάζουν τις αποφάσεις τους ανάλογα με την τοπολογία και την κίνηση του δικτύου. Οι προσαρμοστικοί αλγόριθμοι διαφέρουν μεταξύ τους ως προς την προέλευση των πληροφοριών τους, το πότε αλλάζουν τις διαδρομές καθώς και ως προς το κριτήριο που χρησιμοποιούν για τη βελτιστοποίηση. Στην συνέχεια θα αναλύσουμε κάποιους από τους σημαντικότερους δυναμικούς αλγόριθμους δρομολόγησης.

### 5.2.1 Αλγόριθμος δρομολόγησης διανύσματος αποστάσεων (Distance Vector Routing Algorithm)

Οι διανυσματικοί αλγόριθμοι απόστασης είναι βασισμένοι στην εργασία που R. E. Bellman, L. R. Ford, and D. R. Fulkerson και για αυτόν τον λόγο περιστασιακά αναφέρεται ως **Bellman-Ford** ή **Ford-Fulkerson**.

Στη δρομολόγηση διανύσματος αποστάσεων κάθε δρομολογητής διατηρεί έναν πίνακα δρομολόγησης ο οποίος περιέχει μία καταχώρηση για κάθε δρομολογητή του υποδικτύου. Αυτή η καταχώρηση περιέχει δύο τμήματα την προτεινόμενη εξερχόμενη γραμμή που πρέπει να χρησιμοποιηθεί για τον προορισμό αυτό και μία εκτίμηση του χρόνου ή της απόστασης για τον προορισμό και αποτελεί το διάνυσμα αποστάσεων.

Το διάνυσμα αποστάσεων παράγεται από το γεγονός ότι οι διαδρομές διαφημίζονται ως διανύσματα (απόσταση, κατεύθυνση), όπου η απόσταση καθορίζεται ως ένα μέτρο (συνήθως ο αριθμός βημάτων, η καθυστέρηση σε msec, ο συνολικός αριθμός πακέτων κατά μήκος της διαδρομής κ.α. ) και μιας κατεύθυνσης που καθορίζεται ως ο επόμενος δρομολογητής. Παραδείγματος χάριν, "ο προορισμός A είναι μια απόσταση 5 βημάτων μακριά, στην κατεύθυνση του επόμενου δρομολογητή X." . Όπως αυτή η δήλωση υπονοεί, κάθε δρομολογητής μαθαίνει τις διαδρομές από τις προοπτικές των γειτονικών δρομολογητών του και διαφημίζει έπειτα τις διαδρομές από την δική του προοπτική. Επειδή κάθε δρομολογητής εξαρτάται από τους γείτονές του για τις πληροφορίες, τις οποίες οι γείτονες μπορεί να έχουν μάθει από τους γείτονές τους, η δρομολόγηση με βάση το διάνυσμα αποστάσεων μερικές φορές περιπαικτικά αναφέρεται όπως "δρομολόγηση από τη φήμη."



D <sup>E</sup> ( destination)	cost to destination via		
	A	B	D
A	①	14	5
B	7	8	⑤
C	6	9	④
D	4	11	②

Σχήμα 5γ : Παράδειγμα πίνακα δρομολόγησης

Οι δρομολογητές στέλνουν περιοδικά τις αναπροσαρμογές δρομολόγησης σε όλους τους γείτονες τους μέσω της εκπομπής των πινάκων δρομολόγησής τους.

Η προηγούμενη δήλωση περιέχει πολλές πληροφορίες.

- Οι περιοδικές ενημερώσεις αναπροσαρμογών σημαίνουν ότι στο τέλος μιας ορισμένης

χρονικής περιόδου, οι αναπροσαρμογές θα διαβιβαστούν. Το ζήτημα είναι ότι εάν οι αναπροσαρμογές στέλνονται επίσης συχνά, η συμφόρηση μπορεί να εμφανιστεί. Εάν οι αναπροσαρμογές στέλνονται επίσης σπάνια, ο χρόνος σύγκλισης μπορεί να είναι απαράδεκτα υψηλός.

- Στα πλαίσια των δρομολογητών, οι γείτονες σημαίνουν πάντα τους δρομολογητές που μοιράζονται μια κοινή σύνδεση. Ένα διανυσματικό πρωτόκολλο δρομολόγησης απόστασης στέλνει τις αναπροσαρμογές του σε κάθε γειτονικό δρομολογητή και εξαρτάται από αυτούς για να περάσει τις πληροφορίες αναπροσαρμογών εμπρός στους γείτονές τους. Για αυτόν τον λόγο, η διανυσματική δρομολόγηση απόστασης λέγεται για να χρησιμοποιήσει τις αναπροσαρμογές hop-by-hop.

- Ο πλήρης πίνακας δρομολόγησης ενημερώνει την μεγαλύτερη απόσταση. Στα περισσότερα διανυσματικά πρωτόκολλα δρομολόγησης η ενημέρωση όλων γειτόνων τους γίνεται με την εκπομπή ολόκληρου πίνακα διαδρομών τους, με μερικές εξαιρέσεις. Οι γείτονες που λαμβάνουν αυτές τις αναπροσαρμογές σταχυολογούν τις πληροφορίες που χρειάζονται και απορρίπτουν όλες τις άλλες.

Σύμφωνα με το αλγόριθμο διανύσματος απόστασης που έχει περιγραφεί μέχρι τώρα, σε κάθε περίοδο αναπροσαρμογών κάθε δρομολογητής εκπέμπει ολόκληρο τον πίνακα διαδρομών του σε κάθε γείτονα. Ενώ όμως ο αλγόριθμος δουλεύει καλά στη θεωρία, στην πράξη παρατηρείται ότι τα καλά νέα προωθούνται γρήγορα, όχι όμως τα άσχημα, δηλαδή αργά στη σύγκλιση. Τα καλά νέα μεταδίδονται με ρυθμό ένα βήμα ανά ανταλλαγή μεταξύ των δρομολογητών. Σε υποδίκτυο, όπου η μέγιστη διαδρομή είναι  $N$  βήματα μήκος, μετά από  $N$  ανταλλαγές ενημερώνονται όλοι για τις γραμμές και τους δρομολογητές που επανήλθαν σε λειτουργία. Κι αυτό, γιατί κανένας δρομολογητής δεν έχει ποτέ μια τιμή που να είναι μεγαλύτερη περισσότερο από ένα από την ελάχιστη τιμή όλων των υπολοίπων δρομολογητών. Ο απαιτούμενος αριθμός ανταλλαγών εξαρτάται από την τιμή που χρησιμοποιείται ως άπειρο. Το πρόβλημα είναι γνωστό ως μέτρημα προς το άπειρο (*count to infinity*), γιατί όλοι οι δρομολογητές σταδιακά τείνουν προς το άπειρο. Για το πρόβλημα του μετρήματος προς το άπειρο χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος του χωρισμένου ορίζοντα (*split horizon*). Κάθε δίκτυο που είναι γνωστό από το δρομολογητή  $A$  με μια αρίθμηση βήματος υψηλότερη από 0, έχει μαθευτεί από τον δρομολογητή  $B$ . Μια διαδρομή που δείχνει πίσω στο δρομολογητή από τον οποίο τα πακέτα παραλήφθηκαν καλείται μια αντίστροφη διαδρομή. Ο διασπασμένος ορίζοντας είναι μια τεχνική για τις αντίστροφες διαδρομές μεταξύ δύο δρομολογητών. Εκτός από την μη σπατάλη των στοιχείων συμπεριφοράς, υπάρχει ένας σημαντικότερος λόγος για τις πληροφορίες reachability πίσω στο δρομολογητή από τον οποίο οι πληροφορίες μαθεύτηκαν. Η σημαντικότερη λειτουργία ενός δυναμικού πρωτοκόλλου δρομολόγησης είναι να ανιχνευθούν και να αντισταθμιστούν οι αλλαγές τοπολογίας - εάν η καλύτερη διαδρομή σε ένα δίκτυο γίνεται απρόσιτη, το πρωτόκολλο πρέπει να ψάξει μια άλλη καλύτερη διαδρομή. Η εφαρμογή του διασπασμένου ορίζοντα αποτρέπει τη δυνατότητα ενός τέτοιου βρόχου δρομολόγησης. Υπάρχουν δύο κατηγορίες διασπασμένου ορίζοντα: απλός διασπασμένος ορίζοντας και διασπασμένος ορίζοντας με τη δηλητηριασμένη αντιστροφή.

### 5.2.2 Δρομολόγηση κατάστασης ζεύξεων

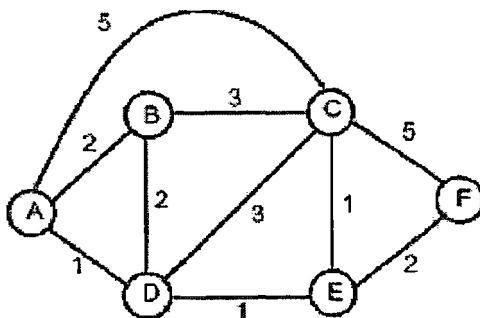
Στα πρωτόκολλα δρομολόγησης κατάστασης κάθε δρομολογητής έχει μια πλήρη εικόνα του δικτύου. Ο λόγος είναι ότι αντίθετα από την προσπέλαση "δρομολόγηση βάσει φήμης" του διανύσματος απόστασης, οι δρομολογητές κατάστασης ζεύξεων έχουν τις από πρώτο χέρι

πληροφορίες από όλους τους ομότιμους δρομολογητές. Κάθε δρομολογητής δημιουργεί τις πληροφορίες για τον εαυτό του, τις άμεσα συνδεδεμένες συνδέσεις του, και την κατάσταση αυτών των συνδέσεων (ως εκ τούτου το όνομα). Αυτές οι πληροφορίες περνούν από δρομολογητή σε δρομολογητή, με κάθε δρομολογητή να κάνει ένα αντίγραφο του, αλλά ποτέ να μην το αλλάζει. Ο τελικός στόχος είναι ότι κάθε δρομολογητής έχει τις ίδιες πληροφορίες για το internetwork, και κάθε δρομολογητής θα υπολογίσει ανεξάρτητα μόνος του τις βέλτιστες διαδρομές. Τα πρωτόκολλα κατάστασης ζεύξεων, αποκαλούμενα μερικές φορές called **shortest path first** ή **distributed database**, χτίζονται γύρω από τον γνωστό αλγόριθμο του Dijkstra'a.

Γνωστότερο παράδειγμα από αλγόριθμους δρομολόγησης κατάστασης ζεύξεων είναι ο Open Shortest Path First (OSPF) (OSPF).

Αν και τα πρωτόκολλα κατάστασης ζεύξεων θεωρούνται πιο σύνθετα από την πρωτόκολλα διανύσματος απόστασης, η βασική λειτουργία δεν είναι σύνθετη :

1. Κάθε δρομολογητής καθιερώνει μια σχέση - μια γειτνίαση - με κάθε έναν από τους γείτονές του. Αυτό επιτυγχάνεται με την αποστολή ειδικών πακέτων HELLO κατά την εκκίνηση του δρομολογητή σε όλες τις από σημείο σε σημείο γραμμές του. Ο δρομολογητής στο άλλο άκρο στέλνει μία απάντηση ποιός είναι.
2. Κάθε δρομολογητής υπολογίζει την καθυστέρηση ή το κόστος για τον καθένα από τους γείτονές του, συνήθως με την χρήση πακέτων ECHO.
3. Κάθε δρομολογητής στέλνει τις ανακοινώσεις κατάστασης συνδέσεων (LSAs) σε όλους τους υπόλοιπους δρομολογητές και τις καταχωρεί στην βάση δεδομένων του.
4. Κάθε δρομολογητής καταχωρεί ένα αντίγραφο όλου του LSAs που έχει δει σε μια βάση δεδομένων. Εάν ήταν όλες οι εργασίες έχουν γίνει καλά, οι βάσεις δεδομένων σε όλους τους δρομολογητές ίδιες.



step	N	D(C),p(C)	D(E),p(E)	D(F),p(F)
0	A	5,A	∞,-	∞,-
1	AD	4,D	2,D	∞,-
2	ADE	3,E	2,D	4,E
3	ADEB	3,E		4,E
4	ADEBC			4,E
5	ADEBCF			

Σχήμα 5δ : Παράδειγμα υπολογισμού διαδρομής με τον αλγόριθμο Dijkstra

5. Η ολοκληρωμένη τοπολογική βάση δεδομένων, αποκαλούμενη επίσης βάση δεδομένων κατάστασης συνδέσεων, περιγράφει έναν γράφο του δικτύου. Χρησιμοποιώντας τον

αλγόριθμο Dijkstra, κάθε δρομολογητής υπολογίζει το κοντύτερο μονοπάτι σε κάθε δίκτυο και εισάγει αυτές τις πληροφορίες στον πίνακα διαδρομών. Ο τρόπος εργασίας του αλγόριθμου του Dijkstra μπορεί να περιγραφεί ως Αρχικός κόμβος A και σκοπός μετά από κ βήματα να γνωρίζω την συντομότερη διαδρομή για k γειτονικούς κόμβους

Initialization

$N = \{A\}$

for all nodes v

if v adjacent to A

then  $D(v) = c(A, v)$

else  $D(v) = \infty$

repeat

find w not in N such that D(w) is smallest

add w into N

update D(v) for all v not in N:

$D(v) = \min(D(v), D(w) + c(w, v))$

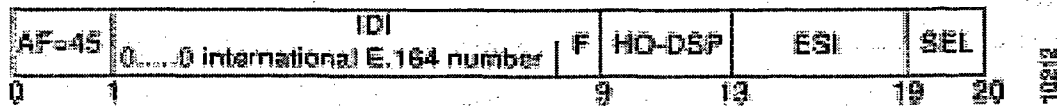
until all nodes in N

### 5.2.3 Ιεραρχική δρομολόγηση

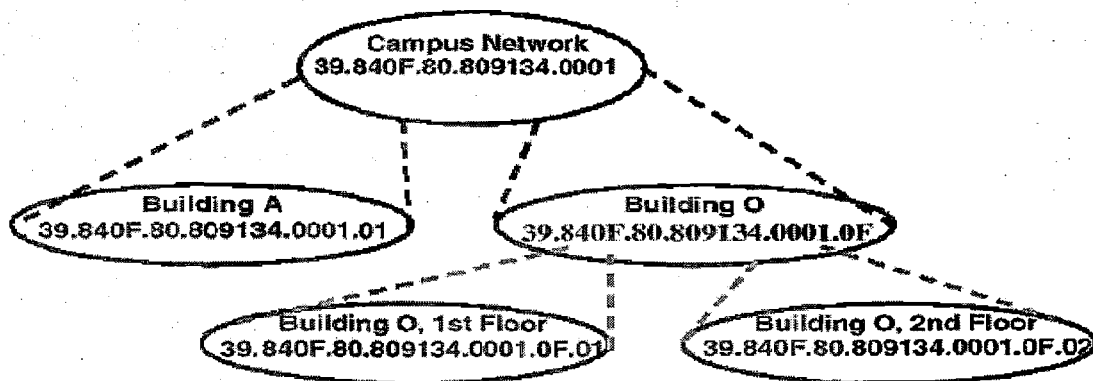
Η συνάθροιση διευθύνσεων είναι ένας μηχανισμός που χρησιμοποιείται για να επιτρέψει τα δίκτυα να κλιμακώνονται. Εάν όλες οι διευθύνσεις που ανατίθενται σε μια τοποθεσία του δικτύου μοιράζονται ένα κοινό πρόθεμα, κατόπιν εκείνο το πρόθεμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε άλλα μέρη του δικτύου αντί της απαρίθμησης κάθε τοπικής διεύθυνσης. Ας σημειωθεί ότι σε αυτό το πλαίσιο η τοποθεσία όπου αναφέρεται στην τοπολογία δικτύων, όχι απαραίτητα γεωγραφία. Μία συνάθροιση διευθύνσεων είναι ένα σύνολο διευθύνσεων που παράγονται από ένα κοινό πρόθεμα και μια κοινή τοποθεσία μέσα στο δίκτυο. Τα σύνολα διευθύνσεων χρησιμοποιούνται από τα πρωτόκολλα δρομολόγησης ως μια σύντμηση για τις διασυνδέσεις του συνδεδεμένου συνόλου προορισμού. Εάν οι διευθύνσεις που μοιράζονται ένα κοινό πρόθεμα δεν έχουν μια κοινή τοποθεσία, το αποτέλεσμα της συνάθροισής τους δεν είναι συνήθως χρήσιμο για την δρομολόγηση. Κατά συνέπεια ο ένας στόχος της σχεδίασης του τρόπου κατανομής διευθύνσεων είναι να ανατεθούν με συνέπεια οι διευθύνσεις σε μια τοποθεσία της τοπολογίας δικτύων έτσι ώστε μοιράζονται ένα κοινό πρόθεμα διευθύνσεων. Εάν μια διεύθυνση ή ένα μικρότερο σύνολο (μακρύτερο πρόθεμα) ανατίθεται έξω από την τοποθεσία του μεγαλύτερου συνόλου, κατόπιν καλείται μια εξαίρεση και απαιτεί μια χωριστή είσοδο στον πίνακα δρομολόγησης για να το προσδιορίσει σε όλο το δίκτυο. Επομένως το όφελος της συνάθροισης είναι αντιστρόφως ανάλογο προς τον αριθμό εξαιρέσεων που χρειάζονται να παρασχεθούν. Ένα αρχικό πρόβλημα είναι να μειωθεί ο αριθμός μη- συναθροισμένων προθεμάτων διευθύνσεων. Ενώ η υποστήριξη των πολλαπλών μορφών διευθύνσεων μπορεί να μειώσει το βαθμό στον οποίο οι διευθύνσεις μπορούν να συναθροιστούν, η χρήση των πολλαπλών μορφών δεν είναι η ίδια το πρόβλημα. Αυτό είναι ο βαθμός στον οποίο η δομή διευθύνσεων του δικτύου απεικονίζει την τοπολογία δικτύων και διευκολύνει έτσι τη συνάθροιση διευθύνσεων.

Η δρομολόγηση προθέματος μέσα στο διάστημα διευθύνσεων AESA είναι βασισμένη στο ταίριασμα του αποκαλούμενου αριθμού συμβαλλόμενων μερών ενάντια στις καταχωρήσεις (προθέματα) στον πίνακα δρομολόγησης. Μπορούν να υπάρξουν διάφορες είσοδοι που αρχίζουν με τα ίδια λίγα octets. Παραδείγματος χάριν, όλες οι DCC AESAs που ανήκουν στις ΗΠΑ αρχίζουν με τα ίδια 4 octets και όλα τα αμερικανικά DCC προθέματα AESA μέσα στην ίδια οργάνωση αρχίζουν με τα ίδια 7 octets (όπου ο 8ος octet να χρησιμοποιηθεί για να διακρίνει το ένα site από ένα άλλο). Κατά συνέπεια κάθε είσοδος στον πίνακα δρομολόγησης

συνδέει ένα πρόθεμα και το μήκος της (στα δυαδικά ψηφία) με μια διαδρομή πηγής (εάν χρησιμοποιείται PNNI) ή έναν εξερχόμενο κορμό (ενδεχομένως περισσότεροι του ενός, με μια μετρική επιτρέποντας επιλογή του "καλύτερου"). Το πρόθεμα 19 octet της αποκαλούμενης διεύθυνσης συμβαλλόμενων μερών πιθανόν να ταιριάζει σε μερικό αριθμό δυαδικών ψηφίων στο μήκος, με πολλά από τα προθέματα στον πίνακα δρομολόγησης. Η μακρύτερη αντιστοιχία είναι το πρόθεμα στον πίνακα δρομολόγησης που ταιριάζει με το πρόθεμα 19 octet του αποκαλούμενου συμβαλλόμενου μέρους στο μεγαλύτερο αριθμό δυαδικών ψηφίων. Η διαδρομή πηγής ή ο εξερχόμενος κορμός της μακρύτερης αντιστοιχίας καθορίζει χαρακτηριστικά που η κλήση πρέπει να καθοδηγηθεί.



Σχήμα 5ε : μορφή διευθύνσεων AESA



Σχήμα 5ζ : Πανεπιστημιακό δίκτυο με σύνολο διευθύνσεων.

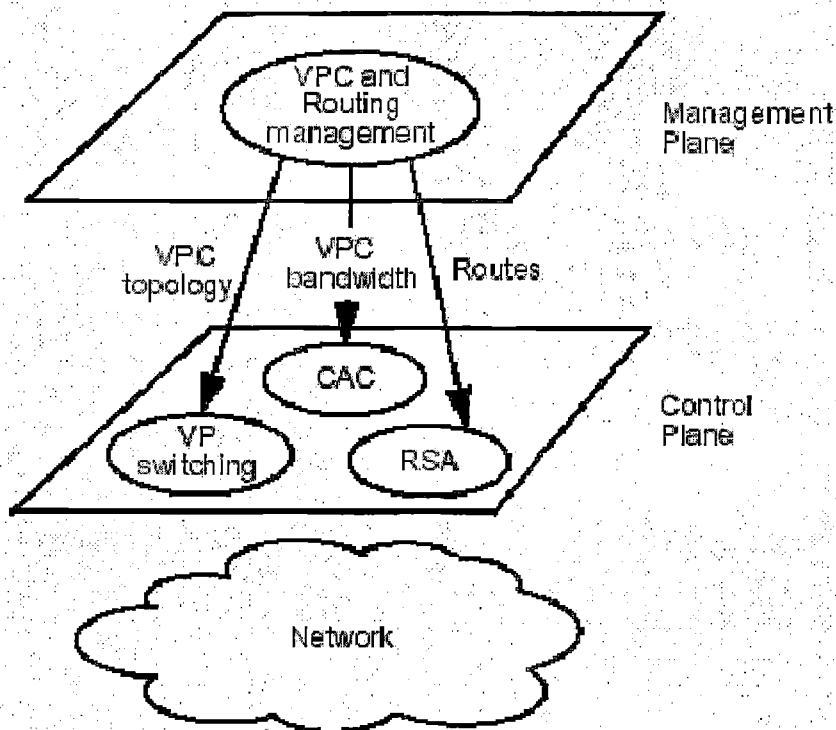
Το μακρύτερο ταίριασμα προθέματος επιτρέπει την συνάθροιση διευθύνσεων. Επειδή ένα ASP πρόθεμα είναι συνήθως δομημένο γεωγραφικά στα μέρη του που έχουν μεγαλύτερη σειρά (από τη χώρα, την περιοχή μέσα στη χώρα, κ.λπ.), οι πίνακες δρομολόγησης για τους κόμβους σε μία τοποθεσία δεν χρειάζεται να ξέρουν όλα τα προθέματα διευθύνσεων των κόμβων σε μία άλλη. Χρειάζονται να ξέρουν μόνο ότι εκείνοι οι κόμβοι μπορούν να προσπελαστούν διαμέσου μίας ή περισσότερων συνδέσεων που είναι απευθείας συνδεδεμένες. Κατά συνέπεια όλα τα 13 προθέματα octet (104 bits) των UNIs και των κόμβων στην δεύτερη τοποθεσία μπορούν να αντιπροσωπευθούν ως ενιαίο, κοντύτερο, πρόθεμα (πχ μήκους 72 bit). Αυτό σημαίνει ότι οι πίνακες δρομολόγησης μπορούν να είναι αρκετά μικροί και ότι οι ιδιότητες κλιμάκωσης είναι καλές. Πρέπει να σημειωθεί ότι τυπικά η συνάθροιση των διευθύνσεων δεν είναι αυτόματη, αλλά γίνεται από την διοίκηση κατά τη διάρκεια της φάσης προγραμματισμού των δικτύων. Όταν τα δίκτυα πελατών συνδέονται, εντούτοις, υπάρχουν προβλήματα. Τέτοιοι πελάτες μπορούν να χρησιμοποιήσουν διευθύνσεις που ανήκουν σε πελάτες. Αυτές οι διευθύνσεις δεν διανέμονται απαραίτητως διαμέσου του ASP δίκτυο με οποιοδήποτε τρόπο που να επιτρέπει τη συνάθροιση

προθέματος διευθύνσεων . Εντούτοις, κάθε σημείο στο οποίο ο πελάτης συνδέεται με το ASP δίκτυο, τυπικά καταλήγει σε μια ή περισσότερες διαδρομές εξαίρεσης. Τα προθεμάτα διευθύνσεων μπορούν να διανεμηθούν χρησιμοποιώντας ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης, π.χ. το PNNI, το οποίο επιτρέπει σε έναν κόμβο για να περάσει σε κάθε ένα από τους γείτονές του πληροφορίες για τι συνδέεται άμεσα με αυτόν και τι έχει μάθει από τους άλλους γείτονές του. Αυτό καλείται "flooding". Σε ένα συνδεδεμένο δίκτυο, όλοι οι κόμβοι είναι προσβάσιμοι μέσω αλυσιδωτής σύνδεσης γειτονικών κόμβων από όλους άλλους. Αυτές τις πληροφορίες περνούν από τον έναν κόμβο βηματικά , σε όλους τους άλλους. Η συνάθροιση εμφανίζεται κατά μήκος της διαδρομής, έτσι δεν περνούν οι πληροφορίες. .εδομένου ότι οι πληροφορίες συναθροίζονται, η λεπτομέρεια χάνεται, αλλά όχι όμως και η προσβασιμότητα

### **5.3 Εφαρμογή πολιτικών δρομολόγησης στα ATM δίκτυα**

Ο γενικός στόχος μιας πολιτικής δρομολόγησης είναι να αυξηθεί η απόδοση των δικτύων από την άποψη των αποδοχών κλήσης, ενώ ταυτόχρονα παρέχεται εγγύηση για την απόδοση του δικτύου μέσα στα προσδιορισμένα επίπεδα. Η σχεδίαση μιας αποδοτικής πολιτικής δρομολόγησης είναι τεράστιας πολυπλοκότητας, δεδομένου ότι εξαρτάται από διάφορες και μερικές φορές αβέβαιες παραμέτρους. Αυτή η πολυπλοκότητα αυξάνεται από την ποικιλομορφία των απαιτήσεων εύρους ζώνης συχνοτήτων και απόδοσης των διαφορετικών τύπων σύνδεσης σε ένα multi-class περιβάλλον δικτύων. Επιπλέον, η πολιτική δρομολόγησης πρέπει να είναι προσαρμοστική για να αντιμετωπίζει τις αλλαγές στο δίκτυο: τοπολογικές αλλαγές που οφείλονται σε βλάβες ή τον εξοπλισμό που προστίθεται ή αφαιρείται , ή τα μεταβαλλόμενα πρότυπα κυκλοφορίας. δεδομένου ότι τα πρότυπα κυκλοφορίας αλλάζουν κατά τη διάρκεια του χρόνου, η απόδοση δικτύων να μειωθεί όταν το εύρος ζώνης συχνοτήτων που δεσμεύεται σε VPCs, και επομένως στις διαδρομές, δεν είναι σύμφωνο με την ποσότητα κυκλοφορίας που πρέπει περάσει από αυτές. Για να καταπολεμήσουν αυτό, η τοπολογία VPC, οι διαδρομές, και το εύρος ζώνης συχνοτήτων που δεσμεύεται σε VPCs πρέπει να μετατραπούν δυναμικά για να αντεπεξέλθουν στις απαιτήσεις της κυκλοφορίας. Υποθέτουμε ότι οι υπηρεσίες δικτύων είναι αποτελούμενες από έναν αριθμό αμφίδρομων συνδέσεων. Κάθε σύνδεση είναι ενός ιδιαίτερου τύπου ή κλάσης σύνδεσης . Η χρήση του όρου κλάση υπηρεσίας (CoS) χρησιμοποιείται για να δείξει έναν ιδιαίτερο τύπο σύνδεσης Τα CoSs είναι οι υπηρεσίες φορέων που παρέχονται από το δίκτυο. Μια μεγάλη σειρά CoSs μπορεί να καθοριστεί από το χειριστή δικτύων σύμφωνα με την επιχειρησιακή πολιτική και τις αντιληπτές απαιτήσεις των χρηστών . Οι χρήστες (ή οι εφαρμογές που αυτοί χρησιμοποιούν) κάνουν τα αιτήματα για τις συνδέσεις ενός συγκεκριμένου CoS. Ο καθορισμός CoS χαρακτηρίζει τον τύπο σύνδεσης από την άποψη των απαιτήσεων εύρους ζώνης συχνοτήτων και απόδοσης. Υποτίθεται ότι οι απαιτήσεις εύρους ζώνης συχνοτήτων μπορούν να χαρακτηριστούν από τις μέσες και από τις μέγιστες παραμέτρους. Αυτό συμβαίνει επειδή οι αλγόριθμοι CAC που επεκτείνονται στους δρομολογητές είναι βασισμένοι σε αυτές τις παραμέτρους. Οι εναλλακτικές παράμετροι εύρους ζώνης συχνοτήτων μπορούν να χρησιμοποιηθούν σύμφωνα με τους συγκεκριμένους αλγορίθμους CAC που επεκτείνονται στα στοιχεία δικτύων.





Σχήμα 5η : Επίδραση της υπηρεσίας διαχείρισης VPC και δρομολόγησης στο δίκτυο

Πριν την εγκατάσταση των συνδέσεων, τα VPC θα πρέπει να έχουν ήδη εκ των προτέρων εγκατασταθεί. Ο ορισμός και η δημιουργία των VPC είναι αρμοδιότητα του επίπεδου διαχείρισης. Κατά την φάση εγκατάστασης σε κάθε σημείο μεταγωγής, ο αλγόριθμος επιλογής διαδρομής (Route Selection Algorithm ή RSA) πρέπει να διαλέξει ένα εξερχόμενο VPC πάνω στο οποίο θα δρομολογηθεί η νέα σύνδεση και ο CAC αλγόριθμος πρέπει να αποφασίσει εάν η σύνδεση μπορεί να διευθετηθεί στο επιλεγμένο VPC. Η επιλογή του VPC γίνεται από ένα υποσύνολο όλων των εξερχόμενων VPC. Η εύρεση ποια από τα VPC είναι κατάλληλα για συγκεκριμένη CoS είναι εργασία του επιπέδου διαχείρισης. Η υπηρεσία διαχείρισης πετυχαίνει τους σκοπούς της με την διαχείριση των VPC και των πινάκων δρομολόγησης έτσι ώστε να μπορούν να περιλάβουν αλλαγές στην συμπεριφορά των χρηστών και των μορφών της κίνησης. Ειδικότερα επηρεάζει:

- Τις διαδρομές των VPC διαμέσου του δικτύου μέσω της διαμόρφωσης των Virtual Path πινάκων δρομολόγησης στους κόμβους μεταγωγής νοητών καναλιών.
- Το εύρος ζώνης που διατίθεται στα VPC μέσω αλλαγών στον CAC στους κόμβους μεταγωγής νοητών καναλιών. Αυτό είτε γίνεται μακροπρόθεσμα μέσω προβλεπόμενων επιπέδων κίνησης είτε βραχυπρόθεσμα με διαρκείς αναπροσαρμογές σε κάθε αλλαγή του εύρους ζώνης που είναι δεσμευμένο σε VPC.
- Τους πίνακες επιλογής διαδρομών στο Call Control μέρος των VC switches ώστε να αλλάξουν την επιλογή των VPC την οποία κάνει ο Call Control κατά την διαδικασία εγκατάστασης συνδέσεων. Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για τον έλεγχο συμφόρησης, για τον διαμοιρασμό φορτίου και την επαναδρομολόγηση σε περίπτωση αστοχιών σε στοιχεία του δικτύου. Σκοπός της υπηρεσίας διαχείρισης δρομολόγησης και VPC είναι να σχεδιάσουν ένα δίκτυο από VPC και ένα πλάνο δρομολόγησης που να ανταποκρίνεται στην αναμενόμενη ζήτηση καθώς και να τα διαχειρίζεται δυναμικά ώστε να ανταποκρίνονται στις μεταβολές της χρήσης. Οι ακόλουθες όψεις του δικτύου είναι χρήσιμες για τα διαφορετικά

επίπεδα αφαίρεσης ώστε να βοηθήσουν τη εργασία της διαμόρφωσης του πρόβληματος που αντιμετωπίζεται από την υπηρεσία διαχείρισης VPC και δρομολόγησης.

- Το φυσικό δίκτυο που αποτελείται από τους κόμβους δικτύων και τις συνδέσεις μεταφορών.
- Το VPC δίκτυο που αποτελείται από τους VC διακόπτες που διασυνδέονται από VPCs.
- Το Class Route networks. Για κάθε CoS, το δίκτυο ClassRoute είναι το υπόδίκτυο που αποτελείται μόνο από τα VPCs που ανήκουν στις διαδρομές εκείνες που ικανοποιούν συγκεκριμένο CoS..
- Το SDClassRoute networks. Για κάθε CoS και ένα δεδομένο ζευγάρι πηγή-προορισμού (S-D), το δίκτυο SDClassRoute είναι το υπόδίκτυο του δικτύου ClassRoute, που αποτελείται μόνο από τα VPCs που ανήκουν στις διαδρομές που διασυνδέουν το δεδομένο ζευγάρι (SD) Στην περίπτωση της εναλλακτικής δρομολόγησης, περισσότερα από ένα μονοπάτια εμφανίζονται σε ένα δίκτυο SDClassRoute. Τα διαφορετικά δίκτυα ClassRoute μπορούν να έχουν τις κοινές συνδέσεις δεδομένου ότι ένα VPC μπορεί να φέρει περισσότερο από ένα CoS. Επίσης διαφορετικά δίκτυα SDClassRoute μπορούν επίσης να έχουν κάποιες κοινές συνδέσεις δεδομένου ότι τα μονοπάτια μεταξύ δύο ζευγαριών SD (για το ίδιο ή διαφορετικό CoSs) μπορούν να έχουν τα κοινά μέρη.

Η εισαγωγή του ανωτέρω δικτύου εμφανίζει το στόχο της υπηρεσίας διαχείρισης VPC και δρομολόγησης, ο οποίος μπορεί να διατυπωθεί ως εξής: δεδομένου του φυσικού δικτύου και των προβλέψεων κυκλοφορίας ανά SD και CoS, ο καθορισμός των δικτύων VPC και SDClassRoute είναι έτσι ώστε οι απαιτήσεις κίνησης να ικανοποιούνται και τα επίπεδα απόδοσης που προσδιορίζονται ανά CoS να είναι εγγυημένα. Το VPC και τα δίκτυα ClassRoute κατασκευάζονται χρησιμοποιώντας, ως είσοδο, τις εκτιμήσεις της κυκλοφορίας δικτύων ανά ζευγάρι SD και CoS. Όποτε οι προβλέψεις κυκλοφορίας αλλάζουν, τα δίκτυα VPC και ClassRoute χρειάζονται να αναδημιουργηθούν. Το επίπεδο αναδημιουργίας εξαρτάται από τη σημασία των αλλαγών. Κατά συνέπεια, οι νέες τιμές για το εύρος ζώνης συχνοτήτων των VPC μπορούν να δοθούν, ή η τοπολογία του δικτύου VPC μπορεί να αλλάξει (με τη δημιουργία και τη διαγραφή VPCs) ή η τοπολογία των δικτύων ClassRoute μπορεί να αλλάξει (με τη δημιουργία και τη διαγραφή των διαδρομών).

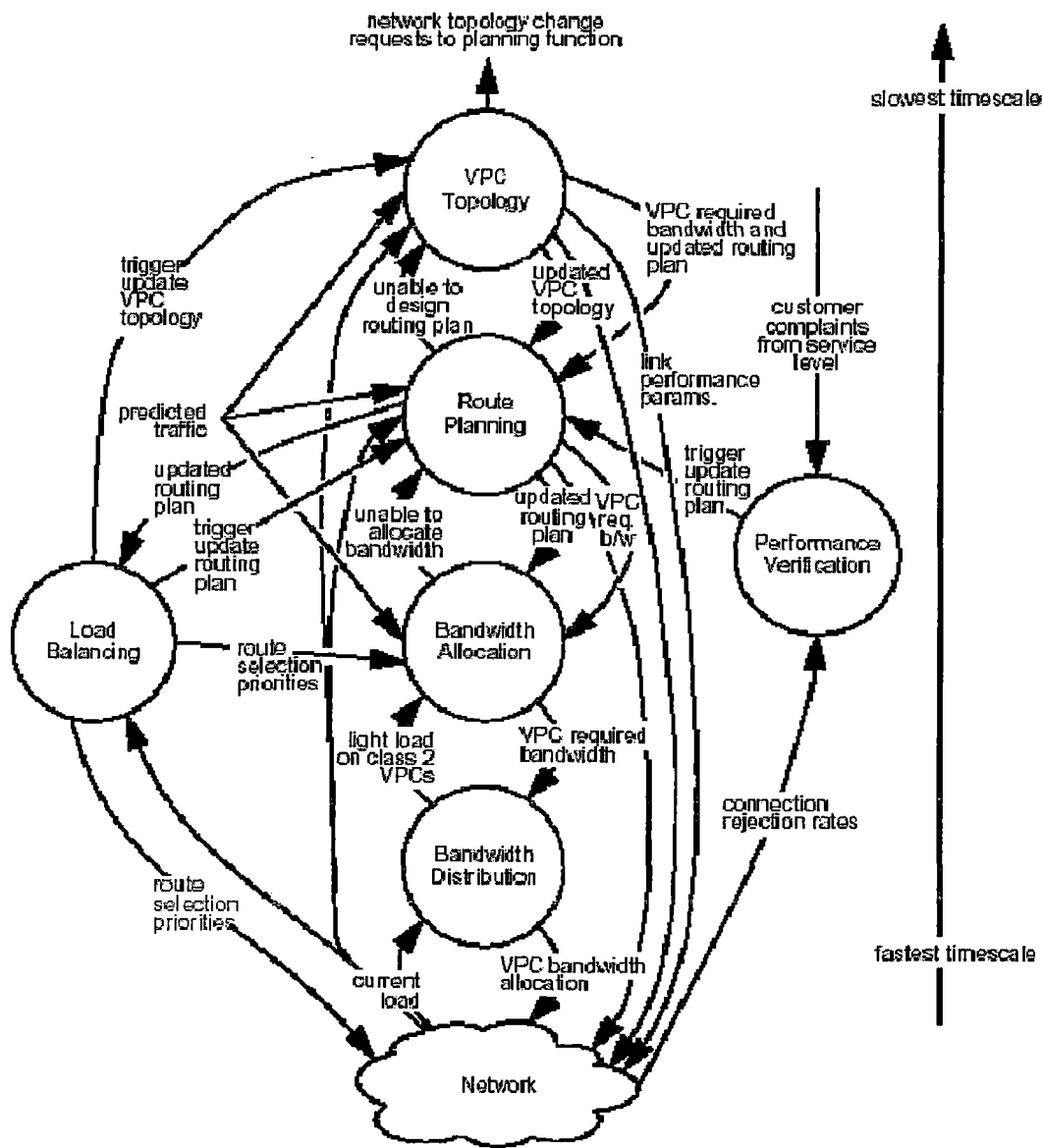
Αυτή η ανάλυση δείχνει την ανάγκη για τρία συστατικά διαχείρισης: Κατανομή εύρους ζώνης συχνοτήτων (για το εύρος ζώνης συχνοτήτων VPC ενημερώνει τα δεδομένα δίκτυα SDClassRoute), Προγραμματισμός διαδρομών (για τις αναπροσαρμογές διαδρομών δεδομένου του δικτύου VPC) και τοπολογία VPC (για τον καθορισμό των τοπολογιών VPC δεδομένης της φυσικής τοπολογίας δικτύων). Οι λειτουργίες των συναρτήσεων σχεδίασης διαδρομών είναι να προσδιοριστεί ένα δίκτυο of VPCs και ένα σχέδιο δρομολόγησης που ικανοποιεί τις προβλεφθείσες απαιτήσεις χρήσης δεδομένων των και περιορισμών που επιβάλλονται από το μοντέλο δικτύων και από τους στόχους απόδοσης των CoSs. Αυτή η διαδικασία περιλαμβάνει τον καθορισμό των παραμέτρων απόδοσης συνδέσεων, της τοπολογίας του δικτύου VPC, του σχεδίου δρομολόγησης και του εύρους ζώνης συχνοτήτων που διατηρούνται σε κάθε VPC.

- Το σχέδιο δρομολόγησης, δηλ. ο καθορισμός των πινάκων επιλογής διαδρομών και των προτεραιοτήτων επιλογής, δημιουργείται και τελικά η αρχική κατανομή εύρους ζώνης συχνοτήτων VPC αποφασίζεται.
- Όλες αυτές οι εργασίες είναι μέρος μιας επαναληπτικής διαδικασίας που αντιστοιχεί στα σύνθετα προβλήματα βελτιστοποίησης, στοχεύοντας στην παροχή των οικονομικώς αποδοτικών σχεδιαστικών λύσεων.
- Το μέρος αυτής της διαδικασίας θα είναι να προσδιοριστούν όλες οι πιθανές διαδρομές μεταξύ των πηγών και των προορισμών και να επιλεγεί ένα ορισμένο υποσύνολο. Το υποσύνολο που επιλέγεται θα εξαρτηθεί από πολλούς παράγοντες.

- Η μέγιστη καθυστέρηση και οι στόχοι καθυστέρησης jitter για κάθε CoS. Μερικές διαδρομές μπορούν να είναι ακατάλληλες για κάποιο CoSs επειδή δρομολογούνται μέσω πάρα πολλών διακοπών και προσωρινών χώρων ζεύξεων.
- Οι απαιτήσεις πιθανότητας απώλειας στοιχείων για κάθε CoS. Αν υπάρχουν ικανοποιητικοί αριθμοί συνδέσεων με τις διαφορετικές απαιτήσεις στην πιθανότητα απώλειας στοιχείων, μπορεί να είναι πιθανό να καθοδηγηθούν διαφορετικά. Οι συνδέσεις, και τα VPCs που περνούν από αυτές, θα μπορούσαν να ονομαστούν ως υψηλού ποσοστού απώλειας ή χαμηλού ποσοστού απώλειας παραδείγματος χάριν. Οι στόχοι πιθανότητας απώλειας στοιχείων πρέπει να καθοριστούν για κάθε σύνδεση και να διαβιβαστούν στις λειτουργίες CAC αρμόδιες για αυτό.
- Οι πιθανότητες αποδοχής σύνδεσης που συνδέονται με κάθε CoS. Ένα υποσύνολο VPCs μπορεί να σχεδιαστεί για CoSs απαιτώντας μια υψηλή πιθανότητα αποδοχής (προτεραιότητα) και πρόσθετο εύρος ζώνης συχνοτήτων μπορεί να ανατεθεί σε αυτά τα VPCs εις βάρος των VPCs που υποστηρίζουν CoSs που απαιτούν μια χαμηλότερη πιθανότητα αποδοχής.
- Ποιο CoSs μπορεί να πολυπλεκτηί μαζί στα ίδια VPCs ή τις συνδέσεις που βασίζονται στη συμβατότητα των παραμέτρων απόδοσής τους όπως περιγράφεται ανωτέρω.
- Ο αριθμός λογικά και φυσικά διαφορετικών διαδρομών που απαιτούνται για να εξασφαλίσουν το διαθεσιμότητα του δικτύου σε περιπτώσεις βλαβών και ζημίας.
- Οι εκτιμήσεις όπως η διάδοση φορτίων πρέπει να ληφθούν υπόψη. Αυτή η έννοια περιλαμβάνει την εξασφάλιση ότι η κυκλοφορία διαδίδεται όσο το δυνατόν πιο ομοιόμορφα μέσα από το δίκτυο.

Τα χαρακτηριστικά εύρους ζώνης συχνοτήτων και απόδοσης κάθε τύπου σύνδεσης καταχωρούνται σε ένα μοντέλο τύπων σύνδεσης. Η διαδικασία σχεδιασμού διαδρομών θα παραγάγει τις αρχικές διαμορφώσεις:

- το σύνολο πινάκων δρομολόγησης VP που φορτώνονται στους κόμβους μεταγωγής νοητού μονοπατιού
- το σύνολο πινάκων επιλογής διαδρομών που φορτώνονται στη στα VC switches
- το εύρος ζώνης συχνοτήτων που δεσμεύεται σε κάθε VPC,
- οι παράμετροι απόδοσης συνδέσεων που φορτώνονται στις λειτουργίες CAC στα VC switches.



Σχήμα 5θ :διάγραμμα Εφαρμογής δυναμικών πολιτικών δρομολόγησης στα ATM δίκτυα

Υπάρχουν τρεις διαστάσεις στο δυναμικό μέρος, που διακρίνεται από τη λειτουργία αλλά και από το χρονοδιάγραμμα πέρα από το οποίο λειτουργούν:

### 5.3.1 Διαχείριση VPC Bandwidth

Αυτό αποσυντίθεται περαιτέρω σε δύο επίπεδα, που διακρίνονται πάλι από τη λειτουργία και από το χρονοδιάγραμμα:

Το συστατικό δέσμευσης εύρους ζώνης συχνότητας καλείται όποτε οι αλλαγές κυκλοφορίας είναι σημαντικές. Οι προβλέψεις πηγής-προορισμού χαρτογραφούνται σε VPCs σύμφωνα με

το σχέδιο δρομολόγησης, και προσδιορίζεται το ελάχιστο εύρος ζώνης συχνοτήτων που απαιτείται από κάθε VPC προκειμένου να συναντηθεί η προβλεφθείσα ζήτηση. Εάν είναι αδύνατο να δεσμευθεί το ικανοποιητικό εύρος ζώνης συχνοτήτων για την κίνηση στους περιορισμούς του σχεδίου δρομολόγησης διαδρομών και της χωρητικότητας των συνδέσεων, το συστατικό προγραμματισμού διαδρομών δηλώνεται, βλέπε κατωτέρω.

Το τμήμα διανομής εύρους ζώνης συχνοτήτων, εφαρμόζει την κατανομή του εύρους ζώνης συχνοτήτων σε VPCs όπως ζητείται. Το τρέχον φορτίο πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν για να αποφεκτούν καταστάσεις όπου το προβλεφθέν απαιτούμενο εύρος ζώνης συχνοτήτων (από την κατανομή εύρους ζώνης συχνοτήτων) είναι χαμηλότερο από το μετρημένο τρέχον φορτίο και την εφαρμογή. Πρόσθετα, το αχρησιμοποίητο εύρος ζώνης συχνοτήτων (δεσμευμένο εύρος ζώνης συχνοτήτων μείον το φορτίο ρευμάτων) σε κάθε VPC ανακατανέμεται μεταξύ του VPCs που μοιράζονται τις ίδιες διαδρομές για την αποφυγή των καταστάσεων όπου μερικά VPCs χρησιμοποιούνται βαριά (και συνεπώς υπάρχει λίγο εύρος ζώνης συχνοτήτων διαθέσιμο για τις νέες συνδέσεις) ενώ άλλα VPCs στις ίδιες συνδέσεις χρησιμοποιούνται ελαφριά. Το αχρησιμοποίητο εύρος ζώνης συχνοτήτων διανέμεται όσο το δυνατόν πιο ομοιόμορφα μέσα σε ορισμένους περιορισμούς.

### 5.3.2 Η διαχείριση δρομολόγησης

Αυτό αποσυντίθεται περαιτέρω σε δύο επίπεδα, που διακρίνονται πάλι από τη λειτουργία και από το χρονοδιάγραμμα:

Επανασχηματισμός του σχεδίου δρομολόγησης.

Στην παραλαβή μιας ένδειξης από το τμήμα κατανομής εύρους ζώνης συχνοτήτων ότι είναι ανίκανο να ανταπεξέλθει στις ζητήσεις της προβλεφθείσας κυκλοφορίας, το τμήμα προγραμματισμού διαδρομών προσπαθεί καταρχήν να ξανασχεδιάσει το σχέδιο δρομολόγησης για το υπάρχον δίκτυο VPC. Προσπαθεί να αυξήσει τον αριθμό εναλλακτικών διαδρομών, χρησιμοποιώντας την τρέχουσα τοπολογία ρευμάτων VPC. Αυτή η διαδικασία προσδιορίζει επίσης τις νέες απαιτήσεις εύρους ζώνης συχνοτήτων στα VPCs - αλλά πρέπει να λάβει υπόψη το τρέχον φορτίο (οι υπάρχουσες συνδέσεις δεν πρέπει να μεταβληθούν). Προκειμένου να ενισχυθεί η εναλλακτική δρομολόγηση και για να αντισταθμίσει τις ανακρίβειες στις εκτιμήσεις δρομολόγησης, ο προγραμματισμός διαδρομών μπορεί να αναθέσει ένα σύνολο "αναπληρωματικών" διαδρομών σε κάθε CoS εκτός από το αρχικό σύνολο διαδρομών. Για ένα δεδομένο CoS, το σύνολο "αναπληρωματικών" διαδρομών μπορεί μόνο να επιλεγεί από το σύνολο διαδρομών που δεσμεύονται στην υψηλότερη ποιότητα CoSs. Η έξοδος θα είναι το ενημερωμένο σχέδιο δρομολόγησης και το νέο απαιτημένο εύρος ζώνης συχνοτήτων για κάθε VPC. Οι καθορισμένες διαδρομές ανά CoS δίνονται στο συστατικό εξισορρόπησης φορτίων για να προσδιορίσουν τις προτεραιότητες διαδρομών σύμφωνα με τα τρέχοντα πρότυπα κυκλοφορίας. Τις απαιτήσεις εύρους ζώνης συχνοτήτων περνούν κάτω στο συστατικό κατανομής εύρους ζώνης συχνοτήτων που τις περνά απλά στην διανομή εύρους ζώνης συχνοτήτων χωρίς οποιαδήποτε πρόσθετη επεξεργασία.

### 5.3.3 Διαχείριση των παραμέτρων επιλογής διαδρομών

Οι διαδρομές σε έναν κόμβο ορίζονται σύμφωνα με ορισμένα κριτήρια. .εδομένου ότι τα ATM δίκτυα είναι προσανατολισμένα προς τη σύνδεση, τα κριτήρια επιλογής είναι σχετικά με τη διαθεσιμότητα της διαδρομής για να αναλάβουν τις νέες συνδέσεις. Με αυτόν τον τρόπο ρυθμίζεται η κατανομή φορτίου του δικτύου. Επιπλέον, το συστατικό ισοκατανομής φορτίων, που βασίζεται στα πραγματικά αρχεία χρήσης, ποσοτικοποιεί τη διαθεσιμότητα

δικτύων για την αποδοχή των νέων συνδέσεων όχι μόνο στην πρόσβαση, αλλά και στους κόμβους διέλευσης.

### **Επανασχηματισμός της τοπολογίας του δικτύου**

Το συστατικό τοπολογίας VPC ξανασχεδιάζει την τοπολογία δικτύων VPC για να ανταποκριθεί στις νέες απαιτήσεις. Αυτό πρέπει να λάβει υπόψη την τρέχουσα τοπολογία και το γεγονός ότι οι υπάρχουσες συνδέσεις δεν πρέπει να ενοχληθούν. Νέα VPCs μπορεί να δημιουργηθούν για να συνυπάρξουν με τα τρέχοντα και θα καθοριστεί ένα νέο σχέδιο δρομολόγησης έτσι ώστε η νέα τοπολογία VPC να μπορεί να εισαχθεί σταδιακά για τις νέες συνδέσεις (με τη χρησιμοποίηση του πεδίου προτεραιότητας στους πίνακες επιλογής διαδρομών).

Τις απαιτήσεις εύρους ζώνης συχνοτήτων για τα VPCs στην τελική τοπολογία VPC προσδιορίζονται και περνούν κάτω στα χαμηλότερα τμήματα επιπέδων που δεν κάνουν καμία περαιτέρω επεξεργασία έως ότου φθάνουν στο τμήμα διανομής εύρους ζώνης συχνοτήτων.

Σε αυτήν την τελευταία λειτουργία, το εύρος ζώνης συχνοτήτων που δεσμεύεται στα παλαιά VPCs μειώνεται όταν απολύονται οι παλαιές συνδέσεις και το εύρος ζώνης συχνοτήτων που δεσμεύεται στα νέα VPCs αυξάνεται καθώς το εύρος ζώνης συχνοτήτων συνδέσεων γίνεται διαθέσιμο.

### **5.4 Εφαρμογή δρομολόγησης στο PNNI πρωτόκολλο του ATM**

Για την εγκαθίδρυση συνδέσεων μεταξύ ATM συστημάτων, η σηματοδότηση αρχικά ανατρέχει στο IISP, ένα στατικό πρωτόκολλο δρομολόγησης, ή στο PNNI, που αποτελεί ένα δυναμικό πρωτόκολλο δρομολόγησης, το οποίο παρέχει διαδρομές εγγυούμενης ποιότητας υπηρεσίας (QoS), βασισμένο στις απαιτήσεις ποιότητας υπηρεσίας όπως αυτές ορίστηκαν στην αίτηση εγκατάστασης της σύνδεσης

Το PNNI (Private Network Node Interface ) είναι ένα δυναμικό πρωτόκολλο δρομολόγησης για τα ATM δίκτυα, καθώς μαθαίνει την τοπολογία του δικτύου και τις πληροφορίες προσβασιμότητας με την ελάχιστη δυνατή αρχική ρύθμιση. Το PNNI αυτόματα προσαρμόζεται στις αλλαγές του δικτύου με την ανταλλαγή πληροφοριών για την κατάσταση της τοπολογίας του δικτύου.

Σε ένα τομέα δρομολόγησης με PNNI, το ATM switch της πηγής υπολογίζει ιεραρχικά πλήρεις διαδρομές για την εγκατάσταση συνδέσεων και οι πληροφορίες της διαδρομής περιλαμβάνονται στο μήνυμα εγκατάστασης σύνδεσης. Αντιθέτως το IISP χρησιμοποιεί βηματική δρομολόγηση, όπου κάθε κόμβος που παραλαμβάνει το μήνυμα εγκατάστασης σύνδεσης διαλέγει αυτός που θα το προωθήσει. Οι επιλογές των διαδρομών γίνονται βάσει της καταγραφής σε πίνακες δρομολόγησης των δυνατών εξερχόμενων συνδέσεων.

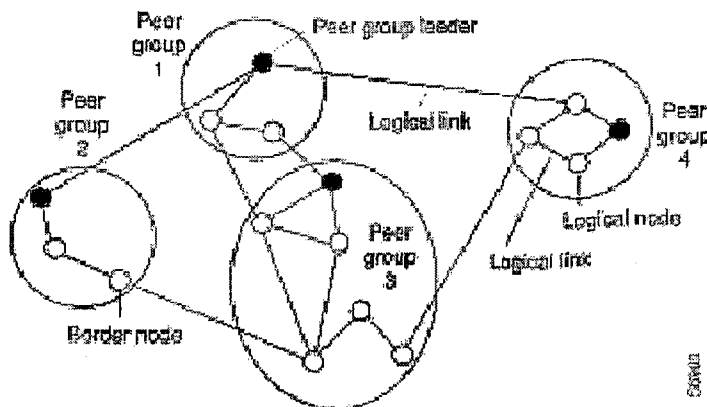
Το PNNI παρέχει τις διαδρομές που ικανοποιούν την ποιότητα σύνδεσης υπηρεσιών (QoS) των αιτημάτων Το PNNI επιλέγει τις διαδρομές μέσω του δικτύου που βασίζεται στο διοικητικό βάρος (AW) και άλλες παραμέτρους QoS, όπως :

- Διαθέσιμος ρυθμός κυψελίδων (AvCR)
- Μέγιστη καθυστέρηση μεταφοράς κυψελίδων (maxCTD)
- Μέγιστη-Ελάχιστη διακύμανση καθυστέρησης κυψελίδων (CDV)
- Αναλογία απώλειας στοιχείων (CLR)

Το κύριο μέτρο που χρησιμοποιείται από PNNI είναι ο AW. Εάν μια σύνδεση ζητά είτε maxCTD είτε CDV είτε και τα δύο, το PNNI μπορεί να μην είναι σε θέση να υπολογίσει μια βέλτιστη διαδρομή μέσω του δικτύου. Εντούτοις, το PNNI εγγυάται μια διαδρομή που να ικανοποιεί ή να υπερβαίνει τα κριτήρια όλων των προσδιορισμένων παραμέτρων QoS. Ο αρχικός στόχος της ιεραρχίας του PNNI είναι η επίτευξη κλιμακούμενης δομής του. Εντούτοις η ιεραρχία του PNNI μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για άλλες ανάγκες, όπως η δημιουργία ενός διοικητικού ορίου. Παραδείγματος χάριν, μπορείτε να χρησιμοποιήσετε την ιεραρχία PNNI για να κρύψετε τις εσωτερικές λεπτομέρειες μιας όμοιας ομάδας από τους δρομολογητές έξω από την ομάδα.

#### 5.4.1 Τα βασικά συστατικά της ιεραρχίας PNNI.

1. Κόμβος του χαμηλότερου επιπέδου - ένας λογικός κόμβος στο χαμηλότερο επίπεδο της ιεραρχίας PNNI.
2. Ομότιμη ομάδα - μια ομάδα λογικών κόμβων. Κάθε κόμβος ανταλλάσσει τις πληροφορίες με άλλα μέλη της ομάδας, και όλα τα μέλη διατηρούν μια ίδια όψη της ομάδας.
3. Όμοιος ηγέτης ομάδας (PGL) - ένας λογικός κόμβος μέσα σε μια όμοια ομάδα που συνοψίζει την όμοια ομάδα και την αντιπροσωπεύει ως ενιαίο λογικό κόμβο στο επόμενο επίπεδο της ιεραρχίας PNNI.
4. Λογικός κόμβος ομάδας (LGN) - ένας λογικός κόμβος που αντιπροσωπεύει τη χαμηλότερη όμοια ομάδα επιπέδων του στην επόμενη υψηλότερη όμοια ομάδα επιπέδων. Κατά την δημιουργία ενός PGL, το PGL δημιουργεί έναν γονέα LGN για να αντιπροσωπεύσει την όμοια ομάδα ως ενιαίο λογικό κόμβο στο επόμενο επίπεδο. Το PGL είναι ένας λογικός κόμβος μέσα στην όμοια ομάδα, και το συνδεδεμένο LGN είναι ένας λογικός κόμβος στην επόμενη υψηλότερη όμοια ομάδα επιπέδων.



Σχήμα 51 : Ιεραρχική δομή στο PNNI προορισμού.

Το PNNI χρησιμοποιεί διάφορους μηχανισμούς για να υποστηρίξουν τα χαρακτηριστικά γνωρίσματά σηματοδότησης και δρομολόγησης.

- Το HELLO πρωτόκολλο που στο PNNI είναι ένας μηχανισμός που διαμορφώνεται σύμφωνα με το HELLO πρωτόκολλο OSPF. Χρησιμοποιώντας το HELLO πρωτόκολλο PNNI, οι κόμβοι ανταλλάσσουν τα πακέτα που επιτρέπουν σε τους για να καθορίσουν τη λειτουργική θέση των γειτόνων τους. Αυτά τα πακέτα μεταβιβάζουν επίσης τις πληροφορίες που απαιτούνται για να καθορίσουν τα όμοια όρια ομάδας, τα οποία χρησιμοποιούνται για να δημιουργήσουν την ιεραρχία.

- Ο συγχρονισμός βάσεων δεδομένων. Όταν δηλώσει το HELLO πρωτόκολλο μια σύνδεση για να είναι λειτουργική, οι παρακείμενοι διακόπτες ανταλλάσσουν μια περίληψη του περιεχομένου βάσεων δεδομένων τους. Ο στόχος αυτής της διαδικασίας είναι να συγκριθεί η μια όψη του κόμβου της τοπολογίας με την όψη ενός γειτονικού κόμβου. Από την ανταλλαγή των διαφορών, μπορούν να συγχρονίσουν τις βάσεις δεδομένων τους και οι δύο θα έχουν τις ίδιες τοπολογικές πληροφορίες.

- Ανταλλαγές PTSP. Μόλις εμφανιστεί ο συγχρονισμός βάσεων δεδομένων, οι περαιτέρω αλλαγές τοπολογίας πρέπει να διανεμηθούν σε όλο το δίκτυο. Το PNNI το κάνει αυτό με την ανταλλαγή των πακέτων κατάστασης τοπολογίας PNNI (PTSPs), τα οποία περιέχουν ένα ή περισσότερα στοιχεία κατάστασης τοπολογίας PNNI (PTSEs). Τα PTSPs διαδίδονται χρησιμοποιώντας έναν πλημμυρίζοντας μηχανισμό και εξασφαλίζουν ότι το δίκτυο ενημερώνεται όταν εμφανίζονται οι σημαντικές αλλαγές.

- Οι πληροφορίες Reachability. Το PNNI μπορεί να συνοψίσει τις πληροφορίες προσβασιμότητας διευθύνσεων από τη συνάθροιση των πολλαπλάσιων διευθύνσεων του ATM σε ένα ενιαίο πρόθεμα. Οι πληροφορίες προσβασιμότητας είναι το πρώτο βήμα στη δρομολόγηση ενός αιτήματος PNNI για μια σύνδεση. Η σύνδεση κατευθύνεται σε έναν κόμβο που διαφημίζει ένα πρόθεμα που ταιριάζει οδηγώντας τη μερίδα της διεύθυνσης προορισμού.

- Μέτρα και ιδιότητες για τις συνδέσεις και τους κόμβους. Για να υποστηρίξουν τη δρομολόγηση QoS, τη θέση των συνδέσεων και των κόμβων διαφημίζονται χρησιμοποιώντας τα μέτρα και τις ιδιότητες. Τα μέτρα συνδυάζονται κατά μήκος ενός μονοπατιού. Παραδείγματος χάριν, το διοικητικό βάρος ενός μονοπατιού είναι το ποσό των βαρών όλων των συνδέσεων και των κόμβων κατά μήκος του μονοπατιού. Οι ιδιότητες αντιμετωπίζονται διαφορετικά. Εάν η μια αξία ιδιοτήτων παραβιάζει τον περιορισμό QoS του αιτήματος κλήσης, εκείνο το τοπολογικό στοιχείο (κόμβος ή σύνδεση) αποβάλλεται από την επιλογή μονοπατιών. Τα μέτρα που διαφημίζονται και χρησιμοποιούνται στον υπολογισμό μονοπατιών είναι τα ακόλουθα :

1. Διοικητικό βάρος (AW) το μέτρο που χρησιμοποιείται αρχικά από το PNNI για να υπολογίσει τα μονοπάτια.

2. Μέγιστη καθυστέρηση μεταφοράς στοιχείων (MCTD). Η MCTD είναι ένα απαιτούμενο μέτρο τοπολογίας για τις κατηγορίες της υπηρεσίας CBR και VBR-RT

3. Διακύμανση καθυστέρησης στοιχείων (CDV) που είναι η μέγιστη, κορυφής-σε- κορυφή παραλλαγή καθυστέρησης στοιχείων διαμέσου μιας σύνδεσης ή κόμβου για μια



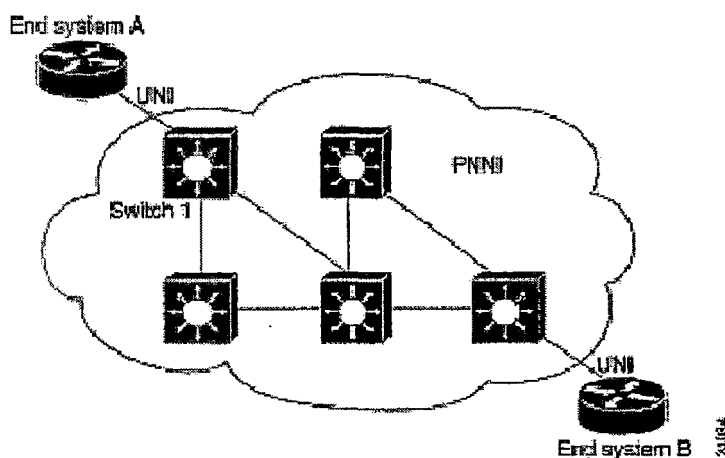
συγκεκριμένη κατηγορία υπηρεσίας. Αυτό το μέτρο αντιπροσωπεύει τη χειρότερη περίπτωση για ένα μονοπάτι.

Οι ιδιότητες που διαφημίζονται για τις συνδέσεις και τους κόμβους είναι οι ακόλουθες:

1. Διαθέσιμο ποσοστό στοιχείων (AvCR) -- το ποσό ισοδύναμου εύρους ζώνης συχνοτήτων διαθέσιμο σήμερα στη σύνδεση. Το AvCR είναι μια δυναμική ιδιότητα που ποικίλλει σύμφωνα με τις κλήσεις διαπερνώντας τη σύνδεση και το προκύπτον υπόλοιπο δυναμικό μονάδας συνδέσεων διαθέσιμες για τις πρόσθετες κλήσεις.
2. Αναλογία απώλειας στοιχείων (CLR) -- αναλογία του αριθμού χαμένων στοιχείων στο συνολικό αριθμό στοιχείων που διαβιβάζονται σε μια σύνδεση ή έναν κόμβο.
3. Μέγιστο ποσοστό στοιχείων (MaxCR) -- το ποσό εύρους ζώνης συχνοτήτων που ανατίθεται σε μια συγκεκριμένη κλάση κυκλοφορίας σε μια σύνδεση.

#### 5.4.2 Πώς εργάζεται η καθοδήγηση μιας κλήσης.

Μόλις η απαίτηση μιας ενοποιημένης όψης της τοπολογίας των δικτύων και της κατάστασής της ικανοποιηθεί, το PNNI μπορεί να καθοδηγήσει μια κλήση μέσω του δικτύου, που ικανοποιεί το αίτημα της κλήσης για τις συγκεκριμένες παραμέτρους QoS.



Σχήμα 5ια : παράδειγμα δρομολόγησης με PNNI

1. Ένα αίτημα σύνδεσης φθάνει στο διακόπτη 1 από το τελικό σύστημα A. Μια μακρύτερη σύγκριση αντιστοιχιών γίνεται για τη διεύθυνση προορισμού για να καθορίσει ποιος διακόπτης προορισμού συνδέει με τη διεύθυνση.
2. Χρησιμοποιώντας το τοπικό αντίγραφο της βάσης δεδομένων τοπολογίας δικτύων, ένας υπολογισμός κοντύτερου μονοπατιών γίνεται για να υπολογίσει το ελάχιστο μονοπάτι διοικητικού βάρους ως το switch προορισμού. Οποιοσδήποτε συνδέσεις που δεν ικανοποιούν το GCAC ή άλλες απαιτήσεις QoS απέχουν από την εκτίμηση. Σε περιπτώσεις όπου υπάρχει

επίσης απαιτήσεις CDV και MCTD για το μονοπάτι, PNNI βρίσκει ένα αποδεκτό μονοπάτι που συναντά όλες τις απαιτήσεις, ακόμα κι αν να μην είναι πιθανό να βελτιστοποιηθούν όλες οι μετρικές ταυτόχρονα.

3. Μόλις βρεθεί ένα τέτοιο μονοπάτι, ο κόμβος κατασκευάζει έναν οριζόμενο κατάλογο διέλευσης (DTL) που περιγράφει την πλήρη διαδρομή στον προορισμό και τον εισάγει στο σήμα αίτημα. Όταν είναι δυνατό, ο δρομολογητής διακοπών του ATM χρησιμοποιεί ένα μονοπάτι που ήταν στο υπόβαθρο. Εάν δεν μπορεί να βρεθεί ένα μονοπάτι που να ικανοποιεί τις απαιτήσεις QoS, ο δρομολογητής διακοπών του ATM εκτελεί έναν υπολογισμό μονοπατιών στη ζήτηση.

4. Το αίτημα οργάνωσης διαβιβάζεται κατά μήκος του μονοπατιού που προσδιορίζεται από το DTL. Σε κάθε κόμβο η σηματοδότηση ζητά από PNNI για ένα αποδεκτό σύνολο συνδέσεων για να φθάσει στον επόμενο κόμβο κατά μήκος του μονοπατιού. Ο κατάλογος οργανώνεται βασισμένος στις διαμορφωμένες προαιρετικές δυνατότητες επιλογής συνδέσεων και δίνεται στη ρουτίνα CAC που καθορίζει την πρώτη αποδεκτή σύνδεση.

5. Εάν το αίτημα ικανοποιεί τον CAC για κάθε οριζόμενο βήμα, εάν μήνυμα σηματοδότησης της σύνδεσης επιστρέφεται κατά μήκος του ίδιου μονοπατιού και, αφότου φθάνει στον κόμβο πηγής, η μεταφορά στοιχείων αρχίζει.

# Κεφάλαιο 6<sup>ο</sup> : Δίκτυα ATM

## **6.1 Χρήσεις ATM**

Όπως αναφέραμε και προηγουμένως, το ATM αποτελεί ένα από τα πλέον πολυσυζητημένα τηλεπικοινωνιακά πρωτόκολλα. Η αρχική ιδέα ήταν να χρησιμοποιηθεί στα WAN δίκτυα, ωστόσο γρήγορα έγινε αντιληπτό ότι η χρήση του στα LAN θα μπορούσε να βελτιώσει σε μεγάλο βαθμό τις αποδόσεις των LAN δικτύων. Σήμερα λοιπόν μπορούμε να διακρίνουμε τις ακόλουθες χρήσεις των ATM δικτύων :

- **ATM σε LAN**

Με μία πρώτη ματιά, το περιβάλλον ενός τοπικού δικτύου φαίνεται απαλλαγμένο από τα προβλήματα που εμφανίζονται στα μεγαλύτερα δίκτυα όταν εμφανίζονται καταστάσεις μεγάλης κίνησης. Ωστόσο η απόδοση και η ταχύτητα των LANs δεν παύει να είναι ένα σημαντικό θέμα. Η σχέση ανάμεσα στο ATM και τα LAN έκανε πρόσφατα ένα μεγάλο βήμα εξέλιξης όταν αμερικάνικος φορέας ανακοίνωσε μία νέα πατέντα για την επέκταση της ποιότητας υπηρεσιών στα LAN δίκτυα. Αυτή τη στιγμή η ATM τεχνολογία έχει αποδείξει την αξία της και είδη βρίσκεται στην διαδικασία παραγωγής τέταρτης γενιάς διακοπτικών συσκευών. Η μεγάλη της δύναμη έγκειται στην δυνατότητα να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις της αγοράς και να απαντά στις ανάγκες αυτής βασιζόμενη στις εγγυήσεις που παρέχουν οι τεχνολογικοί βιομηχανικοί φορείς που βρίσκονται πίσω από αυτήν. Στην επόμενη παράγραφο παρουσιάζουμε αναλυτικότερα την σχέση ανάμεσα στην τεχνολογία ATM και στα LANs.

- **ATM σε WAN**

Στα WAN δίκτυα οι δυνατότητες επιλογής περιορίζονται στην επιλογή ανάμεσα στο IP πρωτόκολλο, στο Ethernet και στο ATM. Ωστόσο καμία άλλη τεχνολογία δεν μπορεί να αντιγράψει τις ικανότητες που έχει το ATM για αποδοτική διαχείριση και έλεγχο του δικτύου. Οι ενδιαφερόμενοι στρέφονται αναπόφευκτα στην ATM τεχνολογία όταν οι απαιτήσεις αφορούν υψηλές ταχύτητες μεταφοράς και εγγυημένη ποιότητα υπηρεσιών.

Η απόσταση είναι ένα σημαντικό πρόβλημα στην μετάδοση υψηλών ταχυτήτων σε πολλές πλατφόρμες. Ωστόσο το πρόβλημα αυτό δεν αγγίζει το ATM. Η ακεραιότητα του μεταδιδόμενου σήματος εξασφαλίζεται ακόμα και όταν διαφορετικά είδη κίνησης εμφανίζονται στο ίδιο δίκτυο. Τέλος, το ATM μπορεί να προσφέρει διαφορετικές υπηρεσίες σε διάφορες ταχύτητες και πολλά επίπεδα απόδοσης.

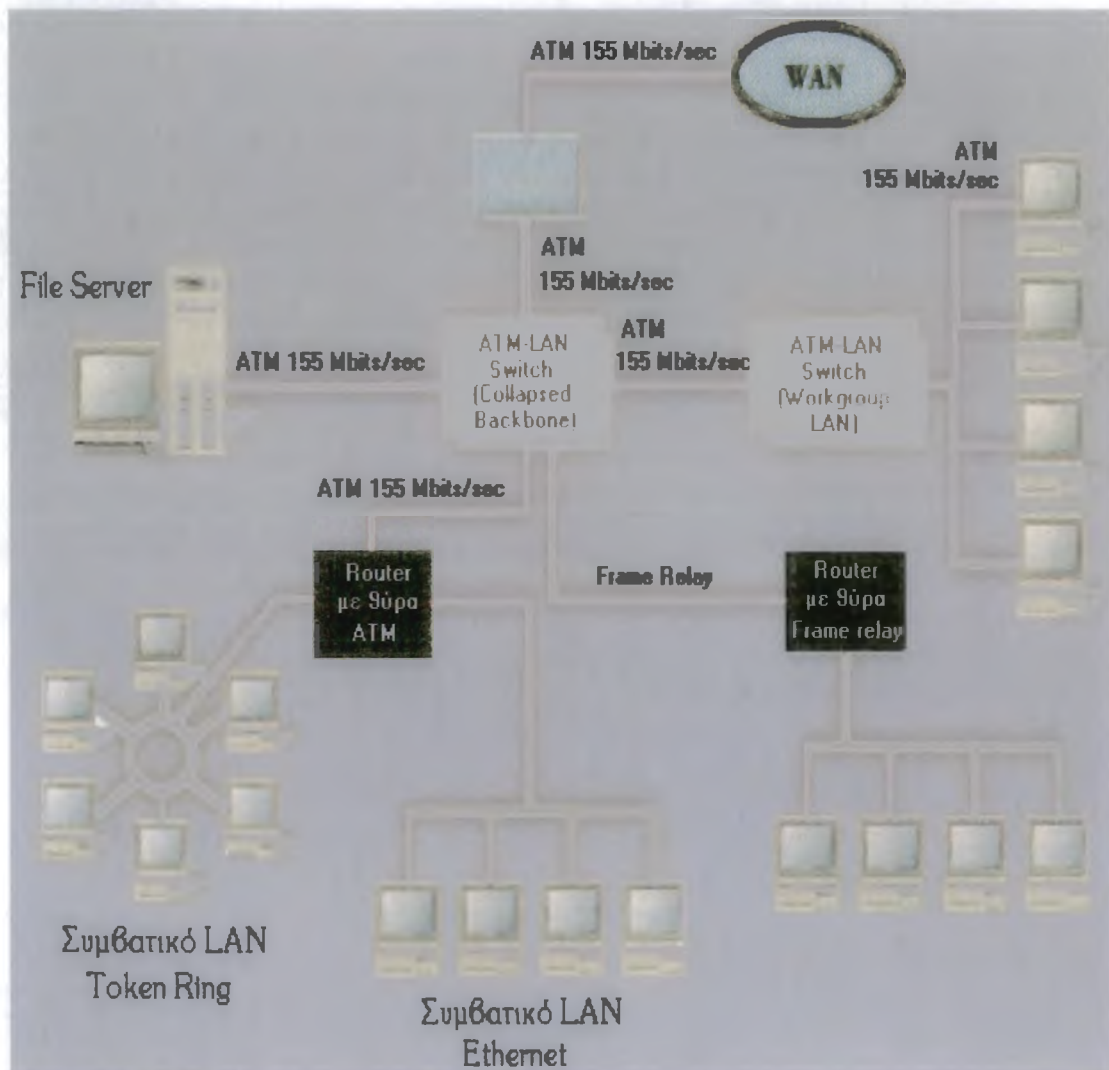
- **ATM σε MAN (Metropolitan Area Networks)**

Τα MANs είναι ένα από τα πλέον αναπτυσσόμενα πεδία πεδία στις τηλεπικοινωνίες και στις επικοινωνίες δεδομένων. Η κίνηση σε ένα MAN δίκτυο περιορίζεται σε αποστάσεις μερικών χιλιομέτρων, αλλά τα είδη της κίνησης που εμφανίζονται είναι σε μεγάλο βαθμό διαφορετικά μεταξύ τους και προέρχονται από πολλές και διαφορετικές πηγές. Η επιτυχία του ATM σε αυτό τον τομέα έγκειται στο ότι μπορεί να ανταποκρίνεται σε αυτές τις διαφορετικές μεταδόσεις.

- **ATM σαν δίκτυο κορμού**

Η συντριπτική πλειοψηφία των δικτύων, έχουν υιοθετήσει το ATM σαν δίκτυο κορμού, καθώς είναι σε θέση να υποστηρίξει πολλές διαφορετικές τεχνολογίες συμπεριλαμβάνοντας τεχνολογίες όπως η DSL, το IP Ethernet, την τεχνολογία Frame Relay, το SONET αλλά και πολλές ασύρματες πλατφόρμες. Επίσης είναι σε θέση να “γεφυρώσει” παλαιούς εξοπλισμούς με νέες γενιές πλατφόρμων και λειτουργικών συστημάτων.

Πιο συγκεκριμένα, η δυνατότητα για κλιμακωτή επέκταση και η ισχύς του ATM επιτρέπει στους σχεδιαστές δικτύων να υλοποιήσουν εξαιρετικά υψηλής χωρητικότητας Δίκτυα Κορμού με πλήθος διασυνδέσεων (mesh τοπολογίες), ενσωματώνοντας μετάδοση δεδομένων, φωνής και video τόσο πάνω σε τοπικά όσο και σε ευρείας περιοχής δίκτυα. Στο επόμενο σχήμα μπορείτε να δείτε μία τέτοια περίπτωση.



Σχήμα 6.α  
Τυπικό ATM δίκτυο

Η τοπολογία που χρησιμοποιείται είναι αυτή του αστέρα. Οι σταθμοί συνδέονται μέσω ενός ATM Switch. Το κάθε Switch μπορεί τώρα να είναι συνδεδεμένο, με τη σειρά του σε κάποιο άλλο, ιεραρχικά ανώτερο Switch που παίζει το ρόλο του backbone.

Τέλος θα πρέπει να αναφέρουμε ότι το ATM μπορεί να υιοθετηθεί και από τις ομάδες εργασίας (Workgroups) ως την τεχνολογία για σύνδεση με τους εξυπηρετητές και συγκέντρωση των συνδέσεων των desktop σταθμών εργασίας όταν οι απαιτήσεις περιλαμβάνουν ανοχή και αντοχή απέναντι σε βλάβες, ικανότητα για κλιμακωτή επέκταση και αύξηση του διαθέσιμου bandwidth, και υποστήριξη διακίνησης πολυμέσων.

## **6.2 ATM και LAN**

Η καθιέρωση των υπολογιστών στις επιχειρήσεις, είχε ως αποτέλεσμα την τεράστια επένδυση τόσο σε δικτυακό εξοπλισμό όσο και σε πρωτόκολλα και εφαρμογές που θα εκτελούνται πάνω σε αυτόν τον εξοπλισμό. Οποιαδήποτε νέα δικτυακή τεχνολογία δεν θα πρέπει να αγνοήσει την τεράστια αυτή επένδυση. Αντίθετα θα πρέπει να διευκολύνει την μετάβαση στο νέο εξοπλισμό και να επιτρέπει την εκτέλεση των εφαρμογών που προϋπήρχαν. Μια τέτοια κατάσταση συναντάμε στην περίπτωση των τοπικών δικτύων (LANs) και της εμφάνισης της ATM τεχνολογίας.

### **6.2.1 Βασικά Στοιχεία LAN και ATM**

Τα κυριότερα χαρακτηριστικά των τοπικών δικτύων που ακολουθούν το πρωτόκολλο IEEE 802, δηλαδή του **Ethernet (802.3)**, του **Token Bus (802.4)** και του **Token Ring (802.5)** μπορούν να συνοψιστούν ως εξής :

- Οι υπηρεσίες τους είναι χωρίς σύνδεση (connectionless).
- Χρησιμοποιούν κοινό μέσο (shared medium).
- Υποστηρίζουν μηνύματα εκπομπής (broadcast) και πολλαπλής αποστολής (multicast) η λειτουργία των οποίων διευκολύνεται από την ύπαρξη του κοινού μέσου.
- Οι διευθύνσεις **MAC (Medium Access Control)** καθορίζονται από τον κατασκευαστή και είναι ανεξάρτητες από την τοπολογία του δικτύου.

Τα χαρακτηριστικά όμως αυτά έρχονται σε κάποιο βαθμό σε αντίθεση με τα ATM, καθώς τα κυριότερα χαρακτηριστικά των δικτύων ATM σε σχέση με τα LAN είναι :

- Οι υπηρεσίες είναι με σύνδεση. Συγκεκριμένα χρησιμοποιείται η τεχνική των νοητών κυκλωμάτων - Virtual Circuits (VCs).
- Δεν χρησιμοποιείται κοινό μέσο.
- Δεν υπάρχει η έννοια της εκπομπής. Για multicast πρέπει να δημιουργηθούν πολλά VCCs.

Έτσι λοιπόν γίνεται σαφές ότι η χρήση των ATM σε LAN δίκτυα δεν θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως απλή. Παρ'όλα αυτά έχουν γίνει πολλές προσπάθειες προς αυτή την κατεύθυνση. Προτού προχωρήσουμε στην παρουσίαση των αποτελεσμάτων αυτών των προσπαθειών, θα επιχειρήσουμε να αναδείξουμε τους λόγους που οδήγησαν στην χρήση των ATM δικτύων σε συνδυασμό με τα υπάρχοντα LANs.

### **6.2.2 Ανάγκη Συνδυασμού ATM με τα υπάρχοντα LANs**

Παλιότερα, ένα δίκτυο που χρησιμοποιούσε κοινό μέσο (shared medium) όπως τα LANs, θεωρούνταν αρκετό για να ικανοποιήσει τις ανάγκες των περισσότερων εφαρμογών. Οι ανάπτυξη όμως πιο πολύπλοκων εφαρμογών οι οποίες απαιτούν την ανταλλαγή μεγαλύτερων ποσών δεδομένων πολλά από τα οποία έχουν ιδιαίτερα χαρακτηριστικά (απαιτούν μικρή καθυστέρηση όπως η φωνή) έχει καταστήσει την παραπάνω τεχνολογία ανεπαρκή. Τα δίκτυα ATM προσφέρουν μία εναλλακτική λύση για την υποστήριξη των νέων αυτών εφαρμογών.

Η μετάβαση όμως στα δίκτυα ATM δεν είναι εύκολη. Αυτό συμβαίνει πρώτον επειδή η απόκτηση του ίδιου του εξοπλισμού ATM έχει αρκετά μεγάλο κόστος. Πιο σημαντικά όμως δεν γίνεται να αγνοηθεί έτσι απλά ο ήδη υπάρχον εξοπλισμός και οι εφαρμογές που τρέχουν πάνω σε αυτόν. Ιδιαίτερα σε ότι αφορά το τελευταίο υπάρχουν πάρα πολλές εφαρμογές οι οποίες τρέχουν πολύ καλά με την υπάρχουσα δομή και δεν θα ωφεληθούν ιδιαίτερα από την ύπαρξη ATM. Κατά συνέπεια αυτές πρέπει να διατηρηθούν όπως είναι. Από τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι οποιαδήποτε νέα λύση πρέπει να εγγυάται την λειτουργία των παλαιότερων εφαρμογών με τον ελάχιστο δυνατό αριθμό αλλαγών. Για τον σκοπό αυτό έχουν αναπτυχθεί οι παρακάτω τεχνολογίες.

Η εξομοίωση LAN (LANE) είναι μια υπηρεσία η οποία έχει σχεδιαστεί για να εξομοιώσει ένα LAN (Ethernet 802.3, Token Ring 802.5) πάνω από ένα δίκτυο ATM. Πρακτικά, το πρωτόκολλο LANE κάνει ένα δίκτυο ATM να φαίνεται στα ανώτερα επίπεδα και τις εφαρμογές σαν ένα κανονικό LAN (Ethernet ή Token Ring) μόνο πιο γρήγορο. Τα δεδομένα στο LANE στέλνονται διαμέσου του ATM αλλά αφότου έχουν ενσωματωθεί στην κατάλληλη μορφή πλαισίου LAN MAC.

Το LANE σχεδιάστηκε για να ικανοποιήσει τις εξής ανάγκες :

- Να επιτρέψει στις υπάρχουσες εφαρμογές και στα υπάρχοντα πρωτόκολλα να δουλέψουν πάνω από δίκτυα ATM.
- Να υποστηρίξει την χρήση του ATM ως δίκτυο κορμού για την σύνδεση ήδη υπαρχόντων δικτύων.
- Να υποστηρίξει την απευθείας σύνδεση τερματικών συστημάτων ATM με άλλα τερματικά συστήματα μέσω συσκευών επιπέδου 2 (γέφυρες) στο ίδιο τμήμα ενός δικτύου. Δηλαδή διευκολύνεται η τοποθέτηση καινούργιου εξοπλισμού ATM σε ήδη υπάρχοντα τοπικά δίκτυα.

Η αρχική έκδοση του LANE ήταν μία πρώτη προσέγγιση στο παραπάνω πρόβλημα. Είχε όμως κάποια μειονεκτήματα τα οποία οδήγησαν στην ανάπτυξη της δεύτερης έκδοσης του. Επίσης η ανάπτυξη του Internet και γενικότερα μεγάλων δικτύων έφερε την ανάγκη να εφαρμοστούν οι παραπάνω αρχές και σε μία ευρύτερη κλίμακα. Για τον σκοπό αυτό αναπτύχθηκε το πρωτόκολλο MPOA (MultiProtocol Over ATM).

### 6.2.3 Συγκρίσεις Τεχνολογιών

Σύμφωνα με το παραπάνω σκεπτικό, ακολουθεί η επιγραμματική καταγραφή των διαφορών τοπικών δικτύων και ATM.

Τοπικά Δίκτυα	Πλαίσια ή μηνύματα μεταβλητού μήκους (έως 18 Kbytes)
ATM	Κυψελίδες σταθερού μήκους 53 bytes
Θέματα προς αντιμετώπιση	Κατάτμηση και επανασύσταση (SAR) [AAL 3/4 και AALS)

Τοπικά Δίκτυα	Επικοινωνία χωρίς σύνδεση (connectionless)
ATM	Επικοινωνία προσανατολισμένη στη σύνδεση (connection-oriented)
Θέματα προς αντιμετώπιση	Καθορισμός μεθόδων που θα παρέχουν υπηρεσίες χωρίς σύνδεση σε ένα περιβάλλον ATM

Τοπικά Δίκτυα	Υποστήριξη επικοινωνίας, με (βάση τις διευθύνσεις MAC, των τύπων: (α) εκπομπή σε συγκεκριμένο κόμβο (unicast), (β) εκπομπή σε όλους (broadcast) και (γ) πολλαπλή εκπομπή (multicast)
ATM	Δίκτυο που βασίζεται σε μεταγωγή καναλιών / μονοπατιών (VC/NP) και σε επικοινωνία σημείο-προς-σημείο
Θέματα προς αντιμετώπιση	Καθορισμός μεθόδων που θα παρέχουν υπηρεσίες broadcast / multicast

Τοπικά Δίκτυα	Προσφορά υπηρεσιών με βάση την αρχή της "καλύτερης προσπάθειας" (best effort)
ATM	Δίκτυο με δυνατότητα διαχείρισης του εύρους ζώνης "bandwidth management"
Θέματα προς αντιμετώπιση	Ανάγκη προσφοράς παρόμοιας δυνατότητας με αυτή της "καλύτερης προσπάθειας", είτε μέσω της δημιουργίας "αποθέματος" εύρους ζώνης στο επίπεδο ATM, είτε με απευθείας παροχή της δυνατότητας από το ATM (χρησιμοποιώντας την υπηρεσία ABR). Συνοδευτικά δημιουργείται η ανάγκη μιας μεθόδου ελέγχου συμφόρησης, μέσω ενός μηχανισμού που θα στηρίζεται είτε στον ρυθμό (rate-based) είτε στην παρεχόμενη "πίστωση" (credit-based)

## **6.3 Μέθοδος Εξομοίωσης Τοπικών Δικτύων σύμφωνα με το ATM**

### **Forum**

Αναγνωρίζοντας έγκαιρα τη σημασία της εξομοίωσης τοπικών δικτύων από το ATM, το ATM Forum, ήδη από τις αρχές του 1993, συνέστησε μια υποομάδα εργασίας στην οποία ανέθεσε τη μελέτη του θέματος. Η υποομάδα αυτή (LANE SWG) στα τέλη του 1994, καθόρισε το μοντέλο αρχιτεκτονικής και τα συνημμένα πρότυπα και το Μάρτιο του 1995 το ATM Forum υιοθέτησε τις προτεινόμενες προδιαγραφές.

Η μεθοδολογία εξομοίωσης περιγράφεται συνοπτικά στη συνέχεια και αφορά:

1. Τα δομικά στοιχεία εξομοίωσης ενός LAN από ATM και τις απαιτούμενες συνδέσεις μεταξύ τους
2. Το μηχανισμό εξομοίωσης τοπικού δικτύου σύμφωνα με το ATM Forum

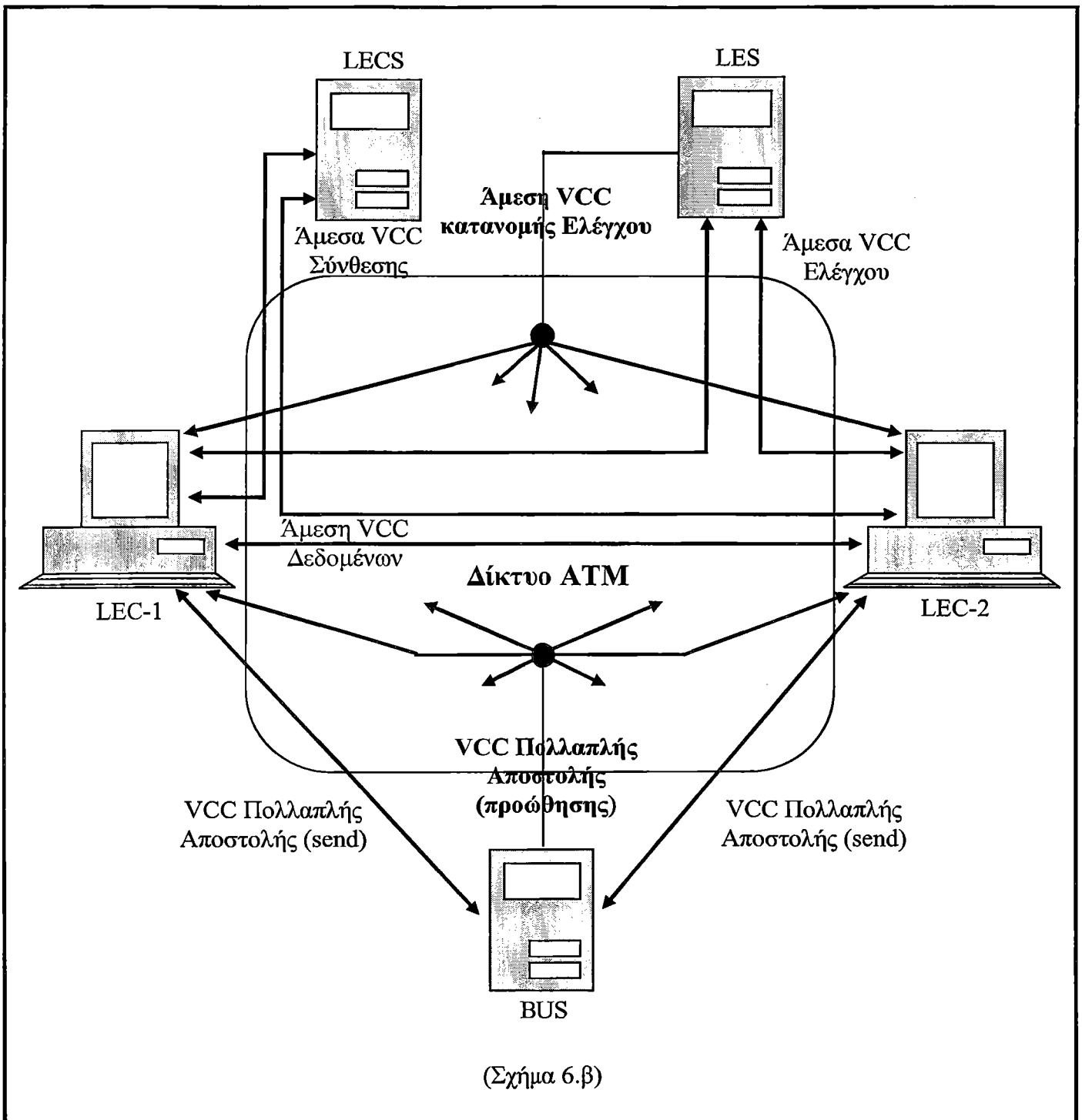
#### **6.3.1 Δομικά Στοιχεία Εξομοίωσης ενός LAN από ATM και Απαιτούμενες Συνδέσεις**

Γενικά η εξομοίωση ενός τοπικού δικτύου χρησιμοποιώντας ATM, απαιτεί τόσο τη συνεργασία των σταθμών εργασίας όσο και την υλοποίηση υπηρεσιών που θα παρέχονται κεντρικά. Πλέον συγκεκριμένα:

- Σε κάθε σταθμό του τοπικού δικτύου (Ethernet ή δακτυλίου με κουπόνι), εγκαθίσταται ο λεγόμενος "πελάτης εξομοίωσης Τοπικού Δικτύου" (LEC-LAN Emulation Client). Βασική λειτουργία ενός LEC αποτελεί η παροχή, στους χρήστες ανωτέρων επιπέδων, της υπηρεσίας χωρίς σύνδεση (CL) του υποεπιπέδου πρόσβασης στο μέσο (MAC). Κάθε LEC προσδιορίζεται από δυο διευθύνσεις: (i) μια ανεξάρτητη διεύθυνση MAC 48 δυαδικών ψηφίων, σύμφωνα με το σχήμα διευθυνσιοδότησης της IEEE (λόγω της εξομοίωσης του MAC) και (ii) μια διεύθυνση ATM 20 δυαδικών ψηφίων (λόγω της σύνδεσής στο δίκτυο ATM)
- Στο δίκτυο εισάγονται τρία νέα δομικά στοιχεία:
  1. Ο διαθέτης εξυπηρέτησης πλαισίων εκπομπής των "αγνώστων" πλαισίων (BUS broadcast and Unknown Server). Ο διαθέτης BUS, όπως υπονοεί και ο χαρακτηρισμός του, έχει ως αποστολή την εκπομπή πλαισίων πολλαπλής αποστολής (multicast) ή "αγνώστων" πλαισίων σε όλους τους άμεσα συνδεδεμένους LECs.
  2. Ο διαθέτης εξομοίωσης τοπικού δικτύου (LES - Emulation Server), με αντικείμενο την υποστήριξη του "πρωτοκόλου ανάλυσης διεύθυνσης μια εξομοίωση τοπικού δικτύου" (LE-ARR:LAN Emulation Address Resolution Protocol). Όπως θα αποδειχθεί στη συνέχεια, το πρωτόκολλο αυτό απαιτείται προκειμένου ο LEC αποστολής, να ξέρει την ATM διεύθυνση του LEC προορισμού, που είναι υπεύθυνος για μια συγκεκριμένη MAC διεύθυνση προορισμού.
  3. Ο διαθέτης σύνθεσης της εξομοίωσης Τοπικού Δικτύου (LECS-LAN Emulation Configuration Server). Στο διαθέτη αυτό συνδέεται ένας πελάτης (LEC) προκειμένου να πληροφορηθεί την ATM διεύθυνση του υπεύθυνου LES.



Οι απαιτούμενες διασυνδέσεις μεταξύ των πελατών και των τριών κατηγοριών διαθετών δίνονται στο σχήμα 6.β. Η συνολική λειτουργία του περιβάλλοντος που υποστηρίζει την εξομοίωση τοπικών δικτύων (ELANs- Emulated LANs) θα παρουσιαστεί στη συνέχεια.



Σύμφωνα με το σχήμα 6.β: υπάρχουν οι ακόλουθες εν δυνάμει διασυνδέσεις:

1. Συνδέσεις από σημείο σε σημείο μεταξύ ζευγαριών πελατών (LECs), που ονομάζονται "Άμεσες Συνδέσεις Νοητού Καναλιού για Δεδομένα" (Data Direct Virtual Channel Connections-DD VCC).
2. Κάθε πελάτης εξομοίωσης (LEC) έχει μια σύνδεση νοητού καναλιού από σημείο σε σημείο με ένα διαθέτη εξομοίωσης (LES). Η σύνδεση αυτή ονομάζεται "Άμεση Σύνδεση Νοητού Καναλιού για Έλεγχο" (Control Direct Virtual Channel Connection-CD-VCC).
3. Με τη σειρά του, ένας διαθέτης εξομοίωσης (LES) μπορεί να εγκαταστήσει συνδέσεις νοητού καναλιού διανομής του ελέγχου (Control Distribute VCCs) με μερικούς πελάτες ή και με το σύνολό τους. Κάθε πελάτης "βλέπει" μια σύνδεση διανομής ελέγχου και τουλάχιστον μια άμεση σύνδεση ελέγχου.
4. Στο διαθέτη BUS, και με σκοπό την αποστολή (sent), συνδέονται οι πελάτες (LECs) χρησιμοποιώντας συνδέσεις σημείο-προς-σημείο, νοητού καναλιού (VCC) πολλαπλής εκπομπής. Οι συνδέσεις αυτές είναι γνωστές ως multicast send VCC.
5. Από το διαθέτη BUS, υπάρχει μια σύνδεση επιστροφής, νοητού καναλιού, από ένα σημείο σε πολλαπλά (δηλαδή από τον BUS στους LECs) που ονομάζεται multicast forward VCC. Στην απλούστερη των υλοποιησέων υπάρχει ένας διαθέτης BUS ανά εξομοιούμενο τοπικό δίκτυο
6. Για την άμεση είσοδο ενός πελάτη (LEC) στη διαδικασία της εξομοίωσης τοπικού δικτύου, απαιτείται η ύπαρξη ενός "διαθέτη σύνθεσης" (LECS). Ένας πελάτης "αναकुλύπτει" την ATM διεύθυνση ενός LECS και εγκαθιστά μια άμεση σύνδεση νοητού καναλιού που είναι γνωστή ως Configuration Direct VCC. Η εύρεση της ATM διεύθυνσης ενός LECS μπορεί να γίνει με τους ακόλουθους τρόπους:
  - α. Λήψη της διεύθυνσης από το διακοπτικό στοιχείο ATM, μέσω του ενδιάμεσου προσαρμοστή διαχείρισης γραμμής (ILMI-Interim Link Management Interface),
  - β. Χρήση μιας ATM διεύθυνσης του LECS, η οποία καθορίζεται από το πρότυπο εξομοίωσης, και
  - γ. Χρήση ενός προκαθορισμένου από το πρότυπο σταθερού νοητού κυκλώματος (PVC).
7. Με τη σειρά του, ένας διαθέτης σύνθεσης (LECS) μπορεί να εγκαταστήσει συνδέσεις νοητού καναλιού προώθησης των απαντήσεων/αποφάσεων του, ως απάντηση στις αιτήσεις των πελατών εξομοίωσης. Οι συνδέσεις αυτές είναι γνωστές ως multicast forward VCC του LECS.

### **6.3.2 Μηχανισμός εξομοίωσης τοπικού δικτύου σύμφωνα με το ATM Forum**

Έχοντας καθορίσει τα απαιτούμενα δομικά στοιχεία και τις συνδέσεις των πελατών με αυτά, το επόμενο βήμα αναφέρεται στη συνοπτική περιγραφή του μηχανισμού εξομοίωσης ενός τοπικού δικτύου υπολογιστών από ένα δίκτυο ATM. Τρία βασικά ερωτήματα πρέπει να απαντηθούν: (α) πώς ένας πελάτης γνωρίζει τη δομή ενός εξομοιούμενου τοπικού δικτύου, (β) ποια είναι η διαδικασία εισόδου του στο συγκεκριμένο περιβάλλον και (γ) ποιος είναι ο αλγόριθμος μεταφοράς μηνυμάτων σε ένα ATM δίκτυο που εξομοιώνει την λειτουργία ενός τοπικού δικτύου. Δύο επιπλέον θέματα που αφορούν: (δ) τη δομή των πλαισίων και (ε) την υποστήριξη διασυνδέσεων, συμπληρώνουν το "τοπίο" της διαδικασίας εξομοίωσης.

### **6.3.3 Δομή Εξομοιούμενου Τοπικού Δικτύου**

Με την εγκατάσταση μιας άμεσης σύνδεσης νοητού καναλιού μεταξύ LEC και LECS, όπως αυτή περιγράφηκε προηγουμένως, ο πελάτης (LEC) στέλνει το "πλαίσιο ελέγχου ζήτησης

σύνθεσης" (Configure Request Control Frame) με το οποίο γνωρίζει στο LECS την ATM διεύθυνσή του. Μπορεί δε στο συγκεκριμένο πλαίσιο να περιλάβει και άλλες πληροφορίες, όπως τη διεύθυνση MAC (48 δυαδικών ψηφίων), ένα όνομα για το εξομοιούμενο τοπικό δίκτυο ή/ και τις επιλογές του για το μέγιστο μήκος πλαισίου και τον τύπο του δικτύου (IEEE 802.3 ή 802.5), καθώς και μια σειρά παραμέτρων του χρήστη. Ο διαθέτης σύνθεσης (LECS) χρησιμοποιεί όλες ή τμήμα των παραπάνω πληροφοριών και σε συνδυασμό με μια βάση δεδομένων που έχει αναπτυχθεί από το διαχειριστή του συστήματος, αποφασίζει εάν και σε ποιο εξομοιούμενο τοπικό δίκτυο (ELAN) θα συνδεθεί ο συγκεκριμένος πελάτης και του γνωστοποιεί την απόφασή του. Η απόφαση/ απάντηση αυτή (γνωστή ως configure response) γνωστοποιεί στον πελάτη την ATM διεύθυνση ενός διαθέτη εξομοίωσης (LES), ο οποίος εξυπηρετεί το δίκτυο στο οποίο αυτός θα συνδεθεί, ενώ μπορεί να περιέχει και επιπρόσθετες πληροφορίες για τον πελάτη.

#### 6.3.4 Διαδικασία Σύνδεσης με ένα ATM-LAN

Ο πελάτης (LEC) γνωρίζοντας πλέον την ATM διεύθυνση του διαθέτη εξομοίωσης (LES) που θα τον εξυπηρετήσει, εγκαθιστά μια άμεση σύνδεση νοητού καναλιού για έλεγχο (control direct VCC) με αυτόν και μέσω αυτής στέλνει ένα πλαίσιο ελέγχου "αίτησης σύνδεσης" (Join Request). Η αίτηση του συγκεκριμένου πελάτη περιέχει την ATM διεύθυνση του, μια σημαία με την οποία δηλώνει εάν θα δράσει ως "πληρεξούσιος" (proxy) για μη καταχωρημένες διευθύνσεις MAC, ενώ μπορεί να περιλάβει και τη διεύθυνση MAC, καθώς και τυχόν προτιμήσεις του για τον τύπο του δικτύου και το μέγιστο μήκος πλαισίων.

Ο διαθέτης αποφασίζει για το εάν ο συγκεκριμένος πελάτης θα συνδεθεί στο εξομοιούμενο τοπικό δίκτυο (ELAN). Εάν η απόφαση είναι θετική, ο διαθέτης LES μπορεί να εγκαταστήσει μια σύνδεση νοητού καναλιού διανομής ελέγχου (control distributed VCC) και μέσω αυτής να του στείλει μια απάντηση στο αίτημα σύνδεσης (Join Response). Η απάντηση πληροφορεί τον πελάτη σχετικά με τον τύπο του δικτύου, το όνομα του, το μέγιστο μήκος πλαισίου, ενώ περιέχει και έναν ταυτοποιητή πελάτη. Ο αριθμός αυτός ονομάζεται LECID-LAN Emulator Client Identifier, καθορίζει κατά μοναδικό τρόπο έναν πελάτη μέσα σε ένα συγκεκριμένο ELAN και του λοιπού ο πελάτης το χρησιμοποιεί σε κάθε πλαίσιο δεδομένων ή ελέγχου που υποβάλλει στο δίκτυο.

Παρακάτω περιγράφονται πιο αναλυτικά οι διάφορες φάσεις που προσδιορίζουν την δημιουργία σύνδεσης πάνω από ένα εξομοιωμένο LAN.

##### 6.3.4.1 Αρχικοποίηση (initialization)

Στη φάση της αρχικοποίησης ο LEC πρέπει να ορίσει τον τύπο του εξομοιωμένου LAN που είναι συνδεδεμένος καθώς και τις διευθύνσεις των LECS και LES. Η πρώτη απαίτηση του LEC είναι να οριστεί η διεύθυνση ATM του LECS και να εγκατασταθεί μια σύνδεση. Για τον ορισμό αυτής της διεύθυνσης ο LEC κάνει τα παρακάτω :

1. Προσπαθεί να εξάγει αυτή τη διεύθυνση από τον μεταγωγέα με τη βοήθεια του ILMI (Interim Local Management Interface). Στο ILMI υπάρχει τοποθετημένος ένας πίνακας στον οποίο είναι καταχωρημένες διευθύνσεις από οντότητες στο δίκτυο. Ο LEC ψάχνει στον πίνακα για τη διεύθυνση του LECS και στέλνει κλήσεις μέχρι να επιτύχει. Αν επιτύχει τότε ο LEC προσπαθεί να συνδεθεί με αυτή τη διεύθυνση
2. Αν αποτύχει χρησιμοποιεί μια γνωστή (*well-known*) ATM διεύθυνση που υπάρχει στον πίνακα που βρίσκεται στο ILMI για δημιουργήσει το SVC.

3. Αν αποτύχει χρησιμοποιεί ένα PVC με VPI=0, VCI=17 για να δημιουργήσει τη σύνδεση. Αν αποτύχει πάλι, προσπαθεί να επικοινωνήσει με το LES.

#### 6.3.4.2 Ρύθμιση (configuration)

Εφόσον δημιουργηθεί η σύνδεση με τον LECS ανταλλάσσονται οι παρακάτω πληροφορίες μεταξύ τους:

- Ο LEC στέλνει την ATM διεύθυνσή του, την MAC διεύθυνσή του, τον ζητούμενο τύπο του LAN και το ζητούμενο μέγεθος των πλαισίων (frames).
- Ο LECS επιστρέφει την διεύθυνση του LES, τον τύπο του LAN και το μέγεθος των πλαισίων (frames) που θα χρησιμοποιηθούν.
- Η σύνδεση μεταξύ του LEC και του LECS είναι προσωρινή. Μόνο για τη διάρκεια της ανταλλαγής των πληροφοριών ρύθμισης.

#### 6.3.4.3 Σύνδεση (joining)

Σε αυτή τη φάση, ο LEC προσπαθεί να συνδεθεί με το εξομοιωμένο LAN. Για να το κάνει αυτό :

- Δημιουργεί ένα διπλής κατεύθυνσης VCC ελέγχου (*control direct bi-directional*) με τον LES.
- Μεταφέρει μια αίτηση σύνδεσης (*Join Request*) που περιέχει διάφορες πληροφορίες συμπεριλαμβανομένης της ATM διεύθυνσης, τον τύπο του LAN και το μέγεθος των πλαισίων.
- Πιθανόν αποδέχεται ένα Control Distribute VCC πριν μια αίτηση σύνδεσης ληφθεί.

Στη φάση αυτή δίνεται στον LEC από τον LES μια LECID και ορίζει ο LEC αν είναι Proxy ή όχι. Σχετικά με το παραπάνω πρέπει να αναφερθεί ότι κάθε LEC έχει την δυνατότητα να δηλώσει τον εαυτό του ως Proxy Device ή non-Proxy Device. Στην πρώτη περίπτωση ο LEC αντιπροσωπεύει και άλλες διευθύνσεις εκτός από την δική του, δηλαδή λειτουργεί ως γέφυρα. Στην δεύτερη περίπτωση ο LEC έχει μοναδική διεύθυνση, την δική του.

#### 6.3.4.4 Καταχώρηση και αρχικοποίηση του BUS (Registration and BUS initialization)

- Ο BUS απασχολείται με την επεξεργασία αιτήσεων εκπομπής από έναν LEC σε άλλους LANE πελάτες. Για να το κάνει αυτό, πρέπει να γνωρίζει όλους τους ATM σταθμούς. Έτσι, όταν κάθε LEC εμφανίζεται, δηλώνει τον εαυτό του στο BUS.

Για να δημιουργήσει σύνδεση με τον BUS, ο LEC στέλνει μια αίτηση LE ARP στον LES για την MAC διεύθυνση εκπομπής (FF-FF-FF-FF-FF-FF). Ο LES στέλνει μία LE ARP απάντηση στον LEC, δίνοντας του την ATM διεύθυνση του BUS. Ο LEC στη συνέχεια συνδέεται με την ATM διεύθυνση του BUS. Δημιουργεί δηλαδή ένα VCC προς τον BUS. Αυτό το VCC θα χρησιμοποιείται όταν ο LEC επιθυμεί να κάνει κάποια εκπομπή. Ο BUS στη συνέχεια δημιουργεί ένα VCC προώθησης μιας κατεύθυνσης και πολλαπλής αποστολής



### 6.3.5 Δομή Πλαισίων

Η εξομοίωση τοπικού δικτύου με ATM γίνεται στα πλαίσια του επιπέδου προσαρμογής στο ATM τύπου 5 (AAL5). Τα πλαίσια αυτά καταλαμβάνουν ακέραιο αριθμό κυψελίδων, με 48 bytes δεδομένων με την τελευταία να περιέχει μια "ουρά", που περιέχει τον αριθμό των bytes στο πλαίσιο και τον κώδικα CRC για την εξασφάλιση της ακεραιότητας των δεδομένων. Χρησιμοποιούνται δυο κατηγορίες πλαισίων: (α) δεδομένων (IEEE 802.3/Ethernet ή IEEE 802.5) και (β) ελέγχου.

Η πρώτη μορφή, βασισμένη στο Ethernet IEEE 802.3, είναι η παρακάτω:

0	LE HEADER (LEC ID)	DESTINATION MAC ADDRESS
4	DESTINATION MAC ADDRESS	
8	SOURCE MAC ADDRESS	
12	SOURCE MAC ADDRESS	TYPE/ LENGTH
16	INFORMATION	
...		

Μορφή πλαισίου για Ethernet

Η δεύτερη μορφή πακέτου, βασίζεται στο IEEE 802.5 Token Ring, και είναι η παρακάτω:

0	LE HEADER (LEC ID)	AC PAD	FC
4	DESTINATION MAC ADDRESS		
8	DESTINATION MAC ADDRESS	SOURCE MAC ADDRESS	
12	SOURCE MAC ADDRESS		
16-46	ROUTING INFORMATION FIELD		
46-...	INFORMATION		

Μορφή πλαισίου για Token Ring

### Πλαίσια ελέγχου

Η μορφή όλων των πακέτων ελέγχου του εξομοιωμένου LAN, εκτός των READY\_IND και READY\_QUERY, είναι η παρακάτω:

0	MARKER = FF00	PROTOCOL = 01	VERSION = 01
4	OP-CODE		STATUS
8	TRANSACTION ID		
12	REQUESTER LEC ID	FLAGS	
16	SOURCE-LAN-DESTINATION		
24	TARGET-LAN-DESTINATION		
32	SOURCE-ATM-ADDRESS		

52	LAN TYPE	MAXIMUM FRAME SIZE	NUMBER TLVS	ELAN name- size
56	TARGET-ATM-ADDRESS			
76	ELAN-NAME			
108	TLVS BEGIN			

Η μορφή των πακέτων ελέγχου στο εξομοιωμένο LAN

Παρακάτω περιγράφονται τα πεδία του πακέτου. Κάποια από τα πεδία δεν περιγράφονται επειδή εξαρτώνται από την τιμή του Op-Code.

### Op-Code

Είναι ο τύπος του πλαισίου ελέγχου. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι τιμές που μπορεί να πάρει :

0001	LE_CONFIGURE_REQUEST
0101	LE_CONFIGURE_RESPONSE
0002	LE_JOIN_REQUEST
0102	LE_JOIN_RESPONSE
0003	READY_QUERY
0103	READY_IND
0004	LE_REGISTER_REQUEST
0104	LE_REGISTER_RESPONSE
0005	LE_UNREGISTER_REQUEST
0105	LE_UNREGISTER_RESPONSES
0006	LE_ARP_REQUEST
0106	LE_ARP_RESPONSE
0007	LE_FLUSH_REQUEST
0107	LE_FLUSH_RESPONSE
0008	LE_NARP_REQUEST
0108	Μη καθορισμένο
0009	LE_TOPOLOGY_REQUEST
0109	Μη καθορισμένο

### Transaction ID

- 
- Η τιμή αυτή δίνεται από αυτόν που κάνει την αίτηση και επιστρέφεται από αυτόν που απαντά στην αίτηση, κι αυτό για να μπορεί ο παραλήπτης να διακρίνει μεταξύ διαφορετικών απαντήσεων.

### Requester LEC ID

Είναι το LEC ID του LEC που στέλνει την αίτηση. Αν είναι άγνωστη η τιμή αυτή τότε τοποθετείται η τιμή 0000. Το LEC ID δίνεται από τον LES.

### Flags

Bit flags:

0001 Remote Address used with LE\_ARP\_RESPONSE.

- 0080 Proxy Flag used with LE\_JOIN\_REQUEST.  
0100 Topology change used with LE\_TOPOLOGY\_REQUEST.

### 6.3.6 Διασύνδεση Εξομοιούμενων Τοπικών Δικτύων

Σε ένα δίκτυο ATM μπορούν να ορισθούν διάφορα εξομοιούμενα τοπικά δίκτυα (ELANs). Κάθε ELAN έχει τους διαθέτες του και τις απαραίτητες συνδέσεις νοητών καναλιών (VCC) και εξομοιώνει ένα δίκτυο IEEE 802.3/Ethernet ή ένα δίκτυο IEEE 802.5. Ένας σταθμός, εκτός των συνδέσεων που έχει με ένα ζεύγος διαθέτων LES/BUS (που μπορεί να είναι ένας ενιαίος διαθέτης ή δύο διαθέτες ή ένα κατανεμημένο σχήμα διαθέτων που συνολικά δρουν ως ένα λογικό ζεύγος LES/BUS), μπορεί επίσης να συνδεθεί σε πολλαπλά ELANs μέσω μιας ενιαίας φυσικής σύνδεσης. Στην περίπτωση αυτή, απαιτείται η ύπαρξη στον σταθμό ενός πελάτη (LEC) για κάθε ELAN με το οποίο αυτός συνδέεται και η δυνατότητα της προσαρμογής χρήστη-δικτύου (UNI) να υποστηρίζει πολλαπλές ATM διευθύνσεις.

Για την διασύνδεση πάντως δύο ELANs, το ATM Forum συνιστά τη χρήση γεφυρών και δρομολογητών. Οι δύο τεχνικές γεφύρωσης που χρησιμοποιούνται είναι η "διάφανη γεφύρωση" (Transparent Bridging) και η "γεφύρωση δρομολόγησης πηγής" (Source Routing Bridging-IEEE 802.1d). Μια πλήρης ανάλυση των διαδικασιών διασύνδεσης ELANs είναι πέρα από το σκοπό της παρούσης παρουσίασης. Γενικά μπορεί να αναφερθεί ότι ανάλογα με τη χρησιμοποιούμενη μέθοδο γεφύρωσης, οι διαδικασίες διασύνδεσης απαιτούν την συνεργασία των δομικών στοιχείων εξομοίωσης τοπικών δικτύων (LECs, LES, BUS, LE-ARP, LEC γεφυρών) είτε με τους μηχανισμούς μάθησης διευθύνσεων (όπου όμως ίσως εμπλέκονται εκτός από τις διευθύνσεις MAC και οι ATM διευθύνσεις, καθώς και η ανάγκη χειρισμού αγνώστων πλαισίων) είτε με τους "περιγραφείς διαδρομών" (RDs-Route Descriptors) των τμημάτων δικτύων, οι οποίοι προσαρτώνται στα εξομοιούμενα τοπικά δίκτυα, για τις δυο τεχνικές αντίστοιχα.

### 6.3.7 Σχολιασμός Μεθόδων Εξομοίωσης

Αν και οι δύο διαθέτες (BUS και LES) μπορούν να συνυπάρχουν φυσικά στην ίδια διάταξη και να μοιράζονται μια κοινή διεύθυνση ATM, δεν ισχύει το ίδιο και για τις "Άμεσες Συνδέσεις Δεδομένων Νοητού Καναλιού" (VCCs) και απαιτείται η ύπαρξη δύο ξεχωριστών VCCs που συνδέουν ένα LEC με τους δυο διαθέτες.

Ο διαθέτης BUS (Broadcast/ Unknown Server), όπως ήδη αναπτύχθηκε, έχει ως αποστολή την εκπομπή πλαισίων πολλαπλής αποστολής (multicast) ή "αγνώστων" πλαισίων (δηλαδή πλαισίων με διευθύνσεις MAC που δεν υπάρχουν στον "πίνακα ανάλυσης διευθύνσεων" που διατηρεί ο LEC προορισμού) σε όλους του άμεσα συνδεδεμένους LECs. Για το χειρισμό των "αγνώστων" πλαισίων, ο διαθέτης BUS μπορεί είτε να τα προωθήσει σε όλους τους συνδεδεμένους με αυτόν LECs είτε να βασισθεί στις πληροφορίες ανάλυσης διευθύνσεων που υπάρχουν στο διαθέτη εξομοίωσης LAN (LES), να βρει ποιος είναι ο LEC προορισμού και εκεί να αποστείλει απευθείας το πλαίσιο. Ανάλογα με τη διαδικασία χειρισμού που ακολουθείται, ο διαθέτης BUS χαρακτηρίζεται ως BUS εκπομπής (B-Broadcast- BUS) ή ως ευφυής BUS (I-[Intelligent]-BUS) αντίστοιχα.

Η αρχιτεκτονική υλοποίηση ενός διαθέτη B-BUS είναι γενικά απλή, αλλά μπορεί να παρουσιάσει προβλήματα επεκτασιμότητας, καθώς αυξάνει το μέγεθος του δικτύου.

Ως αποτέλεσμα της αύξησης, υπάρχει το ενδεχόμενο να παρουσιασθούν ανεπιθύμητες καταστάσεις, όπως αύξηση του χρόνου εκτέλεσης των διαδικασιών ανάλυσης διευθύνσεων, συσσώρευση στο δίκτυο των πλαισίων πολλαπλής εκπομπής, εμφάνιση συμπτωμάτων συμφόρησης στο δίκτυο ή στους συνδεδεμένους σταθμούς, με αποτέλεσμα απώλεια πλαισίων ή μεγάλες καθυστερήσεις. Η συμπληρωματική λύση, ενίσχυσης των ικανοτήτων φιλτραρίσματος πλαισίων των σταθμών, παρουσιάζει το μειονέκτημα του υψηλού κόστους



υλοποίησης, αν μάλιστα ληφθούν υπόψη οι ψηλές ταχύτητες μετάδοσης. Επίσης η φιλοσοφία της εκπομπής σε όλους τους LECs επιβαρύνει γενικά το δίκτυο και η κατάσταση αυτή είναι ιδιαίτερα χαρακτηριστική σε περιπτώσεις όπου η εξομοίωση χρησιμοποιείται για τη διασύνδεση γεωγραφικά απομακρυσμένων περιοχών. Τέλος, σε περιπτώσεις εξομοίωσης χρησιμοποιούνται μόνιμα νοητά κυκλώματα και με δεδομένο ότι γενικά θεωρείται ρεαλιστική η δημιουργία ενός πλήρους δικτύου (mesh) μεταξύ των ΛΣ ο διαθέτης B-BUS κινδυνεύει να αποτελέσει ένα κομβικό σημείο συσσώρευσης κίνησης. Η απάντηση στα ανωτέρω εν δυνάμει προβλήματα, είναι η χρήση I-BU; οποίος επιλεκτικά προωθεί πλαίσια μόνον στους LECs που είναι πραγματικοί αποδέκτες. Ο αντίλογος στη χρήση I-BUS στηρίζεται στην παρατήρηση ότι στην πράξη ο αριθμός των "αγνώστων" πλαισίων είναι μικρός. Πρακτικά, μόνον το πρώτο μήνυμα μπορεί να θεωρηθεί ως "άγνωστο", ενώ στη συνέχεια τα επόμενα μπορούν πλέον να μεταδοθούν χρησιμοποιώντας την "Άμεση Σύνδεση Δεδομένο Νοητού Καναλιού". Επίσης η χρήση I-BUS μπορεί να οδηγήσει σε μια τάση υλοποίησης "πελατών" μειωμένων δυνατοτήτων, οι οποίοι Να στηρίζονται για ένα μεγάλο μέρος των λειτουργιών τους στον I-BUS, περίπτωση την οποία οι προδιαγραφές εξομοίωσης τοπικών δικτύων προσπαθούν να αποθαρρύνουν.

## **6.4 Ασύρματα ATM**

Η ιδέα των Ασύρματων ATM δικτύων, πρώτη φορά προτάθηκε το 1992. Τα ασύρματα δίκτυα και το ATM (Ασύγχρονος Τρόπος Μεταφοράς) είναι στα γεννοφάσκια τους. Ακόμα, δεν έχουν οριστεί πρότυπα ούτε από το ATM Forum ούτε από την ITU-T. Έρευνες πραγματοποιούνται για την ανάπτυξη ενός πρωτοκόλλου, το οποίο θα τρέχει σε ασύρματο μέσο χωρίς πολλή καθυστέρηση και λάθη. Τα Ασύρματα ATM δίκτυα θα παίξουν έναν σημαντικό ρόλο στα broadband communications δίκτυα στο μέλλον.

Ο κύριος σκοπός του Ασύρματου ATM είναι να προσφέρει ελευθερία στην κινητικότητα και στη φορητότητα με την υποστήριξη υπηρεσιών πολυμέσων και με την εγγύηση της Ποιότητας Υπηρεσιών στον τελικό χρήστη. Όμως, το Ασύρματο ATM σύστημα περιορίζεται να λειτουργήσει με μειωμένες δυνατότητες εξαιτίας της έλλειψης του ραδιο-φάσματος.

Τα Ασύρματα ATM (Wireless ATM-WATM) είναι ένα από τα πιο σημαντικά θέματα της έρευνας και της ανάπτυξης στην βιομηχανία των τηλεπικοινωνιών. Είναι το αποτέλεσμα των προσπαθειών του συνδυασμού των ασύρματων επικοινωνιών και της ATM τεχνολογίας. Το ATM θεωρείται η βάση της μεταγωγής και της μεταφοράς για το μμελλοντικό Broadband Integrated Services Digital Network (B-ISDN), εξαιτίας της ικανότητάς του να υποστηρίζει ένα μμεγάλο εύρος υπηρεσιών με εγγύηση Ποιότητας Υπηρεσιών (Quality of Service-QoS). Από την άλλη πλευρά, τα ασύρματα τοπικά δίκτυα (wireless LANs) γίνονται ολοένα και πιο δημοφιλή στις επικοινωνίες δεδομένων εξαιτίας της ευκαμψίας τους και των αυξανόμενων ταχυτήτων μετάδοσης. Επιπλέον, οι ασύρματες επικοινωνίες έχουν αναπτυχθεί σε τέτοιο επίπεδο, όπου οι προσφερόμενες υπηρεσίες περιλαμβάνουν πολυμεσικές εφαρμογές. Ο συνδυασμός των ασύρματων επικοινωνιών και του ATM, ιδιαίτερα σε τοπικά περιβάλλοντα, μπορεί να παρέχει την ελευθερία της κινητικότητας (mobility) και των προτύπων υπηρεσιών του ATM με την εγγύηση QoS. Όμως, προκειμένου να επιτευχθεί η αποτελεσματική ανάπτυξη των WATM, πολλά εμπόδια πρέπει να ξεπεραστούν, τα οποία προκαλούνται κυρίως από την φύση των WATM. Τα δύο πιο κύρια εμπόδια είναι:

-το θορυβώδες περιβάλλον &

-οι περιορισμοί του εύρους ζώνης (bandwidth), εξαιτίας της έλλειψης του ραδιοφάσματος.

Άλλα θέματα, τα οποία είναι ανοιχτά, αφορούν την διαχείριση της κινητικότητας (mobility management), τον έλεγχο πολλαπλής πρόσβασης (multiple access control) και την διασύνδεση (internetworking).

Η κύρια πρόκληση των WATM είναι η εναρμόνιση της ανάπτυξης των broadband ασύρματων συστημάτων με B-ISDN και των ATM LANs και η προσφορά παρόμοιων πολλαπλών υπηρεσιών χαρακτηριστικών στον κινητό χρήστη για την υποστήριξη φωνής, video και πολυμεσικών εφαρμογών. Ένα σημαντικό θέμα του σχεδιασμού των WATM, το οποίο μπορεί να οδηγήσει στην βελτίωση του QoS, είναι ο σχεδιασμός ενός Medium Access Control (MAC) protocol για την ραδιο-διασύνδεση (radio interface). Αυτό το πρωτόκολλο θα παρέχει ένα αποτελεσματικό σχήμα, το οποίο θα υποστηρίζει όλες τις υπηρεσίες του ATM και θα εγγυάται το απαιτούμενο QoS για καθεμία σύνδεση.

#### 6.4.1 Ανάπτυξη της ATM τεχνολογίας

Η ATM (Ασύγχρονος Τρόπος Μεταφοράς-Asynchronous Transfer Mode) τεχνολογία είναι το αποτέλεσμα των προσπαθειών για την ανάπτυξη μίας κοινής βάσης για την μετάδοση δεδομένων, φωνής και video. Η πρώτη χρήση των ATM ήταν στα Ευρείας Περιοχής δίκτυα (WANs) και στα Μητροπολιτικά δίκτυα (MANs). Εν συνεχεία, αναπτύχθηκαν στα Τοπικά δίκτυα (LANs) και τελικά στους κινητούς χρήστες. Το ATM ήταν το αποτέλεσμα της προσπάθειας προτυποποίησης του Ψηφιακού Δικτύου Ολοκληρωμένων Υπηρεσιών (Integrated Services Digital Network-ISDN), το οποίο προτάθηκε για ολοκληρωμένες επικοινωνίες, όμως χρειάστηκε πολύ καιρό για να προτυποποιηθεί και όταν η διαδικασία προτυποποίησης ολοκληρώθηκε, είχε σοβαρές ελλείψεις σε δυνατότητες σύνδεσης. Αυτή η έλλειψη οδήγησε σε μια καινούρια προσπάθεια προτυποποίησης για μία υπηρεσία μεταγωγής πακέτου (packet-switched service) με υψηλές ταχύτητες μετάδοσης. Στα τέλη της δεκαετίας του του 1980 μία πρόταση εμφανίστηκε, η οποία ονομάζεται Ασύγχρονη διαίρεση Χρόνου (Asynchronous Time Division-ATD). Αυτή η πρόταση εισήγαγε την ιδέα του πακέτου σταθερού μεγέθους και μετονομάστηκε σε ATM. Η διεθνής Τηλεπικοινωνιακή Ένωση - Τομέας Τηλεπικοινωνιακών Προτύπων (International Telecommunications Union-ITU-T) (έπειτα CCITT), το διεθνές σώμα προτυποποίησης της τηλεπικοινωνιακής βιομηχανίας, μελέτησε εντατικά το ATM.

Στις αρχές της δεκαετίας του 1990, η βιομηχανία των υπολογιστών άρχισε να μελετά τρόπους για να αντικαταστήσει την χαμηλής ταχύτητας υποδομή δικτύωσης (10Mbps), η οποία βασικά αποτελούνταν από το Ethernet και τους ακτύλιους με κουπόνια (token rings). Η Οπτική διασύνδεση Κατανεμημένων δεδομένων (Fibre Distributed Data Interface-FDDI), ένα πρότυπο τοπικού δικτύου στα 100Mbps, συμφωνήθηκε να χρησιμοποιηθεί. Όμως, το FDDI ήταν μόνο ένα πρότυπο δικτύωσης δεδομένων και δεν μπορούσε να υποστηρίξει ενοποιημένες υπηρεσίες. Για να λυθεί αυτό το πρόβλημα, προτάθηκε το FDDI-II, μία τεχνική διατήρησης του εύρους ζώνης για δεδομένα μεταγωγής κυκλώματος στο FDDI, αλλά απέτυχε. Μετά από αυτήν την αποτυχία, η επιτροπή των τοπικών δικτύων αποφάσισε να υιοθετήσει το ATM, το οποίο είχε προτυποποιηθεί για WAN και MAN, ως μια τεχνολογία των LANs ικανή να υποστηρίξει

υπηρεσίες πολυμέσων (multimedia servises). Ένας από τους κυριότερους λόγους αυτής της απόφασης ήταν η απλή μετάφραση των πακέτων, που προορίζονται από τα WANs και τα MANs στα LANs. Το ATM Forum ιδρύθηκε για να ασχοληθεί με την προτυποποίηση του ATM. Πρόκειται για έναν διεθνή οργανισμό μη κερδοσκοπικό, ο οποίος ασχολείται με την επιτάχυνση της χρήσης των προϊόντων και των υπηρεσιών του ATM διαμέσου μιας ραγδαίας προσέγγισης των λειτουργικών προδιαγραφών. Επιπλέον, το ATM Forum προάγει την βιομηχανική συνεργασία και συναίσθηση.

Το ATM είναι η δυνατή σπονδυλική στήλη (backbone) του B-ISDN. Ο όρος ασύγχρονος (asynchronous) αναφέρεται στο γεγονός ότι στο περιεχόμενο της πολυπλεκτικής μετάδοσης (multiplexed transmission), κελιά που σχετίζονται με την ίδια σύνδεση μπορούν να εμφανίζουν ακανόνιστο τρόπο επανεμφάνισης, σαν τα κελιά να μεταδίδονται σύμφωνα με την πραγματική ζήτηση. Το ATM είναι μια προσανατολισμένη προς σύνδεση (connection-oriented) τεχνική, η οποία εγγυάται (κάτω από κανονικές συνθήκες χωρίς λάθη) την ακεραιότητα της ακολουθίας των κελιών. Όταν το ATM χρησιμοποιείται σε όλους τους τύπους πληροφόρησης: video, φωνή και δεδομένα μεταφέρονται σε ένα πακέτο 53 bytes (το οποίο καλείται κελί-cell), το οποίο ετοιμάζεται και μεταδίδεται από τα δίκτυα σε πολύ υψηλές ταχύτητες. Τα 53 bytes του ATM κελιού χωρίζονται στα 5 bytes της επικεφαλίδας (overhead), τα οποία μεταφέρουν πληροφορίες ελέγχου, και στα 48 bytes των δεδομένων. Το μέγεθος του ATM κελιού (53 bytes) έχει σχεδιαστεί για 64 Kbps ή ψηλότερα, τα οποία μπορεί να είναι πολλά για κάποια ασύρματα LANs (εξαιτίας της χαμηλής ταχύτητας και του υψηλού ρυθμού λαθών), συνεπώς τα ασύρματα LANs να χρησιμοποιούν τα 16 ή τα 24 bytes πληροφορίας. Στο B-ISDN/ATM, ένας χρήστης μπορεί να ζητήσει έναν τύπο σύνδεσης ανάμεσα σε διαφορετικούς τύπους νοητών συνδέσεων. Όλες οι αποδεκτές συνδέσεις πρέπει να έχουν εγγύηση Ποιότητας Υπηρεσίας (QoS). Το κίνητρο πίσω από αυτήν την προνόθεση είναι ότι οι εφαρμογές πραγματικού χρόνου (φωνή, video) πρέπει να υποστηρίζονται από το σύστημα. Το QoS για μια νέα σύνδεση καθορίζεται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας εγκατάστασης της σύνδεσης. Ο ελεγκτής εισόδου στο δίκτυο εκτιμά τους απαιτούμενους πόρους και απορρίπτει μία απαίτηση αν δεν υπάρχουν επαρκείς πόροι. Ο χρήστης, ο οποίος έχει την απαίτηση, θα πρέπει να συμπεριλάβει και τις απαιτήσεις του για την κίνηση στην απαιτούμενη σύνδεση, έτσι ώστε ο ελεγκτής να είναι ικανός να κάνει μία ακριβής εκτίμηση. Αφού μια απαίτηση ενός χρήστη γίνεται αποδεκτή, δεν μπορούν να μεταδοθούν περισσότερα πακέτα από τον μέγιστο επιτρεπτό ρυθμό.

#### **6.4.2 Ασύρματα LANs και ATM τεχνολογία.**

Το Ασύρματο LAN (Wireless LAN-WLAN) είναι μία αναδυόμενη τεχνολογία, η οποία παρέχει ευρείας ζώνης ασύρματη τοπική πρόσβαση. Έτσι, προσφέρει διεπικοινωνιακές δυνατότητες για κινητές εφαρμογές και έναν ελκυστικό τρόπο για την εγκατάσταση δικτύων υπολογιστών σε περιβάλλοντα, όπου η εγκατάσταση καλώδιων ή ινών είναι δύσκολη ή ακριβή. Δύο πρότυπα έχουν αναπτυχθεί για να υποστηρίξουν αυτήν την τεχνολογία: το IEEE 802.11 πρότυπο και το High Performance Radio LAN (HIPERLAN), το οποίο ορίστηκε από το Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Τηλεπικοινωνιακών Προτύπων (European Telecommunications Standards Institute-ETSI) RES-10 Group. Το IEEE 802.11 θεωρεί ρυθμούς δεδομένων στα 2Mbps, ενώ το HIPERLAN θεωρεί έναν ρυθμό δεδομένων στα 23.5 Mbps. Επιπλέον, το IEEE 802.11 ορίζει δύο τοπολογίες δικτύων: την infrastructured-based, τοπολογία και την ad-hoc τοπολογία, ενώ το HIPERLAN ορίζει μόνο την ad-hoc τοπολογία. Η infrastructure-based τοπολογία θεωρεί ότι υπάρχει ένα

σημείο πρόσβασης, διαμέσου του οποίου οι κινητοί χρήστες μπορούν να επικοινωνήσουν με το backbone δίκτυο, ενώ η .ad-hoc. τοπολογία θεωρεί ότι οι κινητοί χρήστες επικοινωνούν μεταξύ τους χωρίς να χρησιμοποιούν το ενσύρματο backbone δίκτυο. Το ATM μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πλατφόρμα μετάδοσης και στις δύο τοπολογίες. Κύριος σκοπός του IEEE 802.11 είναι η ανάπτυξη ενός MAC πρωτόκολλου ως προτύπου και ο καθορισμός τριών διαφορετικών προτύπων φυσικών επιπέδων, τα οποία είναι συμβατά με το MAC πρωτόκολλο. Οι διαφορετικοί τύποι φυσικών επιπέδων, οι οποίοι ορίζονται από το 802.11, είναι το ISM band Frequency Hopping (FH), το Direct Sequence Spectrum (DS-SS) και το Infrared (IR) light. Το γεγονός ότι υπάρχουν τόσες πολλές επιλογές για την σχεδίαση ενός 802.11 δικτύου περιπλέκει την διαλειτουργικότητα (interoperability) και αυξάνει τα κόστη εφοδιασμού.

Από την άλλη πλευρά, κύριος σκοπός ενός HIPERLAN είναι η σχεδίαση ενός WLAN παρόμοιο με τα ενσύρματα LANs στην εκτέλεση, όπως το Ethernet, επιπλέον κάποια υποστήριξη για ισόχρονες υπηρεσίες. Το HIPERLAN δουλεύει σε υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων από το 802.11, χρησιμοποιώντας μεγαλύτερες αφοσιωμένες ζώνες (bands): 5150-5300 MHz επιπλέον άλλα 200MHz κοντά στα 17GHz. Η επέκταση του ATM στις ασύρματες επικοινωνίες οδηγεί στην ασύρματη ATM τεχνολογία. Η WATM ομάδα του ATM Forum και το Broadband Radio Access Networks (BRAN) project του ETSI ασχολείται με την προτυποποίηση του WATM. Το ATM μπορεί να θεωρηθεί ως ένα θέμα πρόσβασης σε ένα ATM δίκτυο.. Στην περίπτωση του LAN, μπορεί να θεωρηθεί ως μία επέκταση του LAN για τους κινητούς χρήστες.

### **6.4.3 Ανάγκη για ασύρματα ATM**

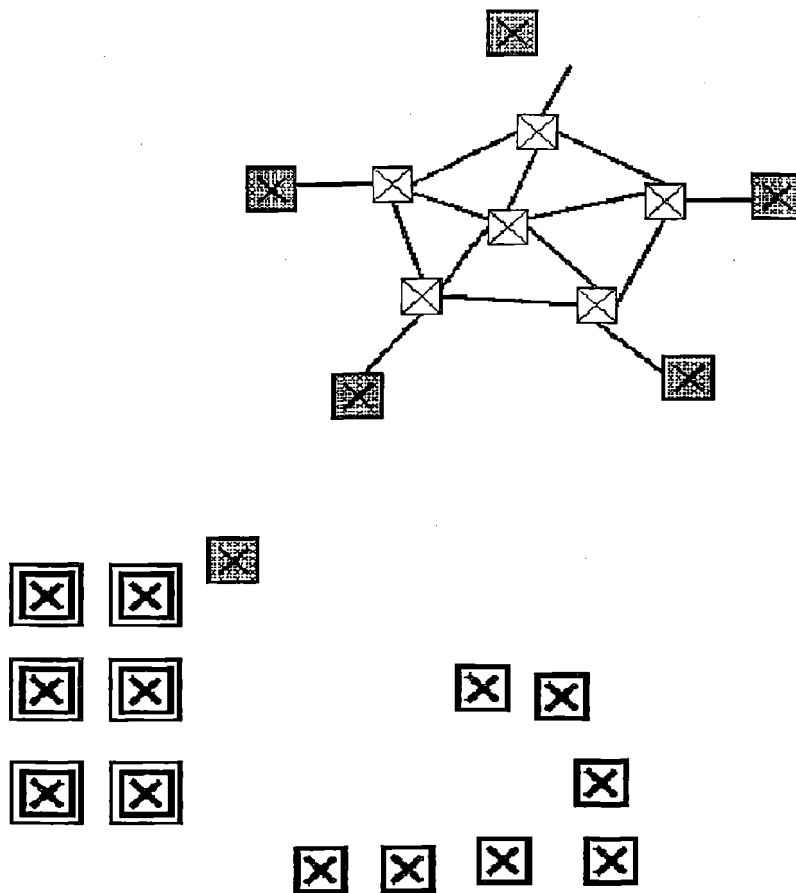
Η WATM τεχνολογία, η οποία μπορεί να θεωρηθεί ως μία υπερβολική επέκταση ενός ενσύρματου ATM δικτύου, δεν είναι τόσο ώριμο όσο το ενσύρματο ATM, το οποίο έχει αποφασιστεί να χρησιμοποιείται ως το backbone δίκτυο της επόμενης γενιάς επικοινωνιών. Η χρήση του ραδιο-συνδέσμου αντί του παραδοσιακού καλωδίου, ως μέσο μετάδοσης, διαφοροποιεί το WATM από το ενσύρματο ATM. Αυτό είναι το μεγάλο πλεονέκτημα του WATM και η αιτία για τα προβλήματά του.

Ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα του WATM είναι η έλλειψη ραδιο-φάσματος. Ο αριθμός των χρηστών, ο οποίος μπορεί να εξυπηρετηθεί από το WATM σύστημα με εγγύηση QoS, είναι περιορισμένος. Αυτό το πρόβλημα μπορεί να λυθεί από ένα αποδοτικό σχήμα κατανομής του εύρους ζώνης (bandwidth), το οποίο θα μπορεί δυναμικά να μοιράζει το διαθέσιμο εύρος ζώνης ανάμεσα στους ενεργούς χρήστες. Άλλο πρόβλημα είναι αυτό, το οποίο οφείλεται στην κινητικότητα (mobility) των χρηστών ανάμεσα στα γειτονικά κελιά. Αυτό το πρόβλημα είναι ακόμα πιο πολύπλοκο σε πολυμεσικά περιβάλλοντα, όπου το QoS πρέπει να διατηρηθεί.

Παρόλα αυτά, η αξία του WATM δεν μπορεί να αγνοηθεί. Η ιδέα της ανάπτυξης μιας τεχνολογίας για ευρείας ζώνης ασύρματη τοπική πρόσβαση, η οποία ολοκληρώνει τα χαρακτηριστικά του ATM με την κινητικότητα του τελικού χρήστη, τα οποία θα υποστηρίζονται από την ραδιο-διασύνδεση, είναι πολύ ελκυστική. Επιπλέον, η υποστήριξη της κινητικότητας του χρήστη με στατιστική πολύπλεξη και QoS εγγύηση, η οποία παρέχεται από τα ενσύρματα ATM δίκτυα, είναι ένα κίνητρο για να βρεθούν τρόποι να ξεπεραστούν τα προβλήματα των WATM. Οι παραπάνω ιδέες είναι οι κύριοι στόχοι των WATM, οι οποίοι δικαιολογούν την σημασία του. Επιπρόσθετα, το WATM έρχεται να μειώσει την πολυπλοκότητα της διασύνδεσης (internetworking) ανάμεσα στο δίκτυο ασύρματης πρόσβασης και στο ενσύρματο backbone και παρέχει στους κινητούς χρήστες ενιαία (seamless) πρόσβαση σε ένα ATM δίκτυο.

### 6.4.4 Ασύρματα ATM Μοντέλα Αναφοράς

Ένα σύστημα μοντέλου αναφοράς για το WATM παρουσιάζεται στην Εικόνα 6.γ. Ολόκληρο το σύστημα αποτελείται από μία βάση σταθερού ATM δικτύου και ένα τμήμα ραδιο-πρόσβασης (radio access). Στο σταθερό ATM δίκτυο, οι μεταγωγοί (switches), οι οποίοι επικοινωνούν απ.ευθείας με τον ασύρματο σταθμό ή με τις ασύρματες συσκευές του τελικού χρήστη, είναι μεταγωγοί επαυξημένης κινητικότητας ATM. Αυτοί οι μεταγωγοί εγκαθιστούν την σύνδεση για λογαριασμό των ασύρματων συσκευών. Λειτουργούν ως είσοδος στην βάση των ασύρματων ATM δικτύων. Τα άλλα στοιχεία μεταγωγής του ATM παραμένουν αμετάβλητα. Εξαιτίας των διαφορετικών ασύρματων εφαρμογών, το τμήμα της ραδιο-πρόσβασης διαιρείται σε έναν αριθμό περιοχών, οι οποίες μπορεί να χρειάζονται διαφορετικές λύσεις.



Σχήμα 6.δ: Ένα WATM Μοντέλο Αναφοράς

#### **6.4.4.1 Σταθερά Ασύρματα Συστατικά Στοιχεία**

Στα σταθερά ασύρματα LANs ή στην διασύνδεση δικτύων μέσω δορυφορικών συνδέσεων ή συνδέσεων με μικροκύματα, οι συσκευές του τελικού χρήστη και οι συσκευές μεταγωγής είναι σταθερές. Εγκαθιστούν συνδέσεις ο ένας με τον άλλο διαμέσου ενός ασύρματου καναλιού και όχι διαμέσου ενός καλωδίου. Σ. αυτά τα είδη των εφαρμογών, οι μεταδόσεις των δεδομένων είναι ασύρματες, χωρίς όμως κινητικότητα (mobility).

#### **6.4.4.2 Κινητοί Τελικοί Χρηστες**

Στα ασύρματα LANs, όπου οι συσκευές των τελικών χρηστών είναι κινητές, η επικοινωνία γίνεται απ.ευθείας με τις συσκευές μεταγωγής του σταθερού δικτύου διαμέσου ενσύρματων ή ασύρματων καναλιών. Για να υποστηριχθούν οι ATM συνδέσεις, οι συσκευές του τελικού χρήστη πρέπει να είναι εφοδιασμένες με τον Wireless Terminal Adaptor, ο οποίος επικοινωνεί με το ασύρματο σημείο πρόσβασης (wireless access point) στα σταθερά στοιχεία μεταγωγής.

#### **6.4.4.3 Κινητοί Μεταγωγοί με Σταθερούς Τελικούς Χρήστες**

Οι συσκευές των τελικών χρηστών συνδέονται με μεταγωγείς διαμέσου ενσύρματων ή ασύρματων καναλιών. Η συσκευή του τελικού χρήστη και ο μεταγωγός, ως μία μονάδα, είναι κινητοί. Μπορεί να υπάρχουν περισσότερες από μία συσκευές συνδεδεμένες με έναν μεταγωγό. Μία συσκευή τελικού χρήστη είναι σταθερή σε έναν μεταγωγό αντί να συνδέεται σε διαφορετικούς μεταγωγείς. Ο μεταγωγός είναι υπεύθυνος να εγκαταστήσει τις συνδέσεις με την σταθερή βάση δικτύου, είτε με ενσύρματο κανάλι είτε με ασύρματο. Σ.αυτήν την περίπτωση τα Wireless Access Points και οι Wireless Terminal Adaptors χρειάζονται τους σταθερούς μεταγωγούς του ATM επαυξημένης κινητικότητας και τους κινητούς μεταγωγείς.

#### **6.4.4.4 Κινητοί Μεταγωγοί και Τελικοί Χρήστες.**

Σ.αυτήν την περίπτωση οι συσκευές των τελικών χρηστών είναι κινητές. Υπάρχουν, επίσης, μερικά κινητά στοιχεία μεταγωγής. Όταν, ο κινητός χρήστης θέλει να εγκαταστήσει μία σύνδεση, αυτό αρχικά εγκαθιστά μία σύνδεση με έναν κινητό μεταγωγό, ο οποίος, στη συνέχεια, εγκαθιστά μια σύνδεση με μεταγωγούς σταθερού δικτύου, είτε απ.ευθείας είτε διαμέσου άλλων κινητών μεταγωγών. Τα Wireless Access Points και οι Wireless Terminal Adaptors, επίσης, χρειάζονται για να υποστηρίξουν την κινητικότητα.

#### **6.4.4.5 Διασύνδεση με PCS**

Στα PCS δίκτυα, οι χρήστες είναι τα PCS τερματικά. Τα PCS τερματικά στέλνουν δεδομένα στους κατάλληλους PCS σταθμούς βάσης (base stations) διαμέσου ασύρματου συνδέσμου, ο οποίος στη συνέχεια εγκαθιστά συνδέσεις στα σταθερά στοιχεία μεταγωγής δικτύου διαμέσου ενός ελεγκτή του σταθμού βάσης. Ο ελεγκτής του σταθμού βάσης είναι ένα λογικό στοιχείο, ο οποίος λειτουργεί ως το ATM<->PCS.

#### **6.4.4.6 Ασύρματα Ad-Hoc Δίκτυα**

Ένα Ad-Hoc δίκτυο είναι η συμφωνία συνεργασίας μίας συλλογής κινητών τερματικών χωρίς την απαιτούμενη παρεμβολή κανενός κεντρικού σημείου πρόσβασης. Μία αυτο-διαμόρφωση (auto-configuration) ενός ασύρματου ATM δικτύου θα απαιτηθεί από αυτό το είδος της εφαρμογής. Στα ασύρματα Ad-Hoc δίκτυα, ένας τελικός χρήστης μπορεί να επικοινωνήσει με τους μεταγωγείς ATM επαυξημένης κινητικότητας είτε απ.ευθείας είτε διαμέσου ενός κεντρικού ελεγκτή.

### **6.5 Ασύρματα ATM Επιπεδα**

Ένα WATM σύστημα γενικά αποτελείται από:

- το Radio Access layer &
- το Mobile ATM Management layer.

Το Radio Access layer χωρίζεται:

- στο υψηλής ταχύτητας Radio Physical layer (PHY)
- στο Medium Access Control layer (MAC)
- στο Data Link Control Layer (DLC) &
- στο Wireless Control layer (WC).

Από την άλλη πλευρά, το Mobile ATM Management layer παρέχει ένα μηχανισμό για:

- handover έλεγχο
- location tracking management
- routing & QoS control.

Η σχεδίαση καθενός από τα παραπάνω είναι σημαντική διότι επηρεάζει την αποδοτικότητα του συστήματος.

Το πρωτόκολλο, το οποίο προτάθηκε από την ATM Forum απεικονίζεται στην Εικόνα 6.δ. Τα WATM στοιχεία έχουν χωριστεί σε δύο ευδιάκριτα κομμάτια: το Mobile ATM και το Radio Access Layer.

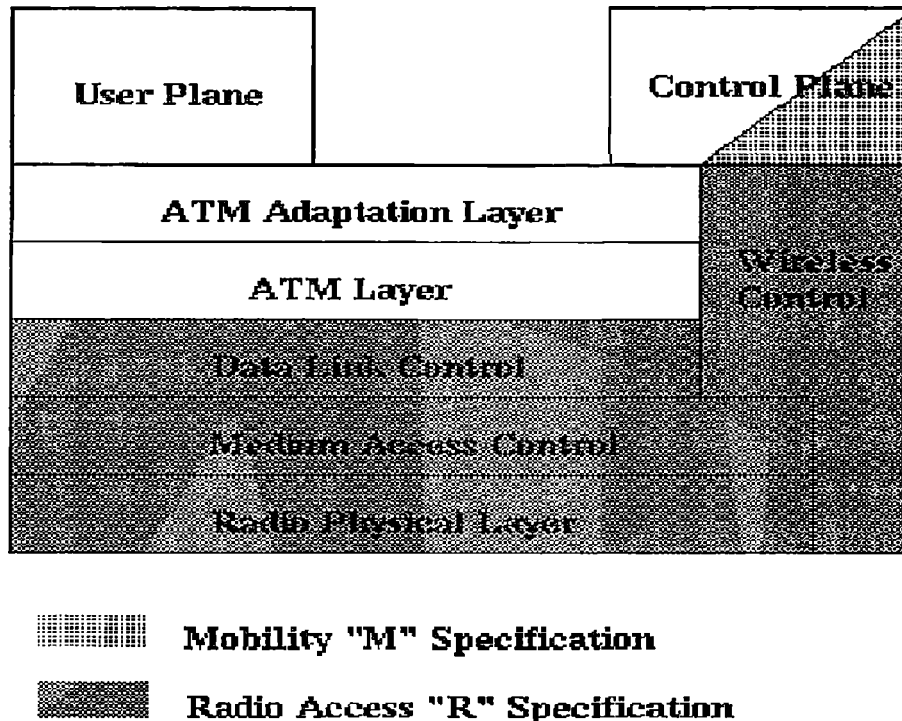
Το Mobile ATM διαχειρίζεται τις λειτουργίες ελέγχου/σηματοδοσίας υψηλού επιπέδου, οι οποίες είναι απαραίτητες για να υποστηρίξουν την κινητικότητα. Αυτές οι λειτουργίες ελέγχου/σηματοδοσίας περιλαμβάνουν το handover, το location management, το routing, το addressing και το traffic management. Το Radio Access Layer είναι υπεύθυνο για τα πρωτόκολλα ραδιο-σύνδεσης για την ασύρματη ATM πρόσβαση. Το Radio Access Layer αποτελείται από το PHY (Radio Physical Layer), το MAC (Media Access Control), το DLC (Data Link Control) και το WC (Wireless Control).

#### **6.5.1 Radio Access Layer**

Το Radio Access layer αποτελείται από τέσσερα υποεπίπεδα, τα οποία είναι απαραίτητα για την επέκταση των υπηρεσιών του ATM σε έναν ασύρματο σύνδεσμο. Οι κυριότερες

λειτουργίες αυτού του επιπέδου περιλαμβάνουν υψηλής ταχύτητας φυσικό επίπεδο μετάδοσης (PHY), μέσο ελέγχου πρόσβασης (MAC) για πολλαπλό διαμοιρασμό καναλιού, έλεγχο σύνδεσης δεδομένων (DLC) για διόρθωση λαθών του αναξιόπιστου ραδιο- καναλιού και ασύρματο έλεγχο (WC) για διαχείριση ραδιο-πόρων.

## WATM Protocol Architecture



Σχήμα 6.ε : WATM Πρωτόκολλο Αρχιτεκτονικής

Το φυσικό επίπεδο ασχολείται με την πραγματική μετάδοση των δεδομένων μέσα από το φυσικό μέσο. Το WATM απαιτεί υψηλής ταχύτητας radio modem ικανό να παρέχει αξιόπιστη μετάδοση σε micro-cell και pico-cell περιβάλλοντα με ακτίνα κελιού (cell radius) στα 100 - 500m. Τα WATM συστήματα συνδέονται με τα 5 GHz NII / Supernet ζώνη στις Η.Π.Α. ή με το HIPERLAN στην Ευρώπη. Τυπικά bit rates για το WATM φυσικό επίπεδο είναι της τάξης των 25 Mbps. Υποψήφιος μέθοδοι διαμόρφωσης του WATM φυσικού επιπέδου είναι το QPSK/QAM, το MULTICARRIER Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) και το spread spectrum CDMA. Οι προτεινόμενες συγκεκριμένες απαιτήσεις για το φυσικό επίπεδο (PHY) παρατίθενται στον Πίνακα 6.1. Ένα από τα κύρια θέματα που αφορούν το DLC επίπεδο είναι η εξομάλυνση των συνεπειών των λαθών των ραδιοφωνικών καναλιών. Εφόσον η end-to-end ATM εκτέλεση είναι ευαίσθητη στην απώλεια κελιών, δυναμικές διαδικασίες ελέγχου λαθών απαιτούνται από το WATM radio access επίπεδο. Οι τεχνικές, οι οποίες κυρίως χρησιμοποιούνται για να χειριστούν αυτό το πρόβλημα είναι οι: Automatic Repeat Request (ARQ) και Forward Error Correction (FEC) ή συνδυασμός



και των δύο. Γενικά, πληροφορίες, που δεν είναι ευαίσθητες στον χρόνο όπως τα δεδομένα μπορούν να μεταδοθούν με το ARQ, ενώ πληροφορίες ευαίσθητες στον χρόνο όπως η φωνή ή το video μπορούν να μεταδοθούν με το FEC.

	Low Speed Wireless PHY	High Speed Wireless PHY
Frequency Band	5.15 - 5.35 GHz, 5.725 - 5.875 GHz	59 GHz - 64 GHz
Cell radius	80 m	10 - 15 m
Transmit power	100 mW	10 - 20 mW
Frequency reuse factor	up to 12	7
Channel bandwidth	30 MHz	150 / 700 MHz
Data Rate	25 Mbit/s	155 / 622 Mbit/s
Modulation	16 tone DQPSK	32 tone DQPSK
MAC interface	parallel, transfer speed 3.127 Mbyte/s	parallel, transfer speed 87.5 Mbyte/s
Fixed packet length	PHY header + MAC header + 4 * ATM cells	

Πίνακας 6.1 : Συγκεκριμένες απαιτήσεις για το PHY επίπεδο

Ο κύριος σκοπός του MAC επιπέδου είναι να υποστηρίξει την διαμοιραζόμενη χρήση του ραδιοφωνικού καναλιού από πολλούς κινητούς χρήστες.

Το MAC επίπεδο πρέπει να είναι διάφανο στα διαφορετικά φυσικά επίπεδα και να υποστηρίζει πρότυπες ATM υπηρεσίες με εγγύηση QoS, ενώ να διατηρεί λογικά υψηλή αποδοτικότητα του ραδιοφωνικού καναλιού. Γενικά, τα MAC πρωτόκολλα ομαδοποιούνται σε πέντε τάξεις: fixed assignment (TDMA, FDMA), random access (ALOHA, CSMA), centrally controlled demand assignment, demand assignment with distributed control και adaptive strategies and mixed modes.

Τα πρωτόκολλα σταθερής (fixed) ανάθεσης (assignment) ενσωματώνουν μόνιμες αναθέσεις υποκαναλιών (data slots) στον χρόνο ή στο πεδίο συχνοτήτων για τους ατομικούς χρήστες. Αυτά λειτουργούν καλά με κίνηση τύπου χειμάρρου (stream-type) όπως είναι η φωνή, αλλά είναι μη αποδοτικά σε bursty traffic εφαρμογές, διότι το υποκανάλι χαραμίζεται όταν ο ιδιοκτήτης του δεν έχει τίποτα να μεταδώσει.

Η bursty κίνηση εξυπηρετείται καλύτερα από τυχαίας πρόσβασης πρωτόκολλα, όπως το ALOHA. Οι τεχνικές τυχαίας πρόσβασης κάνουν την πλήρη χωρητικότητα του καναλιού διαθέσιμη στους χρήστες, για μικρές χρονικές περιόδους, σε μία τυχαία βάση. Είναι προσανατολισμένες σε πακέτα (packet-oriented) και κατανέμουν την χωρητικότητα δυναμικά σε μία βάση ανά πακέτο.

Οι τεχνικές ανάθεσης της ζήτησης (demand assignment) παρέχουν στους χρήστες κανάλι με βάση την ζήτηση. Αποτελούνται από δύο στάδια: το στάδιο της κράτησης (reservation) και το στάδιο της μετάδοσης (transmission). Στο στάδιο της κράτησης, οι χρήστες έχουν πρόσβαση στο κρατημένο υποκανάλι, σύμφωνα με το πολλαπλής

πρόσβασης πρωτόκολλο -TDMA ή ALOHA- για να ζητήσουν εύρος ζώνης (bandwidth). Εάν, ο χρόνος του καναλιού έχει κρατηθεί, οι πληροφορίες μεταδίδονται χωρίς συγκρούσεις. Μία σύγκρουση μπορεί να συμβεί μόνο σε κράτηση μικρής χωρητικότητας του υποκαναλιού. Ο έλεγχος και των δύο σταδίων μπορεί να γίνει συγκεντρωτικά (centralised) ή κατανεμημένα (distributed). Στην περίπτωση του συγκεντρωτικού ελέγχου, ένας ελεγκτής χρησιμοποιείται, ο οποίος αποφασίζει για την κατανομή του εύρους ζώνης (bandwidth allocation), ενώ στην περίπτωση του κατανεμημένου ελέγχου, οι χρήστες βασίζονται τις ενέργειές τους στην πληροφορία που είναι διαθέσιμη σε όλους διαμέσου των καναλιών εκπομπής. Η τελευταία τάξη των MAC τεχνικών σχεδιάστηκε για να χειριστεί καταστάσεις, οι οποίες περιλαμβάνουν συνδυασμό διαφόρων τύπων κίνησης ή μίξη ποικίλων χρονικών περιόδων.

Πολλές παραλλαγές του TDMA έχουν προταθεί για τα μελλοντικά broadband ATM. [11]- Αυτά ταξινομούνται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: Division Duplex (DSS++, DQRUMA) και Time Division Duplex (MASCARA, DTDMA/TDD), σύμφωνα με τον αριθμό των φερόντων συχνοτήτων που χρησιμοποιούν.

Πρωτόκολλα, τα οποία χρησιμοποιούν FDD στο PHY μπορούν να αντιμετωπίσουν τις διαδικασίες διαμάχης πρόσβασης πιο γρήγορα. Όμως, το TDD είναι καλύτερο όταν οι συχνότητες είναι σπάνιες.

Εν τέλει, το WC επίπεδο υποστηρίζει τον έλεγχο ραδιοφωνικής πηγής και τις λειτουργίες διαχείρισης στο radio access επίπεδο και επιπρόσθετα περιλαμβάνει metasignalling δυνατότητες, οι οποίες συμπληρώνουν το μονοπάτι ελέγχου (control path) ανάμεσα στον ραδιο-σύνδεσμο (radio link) και στο παραδοσιακό ATM signalling/control επίπεδο.

### 6.5.2 Mobile ATM Management Layer

Η υποστήριξη κινητικότητας είναι το κυριότερο χαρακτηριστικό των WATM.

Οι κυριότερες λειτουργίες του Mobile ATM Management επιπέδου είναι:

\_handover έλεγχος για δυναμική επαναδρομολόγηση των ιδεατών κυκλωμάτων (virtual circuits-VCs) κατά την διάρκεια μετακίνησης του κινητού χρήστη

\_εντοπισμός της τοποθεσίας για χαρτογράφηση των κινητών usernames. στην τρέχουσα τοποθεσία

\_δρομολόγηση (routing) &

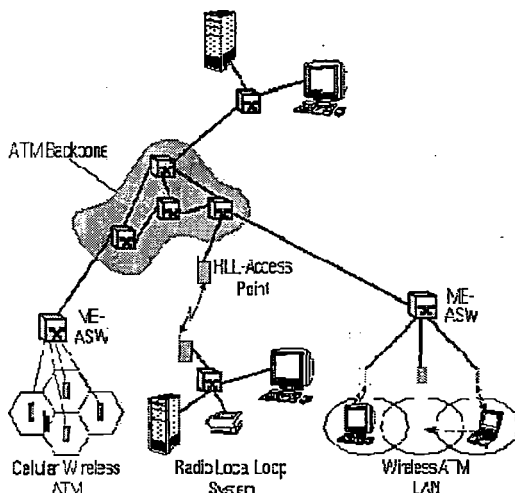
\_έλεγχος QoS (QoS control).

Ο handover έλεγχος είναι μία βασική κινητή δικτυακή δυνατότητα για δυναμική υποστήριξη της μετακίνησης των προσωπικών H/Y, cellular ή ευρείας περιοχής(WAN) backbone και end-to-end WATM. Αυτή η δυνατότητα απαιτεί σηματοδότηση (signalling) και επεκτάσεις του δικτυακού ελέγχου για δυναμική επαναδρομολόγηση ενός συνόλου ιδεατών κυκλωμάτων (VCs) από την μία ραδιοφωνική θύρα (port) στην άλλη. Η υιοθετημένη handover στρατηγική σε ένα WATM έχει σημαντική επίδραση στα χαρακτηριστικά της κίνησης και συνεπώς, στο προσφερόμενο QoS. [12] Τα υπάρχοντα handover σχήματα μπορούν να ταξινομηθούν σε διαφορετικές κατηγορίες με βάση ποικίλα κριτήρια. Βασίζονται σε σχήματα ενός κελιού ή πολλών κελιών και υποστηρίζουν κινητικότητα είτε ολικά είτε μερικά επαναδιαμορφώνοντας τις υπάρχουσες κινητές συνδέσεις ή εγκαθιστώντας πολλαπλές συνδέσεις κατά την διάρκεια των κινητών handovers.

Ο μηχανισμός εντοπισμού τοποθεσίας παρέχει μία χαρτογράφηση (mapping) ανάμεσα στο μοναδικό κινητό 'username' και σε ένα 'routing-id', η οποία χρησιμοποιείται για να εντοπιστεί το τρέχον κελί, όπου βρίσκεται ο κινητός χρήστης. Ο εντοπισμός της τοποθεσίας μπορεί να βασιστεί στην ιδέα της τοποθεσίας του σπιτιού (home location) και της τοποθεσίας του επισκέπτη (visitor location), η οποία χρησιμοποιεί βάσεις δεδομένων για να κρατάει το σπίτι (home) και την προσωρινή διεύθυνση του κινητού χρήστη. Αυτή η ιδέα χρησιμοποιείται στο GSM και στο IS-41. Επιπλέον, η εκπομπή σήματος (broadcasting) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εφαρμογή του μηχανισμού εντοπισμού τοποθεσίας. Αυτή η λύση προτάθηκε στο BAHAMA project. [13] Η δρομολόγηση (routing) και ο QoS έλεγχος απαιτούνται για να αντιμετωπίσουν αλλαγές και βελτιστοποιήσεις που σχετίζονται με το handover. Ένα handover γεγονός μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα μία σημαντική αλλαγή στην βέλτιστη διαδρομή κάθε ιδεατού κυκλώματος (VC) που σχετίζεται με τον κινητό χρήστη. Αυτό σημαίνει ένα μέρος του ιδεατού κυκλώματος πρέπει να επανεγκατασταθεί σύμφωνα με τα κριτήρια της εγγύησης QoS. Η δρομολόγηση είναι στενά συνδεδεμένη με την υπηρεσία ελέγχου του QoS, έτσι ώστε να διατηρηθούν οι επιλεγθείσες παράμετροι της εξυπηρέτησης κατά την διάρκεια της κινητής σύνδεσης. Ο QoS έλεγχος απαιτεί μία συνολική άποψη των δικτυακών πηγών (switch και micro-cellular).

## 6.6 Παράδειγμα ATM Δικτυου.

Στην Εικόνα 6.ζ παρουσιάζονται διάφορα σενάρια εφαρμογής του ασύρματου ATM. Ενώ τα cellular ασύρματα ATM δίκτυα μπορεί να καλύπτουν την περιοχή μιας πόλης και να επιτρέπουν στον χρήστη να περιφέρεται σ'αυτήν την σχετικά μεγάλη περιοχή, οι πιθανές κινήσεις του χρήστη είναι περιορισμένες. Προκειμένου να υποστηριχθεί η κινητικότητα του χρήστη είναι απαραίτητοι οι μεταγωγοί ATM επαυξημένης κινητικότητας (ME-ASW). Αν το ασύρματο ATM χρησιμοποιείται για ασύρματες τοπικές διαμορφώσεις, οι χρήστες είναι οι μόνοι που τους επιτρέπεται να συνδεθούν με το σημείο πρόσβασης που τους αντιστοιχεί. Έτσι, καμμία λειτουργία υποστήριξης μέσα στο ATM δίκτυο δεν απαιτείται.



Σχήμα 6ζ : σενάρια εφαρμογής του ασύρματου ATM

### 6.6.1 Ασύρματα ATM πρωτότυπα

Ένας αριθμός από WATM πρωτότυπα έχουν προταθεί μέχρι σήμερα. Το Seamless Wireless ATM Network (SWAN) και το Broadband Ad-Hoc ATM Anywhere (BAHAMA) έχουν προταθεί από τα AT&T Bell Εργαστήρια. Το SWAN υποστηρίζει end-to-end ATM σύνδεση στους κινητούς χρήστες. Το σύστημα έχει σχεδιαστεί για pico-cellular ασύρματο περιβάλλον, όπου οι κινητοί hosts κινούνται συχνά ανάμεσα στα κελιά. Από την άλλη πλευρά, το BAHAMA είναι μία προσπάθεια για τον σχεδιασμό ενός ασύρματου ATM LAN ικανού να υποστηρίξει κινητούς χρήστες με multi-Mbps ρυθμούς πρόσβασης και multi-Gbps συνολικές δυνατότητες. Ο όρος ad-hoc αναφέρεται στην διασύνδεση του Portable Base Stations (PBS) παρέχοντας micro-cellular κάλυψη. Οι κινητοί χρήστες μπορούν να επικοινωνήσουν ο ένας με τον άλλο άμεσα αν είναι κοντά ή χρησιμοποιώντας το PBS backbone LAN.

Το WATM δίκτυο είναι ένα πρωτότυπο, το οποίο προτάθηκε από τα NEC C&C εργαστήρια έρευνας. Είναι ένα ασύρματο δίκτυο βασισμένο σε ATM, ικανό να υποστηρίξει πολυμεσικές προσωπικές επικοινωνίες με QoS έλεγχο. Η αρχιτεκτονική του συστήματος βασίζεται στην συγχώνευση των MAC, DLC και WC επιπέδων σε ένα ATM πρωτόκολλο επαυξημένης κινητικότητας. Το σύστημα υποστηρίζει ABR, CBR και VBR υπηρεσίες μεταφοράς και χρησιμοποιεί ένα MAC πρωτόκολλο βασισμένο σε TDMA/TDD για πρόσβαση καναλιού.

### 6.6.2 Προτυποποίηση .

Η έρευνα για τα ασύρματα ATM δίκτυα πραγματοποιείται εδώ και πολύ καιρό. Έχουν γραφτεί πολλά άρθρα για το θέμα και έχουν ανακοινωθεί και μερικά πρωτότυπα. Όμως ακόμα, το πιο σημαντικό μέρος της δραστηριότητας λείπει από την σκηνή των ασύρματων ATM δικτύων. Για τις επιχειρήσεις, που έχουν επαγγελματικό ενδιαφέρον, ο κύριος σκοπός είναι συχνά να θέσουν σε εφαρμογή υλικό και συστήματα, τα οποία συμμορφώνονται με κάποια πρότυπα. Έτσι, ο Οκτώβριος του 1995 υπήρξε ένα σημαντικό ορόσημο για τα ασύρματα ATM δίκτυα. Τον Οκτώβριο, το θέμα των ασύρματων ATM δικτύων προέκυψε σε δύο διαφορετικά forums προτυποποίησης, τα οποία ονομάζονται ETSI STC RES10 και ATM Forum. Υπάρχουν τρία πρότυπα, τα οποία έχουν ορίσει το φυσικό επίπεδο υπέρ του ATM: ANSI, CCITT/ITU-T και το ATM Forum. Κανένα από αυτά δεν έλαβε υπόψη του την ασύρματη ATM εναέρια διασύνδεση. Το ETSI RES10, υποτεχνική επιτροπή είναι η πρώτη, η οποία ασχολήθηκε με την προτυποποίηση σε ασύρματα πολυμέσα, συμβατά με το ATM. Η RES10 επιτροπή είχε ήδη ασχοληθεί με την προτυποποίηση του HIPERLAN και η ομάδα του ασύρματου ATM άρχισε να δουλεύει σ.αυτό το θέμα. Η αρχική δουλειά θα επικεντρωθεί στην χρήση πιθανών σεναρίων και με συγκεκριμένες απαιτήσεις. Επίσης, η έρευνα για διαθέσιμο spectrum στα 5.2 GHz για το σύστημα του ασύρματου ATM είναι κρίσιμη και γι.αυτό μία από τις εργασίες του RES10.

### 6.6.3 Συγκριτική Παρουσίαση του ATM με άλλες Τεχνολογίες

Μετά από την παρουσίαση των σημαντικότερων πτυχών του ATM είναι πολύ ενδιαφέρον να κάνουμε και κάποιες συγκρίσεις. Παρακάτω θα δούμε πως συγκρίνεται η τεχνολογία ATM με άλλες εναλλακτικές τεχνολογίες όπως TDM (Time Division Multiplexing), Frame Relay, LAN(FDDI, Token Ring, Ethernet).

Ακολουθούν οι συγκρίσεις του ATM με:

#### 6.6.3.1 Μισθωμένες γραμμές(TDM)

Μισθωμένες γραμμές, είναι οι γραμμές που μπορεί να νοικιάσει κάποιες ιδιώτης από την τηλεφωνική εταιρεία (για την Ελλάδα τον ΟΤΕ) και εγκαθιστούνται ανάμεσα σε δύο σταθερά σημεία σε διαφορετικές γεωγραφικές θέσεις. Ιστορικά, μισθωμένες γραμμές χρησιμοποιούνταν για ιδιωτικά δίκτυα φωνής ή δεδομένων μεγάλων εταιρειών. Μέχρι πρόσφατα όλες οι μισθωμένες γραμμές ήταν αναλογικές αλλά σήμερα σχεδόν όλος ο δικτυακός εξοπλισμός είναι ψηφιακός. Οι ψηφιακές μισθωμένες γραμμές είναι πολύ συνηθισμένες και τις συναντούμε καθημερινά .

Οι ψηφιακές μισθωμένες γραμμές βασίζονται σε δίκτυα που χτίζονται πάνω σε πολυπλέκτες που κάνουν πολύπλεξη χρόνου (Time Division Multiplexing) και μεταγωγείς. Τα ATM δίκτυα, επίσης χρησιμοποιούν πολυπλέκτες και μεταγωγείς που έχουν παρόμοιο ρόλο και μπορούν να προσφέρουν υπηρεσίες ισάξιες με τις ψηφιακές μισθωμένες γραμμές.

Η χρήση του ATM προσφέρει αρκετά πλεονεκτήματα αλλά έχει πολύ μεγαλύτερο κόστος. Με το ATM μπορούμε να δεσμεύσουμε bandwidth π.χ. για τηλεδιάσκεψη ενώ συγχρόνως να στέλνουμε φαχ πάνω από την ίδια γραμμή θέτοντας μεγαλύτερη προτεραιότητα. Έχουμε ποιότητα υπηρεσιών (Quality of service) και γενικά μπορούμε να διαχειριστούμε το bandwidth πολύ αποδοτικά.

#### 6.6.3.2 Τεχνολογία μεταγωγής πακέτων X.25

Το X.25 ήταν το πρώτο παγκόσμιο σύστημα που συνέδεε όλους τους τύπους των δικτυακών συσκευών σε ένα κοινό δίκτυο μεταγωγής (Switced) δεδομένων. Για χαμηλής ταχύτητας δίκτυα με υψηλά επίπεδα θορύβου τα πακέτα X.25 είναι αρκετά στέρεα και επιβιώνουν ακόμα και από μεγάλα συγκριτικά επίπεδα λαθών. Το πρόβλημα εδώ είναι το κόστος για αυτή την ανοχή στα λάθη και η ανικανότητα εκμετάλλευσης πιο προηγμένων και ποιοτικών γραμμών μεταφοράς.

Έτσι οι μέγιστες ταχύτητες που μπορούν να μεταδώσουν και να λάβουν τα X.25 δίκτυα περιορίζονται στα 64K bits/sec. Παρόλα αυτά το X.25 παραμένει ενεργό κυρίως λόγω της ικανότητάς του για διασύνδεση συσκευών όλων των κατασκευαστών αλλά και λόγω της θέσης που κατείχε τόσα χρόνια στην αγορά.

#### 6.6.3.3 Τεχνολογία μεταγωγής πακέτων Frame Relay

Η τεχνολογία Frame Relay έχει σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με το X.25. Ο έλεγχος για λάθη και διόρθωση αφαιρέθηκε από τις ενδιάμεσες δικτυακές συσκευές και γίνεται μόνο στα άκρα. Το Frame Relay χειρίζεται συνδέσεις της τάξης των 64K bits/sec και 2M bits/sec. Για δίκτυα που δεν χρειάζονται ταχύτητες πάνω από 2M bits/sec είναι μία πού καλή λύση και

είναι πολύ δύσκολο να αντικατασταθεί από το ATM. Το ATM δεν μπορεί να συναγωνιστεί το FR σε αυτές τις ταχύτητες κυρίως λόγω του μεγέθους της κυψελίδας - πακέτου (53 bytes) που δεν μπορεί να είναι αποδοτικό σε τέτοιες ταχύτητες. Η διάρκεια αποστολής μίας κυψελίδας (cell) στα 512 K bits/sec είναι περίπου 1ms ενώ στα 34 Mbits/sec είναι 12ns. Το ATM θα αντικαταστήσει το Frame Relay σε ταχύτητες υψηλότερες των 2M bits/sec ειδικά σε εφαρμογές με μικρό επίπεδο ανοχής στο θόρυβο (βίντεο). Ωστόσο η συμμαχία ATM/Frame Relay είναι σύνηθες φαινόμενο σε μεγάλα δίκτυα (Χρήση Frame Relay για χαμηλότερες ταχύτητες και ATM για τις υψηλότερες).

#### **6.6.3.4 Τεχνολογίες τοπικών δικτύων (Token Ring, Ethernet, Fddi)**

Τα τοπικά δίκτυα Token Ring και Ethernet είναι τα πιο διαδεδομένα στον κόσμο και λειτουργούν με μία ταχύτητα 10M bits/sec. Τα τελευταία χρόνια νέες τεχνολογίες εμφανίστηκαν και αύξησαν την ταχύτητα διασύνδεσης τοπικών δικτύων στα 100M bits/sec (FDDI) αλλά και την σύνδεση με τον τελικό χρήστη στα 100M bits/sec (Fast Ethernet). Το ATM μπορεί να δώσει ταχύτητες 34M bits/sec, 155M bits/sec και 622Mbits/sec. Η τεχνική ATM Lan emulation (LANE) που έχει προταθεί από το ATM Forum και περιγράφηκε προηγουμένως δείχνει ότι το ATM μπορεί να αντικαταστήσει το Ethernet και το Token Ring. Δεν πρέπει βέβαια να μας αφήσει αδιάφορους το κόστος του ATM που είναι σημαντικό.

# Επίλογος

Η εποχή των ασύρματων επικοινωνιών έχει ήδη αρχίσει και κατά πάσα πιθανότητα μεταφερόμαστε στην εποχή των ασύρματων broadband επικοινωνιών πολύ πιο γρήγορα από ότι φανταζόμαστε. Τα ασύρματα ATM είναι μία αναδυόμενη τεχνολογία, η οποία δείχνει να κατέχει όλες τις δυνατότητες, οι οποίες απαιτούνται για να παρέχουν επιτυχώς μία πλατφόρμα διασύνδεσης με τα ασύρματα συστήματα. Οι βασικές δυνατότητες των ATM, όπως οι πολλαπλές υπηρεσίες, οι πολυμεσικές δυνατότητες, οι δυνατότητες εφαρμογής για όλο το εύρος των εφαρμογών ανέξαρτητα από το εύρος ζώνης καθώς και η πλατιά διαδεδομένη παράταξη (deployment) και στα δημόσια και στα ιδιωτικά περιβάλλοντα, διαμορφώνουν ένα στέρεο θεμέλιο για όλες τις υπηρεσίες. Αυτό το γεγονός κάνει το ATM μία μοναδική βάση τεχνολογίας για τα ασύρματα δίκτυα. Τα ασύρματα ATM θα πρέπει να ορίζονται στενά ενοποιημένα σε ένα σταθερό ATM για να μπορεί να παρέχει μία πραγματική ενοποιημένη υποστήριξη δικτύου το ίδιο καλά και στους κινητούς και στους σταθερούς χρήστες. Τα πλεονεκτήματα του δικτύου πολλαπλών υπηρεσιών, το οποίο παρέχει κινητικότητα (mobility), είναι πιο ευδιάκριτα στα ιδιωτικά ATM δίκτυα. Το ανταγωνιστικό πλαίσιο, ιδιαίτερα στην Ευρώπη, φαίνεται ώριμο για παρόμοια ανάπτυξη και στα δημόσια δίκτυα. Η ερώτηση, η οποία παραμένει, είναι αν είναι εφικτό να χρησιμοποιήσεις τα ATM πρότυπα για να υποστηρίξεις ενοποιημένη κινητικότητα. Τα αποτελέσματα των ερευνών έχουν φτάσει στα συμπεράσματα ότι τα WATM μπορούν να οριστούν καλά ενοποιημένα σε σταθερά ATM δίκτυα, όταν βασίζονται στις παρακάτω δύο αρχές:

1. Τα ATM πρότυπα χρησιμοποιούνται μόνο με εκείνα τα χαρακτηριστικά, τα οποία είναι απαραίτητα για να υποστηρίξουν κινητικότητα. Σ'αυτήν την περίπτωση, οι επαυξήσεις παραμένουν τόσο περιορισμένες ώστε είναι εφικτό να μπορούν να περιλαμβάνονται σε όλους τους ATM μεταγωγούς με ελάχιστο ή καθόλου κόστος.

2. Αυτά τα χαρακτηριστικά, τα οποία δεν είναι απολύτως απαραίτητα, ορίζονται ως επεκτάσεις στο ATM με ξεκάθαρους ορισμούς διασύνδεσης. Αυτή η πρόταση φαίνεται να συνδυάζει τα καλύτερα χαρακτηριστικά των περισσότερων προτάσεων για τα ασύρματα ATM. Επιτρέπεται η κινητικότητα να προστεθεί οπουδήποτε στο ATM δίκτυο, απλά προσθέτοντας τα συγκεκριμένα συστατικά στοιχεία του κινητού δικτύου.

Όσο η διαδικασία των ATM προτύπων συνεχίζεται, μία μοναδική ευκαιρία υπάρχει για να επιτευχθεί η ενοποίηση των κινητών και των σταθερών επικοινωνιών. Σίγουρα χρειάζεται ακόμα πολλή δουλειά, όμως η ευκαιρία έχει ήδη δοθεί.

## Βιβλιογραφία

---

1. 'ATM Everywhere', IEEE Network, March 1993
2. 'What should be the goal for ATM', IEEE Network, September 1992
3. 'ATM switching on demand', IEEE Network, March 1992
4. ATM Virtual Router Architecture, Newbridge Networks Corp., 600 March Rd. Kanata, Ont., April 1994
5. Ali, Irfan, Newbridge ATM: The Total Networking Solution, Newbridge Networks Corp., 600 March Rd. Kanata, Ont., 1995
6. Giroux, Natalie and Chiswell, David, Traffic Management for ATM LAN Data Networks, Newbridge Networks Corp., 600 March Rd. Kanata, Ont., March 1995
7. McDysan, David E. and Spohn, Darren L., ATM Theory and Application, McGraw Hill,
8. Πομπόρτσης Α., «Εισαγωγή στις νέες τεχνολογίες επικοινωνιών»,(Α. Τζιόλα 1997)
9. William Stallings, «Data and Computer Communications»,(Prentice-Hall, Inc.1997)
10. Quale, Jean, Building Scalable ATM LANs, Newbridge Networks Corp., 600 March Rd. Kanata, Ont., April 1994
11. Simpson, Ted L., Novell Netware 3.11/3.12 Network Administrator, Course Technology, Inc. One Main St. Cambridge MA, 1995
12. Internetworking ATM for the Internet and Enterprise Networks, John A. Chiong McGraw-Hill
13. U. Varshney and R. Vetter, —Emerging Mobile and Wireless Networks“, Communications of the ACM, Vol.43, No. 6, June 2000.
14. <http://www.fore.com/>
15. <http://www.cisco.com/>
16. <http://www.ieee.com/>
17. <http://www.atmforum.com/>
18. <http://www.krdl.org.sg/RND/infocomm/meg/watmprj/watm.html>(Wireless ATM Research Project).
19. <http://www.comsoc.org/ieee/doc/pci/1216.html>
20. <http://www.hut.fi/Yksikot/Kirjasto/HUTpubl/publications/mitts96.html>
21. [www.comsoc.org/livepubs/comsoc/public/1997/nov/guest%5Fed.html](http://www.comsoc.org/livepubs/comsoc/public/1997/nov/guest%5Fed.html)
22. <http://www.ind.uni-stuttgart.de/Content/Projects/BroadbandNet/Wireless ATM/>
23. <http://www.cwc.nus.edu.sg/cwcproj/bn2.html>
24. [ftp://ftp.netlab.ohio-state.edu/pub/jain/courses/atm/atm\\_watm/sld004.html](ftp://ftp.netlab.ohio-state.edu/pub/jain/courses/atm/atm_watm/sld004.html)
25. [http://www.prz.tu-berlin.de/~herbert/ATM\\_Heute/sld023.html](http://www.prz.tu-berlin.de/~herbert/ATM_Heute/sld023.html)



27. <http://www.tik.ee.ethz.ch/~wand/DOCUMENTS/documents.html>
28. [http://www.tisl.ukans.edu/Projects/Wireless\\_ATM/system.html](http://www.tisl.ukans.edu/Projects/Wireless_ATM/system.html)
29. <http://www.comnets.rwth-aachen.de/~ftp-matm/WLAN.htm>
30. <http://www.ee.ubc.ca/~edwardc/mobility/mobility.html>
31. [http://www.cis.ohio-state.edu/~jain/cis788-95/wireless\\_atm/](http://www.cis.ohio-state.edu/~jain/cis788-95/wireless_atm/) ( —Wireless ATM“  
by Atif S. Wai).